

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

UNIVERSITÉ 08 MAI 1945 GUELMA



THÈSE

Présentée par

Rachida ROUABHIA-ESSALHI

Pour l'obtention du Diplôme de

DOCTORAT EN SCIENCES

Spécialité: Génie Mécanique

TITRE

**MISE AU POINT D'UNE TECHNIQUE
D'IMPLANTATION D'UN SYSTÈME
DE TRAÇABILITÉ DES PIÈCES USINÉES**

Directeur de thèse : Pr AMIRAT Abdelaziz

Devant un jury composé de :

Pr YALLES M.A. Professeur à l'université du 08 Mai 1945 Guelma
Pr AMARA I. Professeur à l'université Mentouri Constantine
Dr KHATABI R. MC/A à l'université du 08 Mai 1945 Guelma
Pr AMIRAT A. Professeur à l'université Badji Mokhtar Annaba
Dr BELHADI S. MC/B à l'université du 08 mai 1945 Guelma

Président
Examineur
Examineur
Rapporteur
Invité

2016 – 2017

DEDICACE

*A la mémoire de mon père qui a
toujours cru en moi.*

REMERCIEMENTS

Louange à Allah, Seigneur de l'univers.

Je remercie vivement tout particulièrement Professeur AMIRAT Abdelaziz, qui m'a proposé ce sujet de recherche. Je lui exprime ma profonde gratitude pour la confiance qu'il m'a témoignée depuis bientôt 10 ans. Ces conseils, son soutien, ces encouragements permanents tout au long de ces années, sa permanente disponibilité et son dynamisme, ont joué un rôle déterminant dans ce travail. Je lui suis très reconnaissante d'avoir accepté de diriger cette thèse de doctorat.

Je remercie Monsieur YALLES Mohammed Athman, Professeur à l'université du 08 Mai 1945.Guelma, d'avoir accepté de présider le jury de soutenance et pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail.

Mes remerciements s'adressent à Monsieur AMARA Idriss, Professeur à l'université Mentouri de Constantine, et Monsieur KHATABI Riad, Maître de conférences A à l'université du 08 Mai 1945, Guelma, pour avoir répondu tous les deux, favorablement pour examiner ce travail, en prenant de leur temps pour une lecture minutieuse de ce travail et surtout pour toutes leurs éventuelles remarques, les suggestions et orientations fructueuses et enrichissantes.

Je remercie Monsieur Belhadî Salim, Maître de conférences B, qui m'a accompagné dans la réalisation de ce travail et qui a accepté délicatement notre invitation à participer dans le jury de soutenance.

Je ne saurais être suffisamment grée à Messieurs les Professeurs MOUSSAOUI Abdelkrim et BOUCHREIT Sebtî, respectivement Vice doyen à la post-graduation et Chef de Département de Génie Mécanique, dont leurs aides m'ont été très précieuses pour régler les difficultés administratives.

Un grand merci à Mr OUELLAA Nouredine, Professeur à l'université du 08 Mai 1945.Guelma ainsi qu'à tous les membres du Laboratoire de Mécanique et structures de l'Université du 08 mai 1945 de Guelma, pour la contribution que chacun d'eux m'a apportée. L'esprit d'équipe entre les doctorants du laboratoire a favorisé considérablement des échanges scientifiques et techniques très constructifs.

Je remercie aussi tout le personnel du laboratoire de mécanique des matériaux et maintenance industrielle de l'université Badji Mokhtar-

Annaba pour toute l'aide qu'ils m'ont fournie, ainsi que tous mes collègues Doctorants, en particulier Mr BELDJOUDI Youcef.

Mes hommages vont également au défunt BENSILIM Rachid, l'ex PDG de l'entreprise CYCMA pour m'avoir autorisé auparavant à effectuer plusieurs visites à l'usine, dans le cadre de mon travail, et pour la mise à ma disposition de tous les moyens humains et matériels nécessaires à ma recherche .

Je n'oublie pas aussi d'exprimer ma reconnaissance aux responsables à tous les niveaux de l'entreprise même, pour leurs disponibilités, la mise à ma disposition des documents nécessaires à mon travail et leurs explications éloquentes des différents processus de production.

J'exprime également ma reconnaissance à Mesdames BOUMAZA-AMIROUCHE Samira, et ACHOURI-BENTRAD Hadia respectivement Chef de service déléguée pour l'environnement et Chef de service contrôle, pour leurs soutiens inconditionnels et leurs encouragements permanents, sans oublier leurs efforts inlassables en vue de m'obtenir de parfaites conditions de travail lors de mon séjour à l'entreprise. Dire que ces deux ingénieurs sont mes meilleures amies et mes anciennes collègues de travail, puisque je faisais partie du personnel de cette même entreprise. Elles m'ont accompagné dans cette aventure intellectuelle depuis plusieurs années, donc elles savent à quel point le présent travail doit à leurs efforts.

Je remercie Monsieur BROUK Yassine, Ingénieur en construction mécanique pour la qualité et la précision de ses conseils et de son aide pour mes travaux de recherche et ce depuis mon ingéniorat.

Mes vifs remerciements vont à Messieurs les Frères SERIDI, tourneurs experts pour leur aide précieuse dans mes travaux expérimentaux.

J'ai le devoir et le plaisir de témoigner ma reconnaissance à mon époux Nassim qui n'a ménagé aucun effort pour m'apporter son soutien moral constant, son appui logistique et financier, sans lesquels ce travail n'aurait pas été possible.

Je le remercie pour m'avoir accompagnée, épaulée, boostée et finalement d'avoir toujours su trouver les mots.

Merci Nassim. OU...BOU.....

Une mention spéciale pour mon petit ange Anis, le futur Ingénieur Biotechnologue, qui illumine ma vie jour après jour..... et qui va devoir m'appeler Docteur Maman.....

Je le remercie pour son aide, ses encouragements, ses précieux conseils, mais surtout sa présence qui a une capacité incroyable à dissiper mes doutes et me redonner confiance. Comme s'il était le père et moi la fille. Tout simplement, merci Wlidi !

Je remercie du plus profond de mon cœur, ma chère et tendre maman, qui a toujours su m'épauler, trouver les mots justes et me rassurer de manière exemplaire tout au long de mes études, plutôt de ma vie entière.

Mes remerciements vont enfin à ma famille et ma belle famille qui n'ont ménagé aucun effort pour m'apporter leur soutien moral constant.

A tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à la réalisation de cette thèse de DOCTORAT, ou qui en ont soutenu l'effort par des conseils et des encouragements toujours bienvenus,

Un grand Merci à vous tous !!

Puisse Dieu les combler de sa grâce et rendre à chacun selon son mérite.

RESUME

Le travail de cette thèse porte sur la mise au point d'une technique d'implantation d'un système de traçabilité des pièces usinées. Dans le domaine de fabrication mécanique, l'implantation d'un système de traçabilité est très complexe étant donné que le produit à fabriquer subit des transformations depuis le brut jusqu'à la pièce finie par enlèvement de la matière selon une gamme d'usinage élaborée. Donc le marquage d'un code de traçabilité sur une pièce usinée doit être soigneusement réfléchi. La codification s'appuie sur la norme ISO 8402 incorporée en 1987 et ISO 9001:2000 des procédures de qualité. L'objectif de ce travail a un caractère exploratoire de la problématique pour appuyer l'importance d'implanter un système de traçabilité dans toute entreprise manufacturière.

Dans ce travail, la notion de points d'enregistrement de données de traçabilité qui a été traduite en « Points of Data Traceability Recording' (PDTR) » a été introduite pour la première fois pour prendre place dans la gamme d'usinage des pièces à fabriquer. Il est montré que les PDTR sont spécifiques à chaque type de pièce à usiner. Ainsi, ces points sont matérialisés par une fiche technique contenant les informations à enregistrer au niveau de chaque point. L'objectif est de récupérer la mémoire d'une pièce donnée qui a été façonnée au moyen d'un système de production fiabilisé qui consiste à enlever de la matière depuis le brut jusqu'à la pièce finie qui sera appelée à remplir une fonction requise. C'est tout l'enjeu d'une entreprise qui en court le risque quand il s'agit de rappeler des pièces défectueuses ou d'expertiser des cas de défaillances imprévisibles.

Mots clés : usinage, usure, fiabilité, Commande numérique, Traçabilité, Logistique.

ABSTRACT

The work in the present thesis focuses on the development of an implementing technique of a traceability system for machined parts. When manufacturing mechanical parts, implementation of traceability is very complex since the product to be manufactured undergoes transformations from raw material to finished part through several operations of material removal respecting a specific process plan. So the feature of marking a traceability code on a workpiece must be carefully considered. The codification is based on the quality procedures ISO 8402 standard incorporated in 1987 and on ISO 9001: 2000. The objective of this work has an exploratory nature of the issue as it can support the importance of implementing a traceability system in a given machining workshop of a manufacturing company.

In this work, the concept of points of data traceability recording (PDTR) has been introduced for the first time to take place in the process plan of parts to be machined. It is shown that the PDTR are specific to each type of workpiece. So, these points are materialized by a data sheet containing the information to be recorded at each point. The objective is to recover the memory of a particular piece that was shaped by means of a made reliable production system that involves removing material from raw to finished part will be used to perform a required function. This is the challenge of a company that runs the risk when it comes to recall defective or appraise the event of unpredictable failures in their product.

Keywords: Machining, Wear, Reliability, Digital Control, Traceability, Logistics.

ملخص:

يرتكز العمل في هذه الأطروحة على وضع تقنية تطبيق نظام لتتبع قطع مصنعة. علما أن مجال التصنيع الميكانيكي وتنفيذ نظام التتبع معقد جدا لأن المنتج الذي يمكن تصنيعه يخضع إلى عدة تحويلات من المادة الأولية (الخام) إلى حد استعماله و ذلك من خلال خطة تصنيع محددة. و لهذا فإن دراسة عملية وضع رمز التتبع على قطعة مصنعة تستلزم عناية فائقة، إذ يستند الترميز على معيار ايزو 8402 المدرج في عام 1987 ومعيار ايزو 9001: 2000 لإجراءات الجودة. إن لهذا العمل هدف ذا طابع استكشافي للإشكالية وذلك من أجل دعم أهمية تطبيق نظام التتبع في أي شركة تصنيع.

و قد تمت في هذا العمل ترجمة مفهوم نقاط تسجيل بيانات التتبع:

« Points of Data Traceability Recording » باللغة الانجليزية) وتم إدراجه لأول مرة في خطة التصنيع. و قد تبين أن كل نقطة تسجيل بيانات التتبع " PDTR " محددة لكل نوع من أنواع القطع المصنعة. وبهذا، تتجسد هذه النقاط عبر ورقة بيانات التي تحتوي على المعلومات التي يتم تسجيلها في كل نقطة. والهدف من هذا، هو استعادة الذاكرة لقطعة معينة تم تصنيعها عن طريق نظام إنتاج موثوق و الذي يعمل على إزالة المادة من القطعة الخام إلى القطعة النهائية التي ستستخدم بدورها في الوظيفة المطلوبة.

إنه تحدي كل شركة معرضة لخطر عندما يتعلق الأمر باستعادة منتج معيب أو تقييم حالة فشل غير متوقعة.

كلمات مفاتيح: التصنيع، البلى، التحكم الرقمي، الموثوقية، تتبع المنتجات، اللوجستية.

SOMMAIRE

Dédicace.....	II
Remerciement.....	III, IV, V
Résumé.....	VI
Abstract.....	VII
ملخص.....	VIII
Sommaire.....	IX, X, XI, XII, XIII
Liste des Figures.....	XIV, XV
Liste des Tableaux.....	XVI

INTRODUCTION GENERALE.....	1
-----------------------------------	----------

CHAPITRE 1 : PROBLEMATIQUE ET LITTERATURE ACADEMIQUE SUR LA TRACABILITE DANS LES ENTREPRISES.....	6
--	----------

1.1 Contexte.....	6
1.2 Définition de la traçabilité.....	7
1.2.1 Définitions issues de la littérature.....	7
1.2.2 Définitions Normatives	14
1.2.2.1 Norme ISO 8402.....	16
1.2.2.1.1 Un contexte de plan de rappel	16
1.2.2.1.2 Un contexte recueil des données	17
1.2.2.1.3 Un contexte d'étalonnage	17
1.2.2.2 Norme ISO 9000	18
1.2.2.3 L'Union Européenne dans la réglementation	18
1.2.2.4 Codex alimentarius (mai 2001).....	18
1.3 Fonction de la traçabilité.....	18
1.3.1 Le tracking ou la traçabilité descendante.....	19
1.3.2 Le tracing ou la traçabilité ascendante.....	20
1.4 Principes d'implantation d'un système de traçabilité.....	20
1.4.1 Mise en place de la traçabilité.....	20
a) identifier.....	21
b) Gérer les liens.....	21
c) Enregistrer.	21
d) Communiquer.....	21
1.4.2 Les différents types de traçabilité.....	22
o La traçabilité en amont	22
o La traçabilité en aval.....	22
o La traçabilité interne.....	23
1.4.3 Systèmes de traçabilité.....	23
1.5 Les outils de la traçabilité.....	24
▪ Un système d'identification physique des lots.....	24
▪ Un système d'information.....	24

1.6 Rôle des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) .	24
1.7 Quid de la traçabilité interne ?	27
1.8 Règlementations Algériennes.	28
Conclusion	29

**CHAPITRE 2 : *ETAT DE L'ART SUR LA TRAÇABILITÉ INTERNE
DANS LES ATELIERS MÉCANIQUES***.....30

2.1 La Traçabilité : un enjeu accru pour les entreprises.	30
2.2 La traçabilité dans le secteur de l'ingénierie.	31
2.3 Modélisation des systèmes de traçabilité.	36
2.4 Représentation de modèles de systèmes de traçabilité.	37
2. 5 Les modèles pour un système de traçabilité.	39
2.5.1 Le modèle de Kim: Règles de traçabilité via la logique du 1er ordre.....	40
2.5.2 Le modèle de Moe: Le triptyque entités, attributs et sous-Attributs.....	41
2.5.3 Le modèle de Van Dorp: entité-relation des données de traçabilité.....	42
2.5.4 Le modèle de Dupuy: Modélisation modulaire d'un Système de Traçabilité.....	43
2.5.5 Le modèle de Terzi: Un méta-modèle pour la gestion de Traçabilité.....	44
2.5.6 Evaluation de Moody.....	47
2.6 Récents développements des modèles de traçabilité interne	49
Conclusion	51

**CHAPITRE 3 : *FIABILISATION D'UN SYSTÈME DE PRODUCTION POUR
LA FABRICATION DES PIÈCES MÉCANIQUES***.....53

3.1 Avancées de l'approche fiabiliste dans les systèmes de production en mécanique.	55
3.1.1 Bref historique	55
3.1.2 La Fiabilité en Mécanique.	57

3.1.3 Analyse fiabiliste des structures mécaniques.....	58
3.1.4 Recueil de données de fiabilité	61
3. 1.4.1 Principe de la fiabilité à la conception.....	61
3. 1.4.2 Principales caractéristiques probabilistes de la fiabilité.....	61
3. 1.4.3 Recueil données de fiabilité	61
3. 1.5 Récentes applications sur les systèmes de production mécaniques.....	63
3. 2 Fiabilisation des systèmes de fabrication de pièces mécaniques.....	65
3.2.1 Stratégie de fiabilisation.....	65
3.2.2 Cas d'études : Moyeu roue pour fauteuil roulant.....	66
3.2.3 Application de la stratégie de fiabilisation.....	67
3.2.3.1 Phase 1 Analyse du système de production.....	67
3.2.3.2 Phase 2 Observation de l'influence des facteurs variant.....	68
3.2.3.3 Phase 3 Analyse fiabiliste du système de production.....	70
3.2. 3.3.1 Définition du modèle géométrique.....	71
3.2. 3.3.2 Détermination du modèle mécanique de calcul.....	71
3.2. 3.3.3 Détermination des modèles probabilistes	72
3.2. 3.3.4 Application d'un scénario de défaillance.....	73
3.2. 3.3.5 Calcul de l'indice de fiabilité β	73
3.2. 3.4 Définition des critères de fiabilisation du système de production.	75
3.2.4 Impact de la fiabilisation du système de production sur l'opportunité d'implanter un système de traçabilité.....	76
Conclusion.....	76
 CHAPITRE IV : METHODOLOGIE D'IMPLANTATION D'UN SYSTEME DE TRACABILITE INTERNE DANS UNE ENTREPRISE MANUFACTURIERE	78
4.1 Contexte industrie.....	78
4.2 : Notion de points d'enregistrement des données de traçabilité.....	80
4.3 : Implantation des PDTR dans la gamme d'usinage.....	81
4.3.1 : Codification du Brut (PDRT1).....	83
4.3.2 : Codification de l'outillage de production (PDTR2).....	84

4.3.2 : Codification de l’outillage de production (PDTR2).....	85
4.3.4 : Fiche suiveuse (PDTR4).....	86
Conclusion.....	87
CHAPITRE V : VALIDATION DE LA METHODOLOGIE D’IMPLANTATION DU SYSTEME DE TRACABILITE ET DISCUSSION DES RESULTATS.....	89
5.1 Analyse du système de production.....	90
5.1.1 La traçabilité : un besoin accru.....	90
5.1.2 Analyse de la fiabilisation du système de production.....	91
5.1.2.1 Organisation des ateliers de fabrication.....	91
5.1.2.1.1 Atelier d’usinage composé de plusieurs sections.....	91
5.1.2.1.2 Atelier de rectification et d’estampage	92
5.1.2.1.3 Atelier de traitement thermique et fonderie	92
5.1.2.1.4 Atelier de traitement de surface	93
5.1.2.1.5 Atelier de montage	93
5.1.2.1.6 Les Magasins de stockages.....	93
5.1.2.1.6.1 Magasin de stockage des matières premières et pièces achetées	93
5.1.2.1.6.2 Magasin pour les pièces finies (fabriquées) ou magasin intermédiaire	94
5.1.2.1.6.3 Magasin pour les produits finis	94
5.1.2.2 Description et analyse du produit à fabriquer.....	94
5.2 Analyse de la gamme d’usinage de l’axe du moyeu.....	95
5.3 Analyse Causes à Effets du système de production.....	95
5.4 Effets des facteurs variant sur la production.....	96
5.5 Analyse fiabiliste du système de production.....	97
5.6 Analyse de la mise en œuvre de la traçabilité.....	100
5.6.1 Analyse de la codification au PDTR1	101
5.6.2 Analyse de la codification au PDTR2	103
5.6.3 Analyse de la codification au PDTR3	104

5.6.4 Analyse de la codification au PDTR4	106
Conclusion	109
Conclusion générale et perspectives de recherche	110
Bibliographie	112
Annexes	123
Annexe A1 : Présentation de la gamme d'usinage de l'axe avant intégration des PDTR.....	123
Annexe A2 : Influences de la dureté de la matière à usiner sur l'usure VB des outils de coupe. [Rouabhia-Essalhi R, 2009].....	124
Annexe A3 : Présentation des outils de coupe, droit et gauche pour l'usinage de l'axe [Rouabhia-Essalhi R, 2009].....	125
a) Chariotage des diamètres : $\varnothing 11.3$, $\varnothing 10.5$, $\varnothing 12h6$, $\varnothing 10.75$, et $\varnothing 12h6$ en une seule passe (côté droit). [Rouabhia-Essalhi R, 2009]	125
b) Chariotage des diamètres : $\varnothing 13.85$, 14(ébauche), $\varnothing 11.3$, $\varnothing 9.3$, $\varnothing 10.5$ (finition) en deux sens (Côté gauche). Figure 3.b.1 et Figure 3.b.2.....	125
Annexe A 4 : Dossier de fabrication de l'axe.....	126
➤ <i>Fiche de matière (FM : Liste de retrait) - appelée aussi liste à servir, destinée au magasin MP</i>	126
➤ <i>Fiche délai (contenant la gamme)- décrit la suite des opérations et sera utilisée pour suivre la réalisation du lot. (Suivi de la production)</i>	128
➤ <i>Fiche de travail (machine et main d'œuvre) - elle permettra la saisie des temps par opération</i>	128
➤ <i>Fiche de contrôle final de la pièce finie (stockage des encours)</i>	128
Annexe A5 : Identifications des bacs à la même identification des pièces finies à transférer.....	129

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

Au cours des dernières années, la traçabilité est devenue un enjeu vital pour les industriels, ainsi qu'un élément clé dans les systèmes de gestion de la production, de la qualité, de la sécurité et du diagnostic. Aujourd'hui, il est nécessaire de développer des méthodes et des outils de traçabilité adaptés, répondant aux exigences d'un nouvel environnement commercial global. Il y va de la crédibilité et de l'image de l'entreprise qui est souvent confrontée à d'éventuelles défaillances imprévisibles particulièrement les sous ensembles d'un produit, fabriqués en sous-traitance. En témoignent les nombreux rappels des grands constructeurs automobiles pour réparer et corriger les défaillances surgissant des défauts de fabrication qui n'ont été détectés qu'après mise en service de leurs produits. Plusieurs exemples peuvent-être cités à travers le monde et cela concerne les grands constructeurs américains, japonais, français, allemands et bien d'autres. De même les défaillances sont recensées au niveau des systèmes de freinage, de ceintures de sécurité, des risques d'explosion du moteur à basse vitesse, de défauts de logiciels intégrés, des défauts de pollution, des défauts de systèmes automatiques d'ouverture des portes et même de certaines pièces de directions telles que les triangles, bras...etc. Le problème n'est pas spécifique à l'industrie manufacturière mais il est beaucoup plus ressenti dans d'autres domaines comme l'industrie pharmaceutique, l'industrie agro-alimentaire, le

tissu, les produits pour enfants. Dans cette thèse, nous n'aborderons pas ces derniers cas d'industries puisque chaque industrie a ses propres caractéristiques et spécificités logistiques dont la traçabilité.

La littérature académique, bien que développée depuis une quinzaine d'années, atteste du caractère toujours exploratoire de la problématique. La traçabilité est étudiée, mais avec peu de cas ou d'études empiriques à l'appui. Les références existantes sont principalement issues de praticiens ou bien des agences de normalisation.

Cependant, dans le domaine de fabrication mécanique, notre recherche bibliographique révèle les travaux sur la mise en œuvre de la traçabilité ne sont pas répandus et peu sinon rare, à notre connaissance, ont fait l'objet de publication ou de travail systématique. Aujourd'hui, c'est à travers le Manufacturing Execution Systems (MES) ou la gestion des processus industriels, un système informatique dont les objectifs sont d'abord de collecter en temps réel les données de production de tout ou partie d'une usine ou d'un atelier. Ces données collectées permettent ensuite de réaliser un certain nombre d'activités d'analyse : traçabilité, contrôle de la qualité, suivi de production, ordonnancement, maintenance, préventive et curative.

C'est dans ce contexte que l'approche présentée dans cette thèse portera sur une stratégie d'implantation de la traçabilité qui correspondra au développement de systèmes de fabrication innovant pouvant répondre aux exigences des temps modernes.

La thèse est scindée principalement en 5 chapitres :

Le premier chapitre introduit la problématique et l'état de l'art académique sur la traçabilité dans les entreprises de différents domaines. Il fait d'abord état de la pluralité des définitions de la traçabilité trouvées dans les références retenues, reflétant la diversité et la richesse de cette notion. Plusieurs objectifs sont identifiés, la définition peut être générique et commune à toutes les filières, ou spécifique tel que le supply chain management. Il faut retenir que les définitions existent bel et bien mais les applications aux métiers de la production manufacturière où la matière de base subit plusieurs transformations pour arriver à la forme requise, sont rares ou rarement publiées. Et puis, il donne une représentation de modèles de systèmes de traçabilité qui découlent principalement des définitions attribuées au concept de

traçabilité classés par rapport aux fonctions et au domaine de mise en œuvre. C'est à partir de la définition de la norme ISO 8402 proposant trois acceptions principales de la notion de la traçabilité, selon le contexte dans laquelle elle est employée que la modélisation est faisable. Elle montre aussi que la traçabilité, pour être pleinement efficace doit, devenir une stratégie collective. En effet, tous les acteurs d'une chaîne logistique sont interdépendants et chacun se doit d'assurer la continuité du flux d'information. La traçabilité est donc répartie en trois types amont, aval et interne. Dans ce travail, nous montrons l'inquiétude des industriels quant à la traçabilité interne qui vraiment pose problème pour son implantation comme dans un atelier d'usinage.

Le deuxième chapitre est dédié à l'état de l'art d'implantation des systèmes de traçabilité interne dans les ateliers de fabrication mécaniques. En effet, dans le premier chapitre nous avons rapporté le manque de publications sur les méthodes ou techniques d'implantation de la traçabilité dans les entreprises manufacturières. La complexité réside dans la pièce à fabriquer puisqu'elle est obtenue par transformation de brut en pièce finie en enlevant de la matière selon une gamme d'usinage élaborée. Ce chapitre s'appuie sur la norme ISO 8402 incorporée en 1987 et ISO 9001:2000 des procédures de qualité. En plus des références présentées dans le chapitre 1, une vingtaine de références liées directement à la traçabilité interne dans les entreprises manufacturières de mécaniques permettent de mettre en évidence la contribution de ce travail pour implanter un système de traçabilité interne particulièrement dans les ateliers d'usinage mécanique. Elles se basent sur deux principes fondamentaux, d'une part la fiabilisation du système de production et d'autre part la collecte d'informations clés pour implanter un système de traçabilité.

Le troisième chapitre décrit une méthode de fiabilisation d'un système de production pour la fabrication des pièces mécaniques. Il présente un état de l'art sur les avancées de l'approche fiabiliste en mécanique. Par rapport à la traçabilité, la fiabilisation du système de production est conduite sur les machines de production. Une étude a été faite par l'auteur de ce présent travail, auparavant dans le cadre de son mémoire de magistère et qui consiste en la détermination de la probabilité de défaillance de l'outil de production. L'approche probabiliste et la fiabilité a montré les avancées scientifiques successives qui ont permis de construire des méthodes de dimensionnement tenant compte des écarts prévisibles et des incertitudes. Elle présente aussi comment appliquer ces méthodes dans le domaine mécanique. Les

résultats obtenus sur un cas d'étude comme le tour à commande numérique de l'entreprise CYCMA de Guelma, Algérie étaient très encourageants et le temps que l'idée de l'approche fiabiliste a muri dans l'esprit du personnel technique de l'entreprise, l'étude a été rehaussée dans le présent travail, par la mise à jour des données de départ et élargie à d'autres paramètres.

Les nouveaux résultats d'analyse de fiabilité ont fait l'objet de données d'entrée impliquées dans l'implantation du système de traçabilité au sein même de l'entreprise.

Le quatrième chapitre décrit une contribution à la mise en place d'un système de traçabilité dans une entreprise manufacturière pour la fabrication des pièces usinées. Il part de la description d'un système de production en l'occurrence un atelier de fabrication mécanique et le rôle des différentes sections de production depuis la réception de la matière première sous forme de bruts, laminés, forgés, moulés, tôles et autres jusqu'à l'expédition du produit ou semi produit obtenu à partir du montage de pièces fabriquées sur site et de pièces achetées ou sous-traitées, de son organisation, de sa fiabilisation, de ses procédures de production comme les gammes d'usinage pour déterminer des points de collecte d'information, dénommés 'Points of Data Traceability Recording' (PDTR) sur le procédé de production, de sélectionner les informations à enregistrer et puis mettre en œuvre une technique de codification de ces informations que l'on retrouvera sur la pièce finie. Il démontre que les PDTR sont spécifiques à chaque type de pièce à usiner. Ainsi, ces points devront être injectés dans la gamme d'usinage avec une fiche technique contenant les informations à enregistrer au niveau de chaque point. L'objectif est de récupérer la mémoire d'une pièce donnée qui a été façonnée par enlèvement de matière depuis l'ébauche jusqu'à la pièce finie afin de remplir une fonction requise. Grâce à cette codification, on peut retrouver la mémoire de la pièce d'une manière significative par rapport à la matière première, la gamme d'usinage, les outils de coupe, les opérateurs et les conditions de fabrication. C'est tout l'enjeu d'une entreprise qui en court le risque quand il s'agit de rappeler des pièces défectueuses ou d'expertiser des cas de défaillances imprévisibles.

Dans le cinquième chapitre, sont analysés et discutés les résultats des travaux de recherche et se sont focalisés sur un cas d'étude réalisé au niveau d'une entreprise de fabrication mécanique à savoir la société CYCMA de Guelma en

Algérie qui produit différents produits de locomotion individuels tels les vélos, les cyclomoteurs et les fauteuils roulants. L'implantation d'un système de traçabilité dans la chaîne de production de l'entreprise a pour effet d'améliorer la qualité de ses produits, d'augmenter la durée de vie de ses équipements et aussi de contribuer à l'image de marque de la société et surtout d'éviter les conséquences néfastes de rappels de produits en raison de défauts imprévus et indépendants du système de production de l'entreprise.

Une conclusion générale synthétise les principaux résultats de cette thèse avant de proposer des travaux en perspectives particulièrement pour rendre le système de codification systématique et du moins semi-automatique.

Enfin, des références bibliographiques et des annexes clôturent cette thèse.

Chapitre 1



PROBLEMATIQUE ET LITTERATURE ACADEMIQUE SUR LA TRACABILITE DANS LES ENTREPRISES.

1.1. Contexte

Durant les dernières années les demandes du marché deviennent chaque jour plus exigeantes, car le client recherche des produits personnalisés, de haute qualité avec des temps de réponse attendus plus courts dans l'accomplissement des processus [Helander M G et Jiao J, 2002]. Les interactions entre les processus, les opérateurs et le produit depuis sa fabrication, en passant par son transport, sa distribution, son stockage, jusqu'à son utilisation, requièrent chaque fois plus d'information et d'échanges automatisés ou intelligents entre les partenaires [Kakkainen M et al, 2003], et ce de façon sûre et quasi-immédiate. C'est l'esprit de compétitivité qui domine [Pujo P et al, 1995].

Les stratégies mises en place par les entreprises sont diverses et conduisent à des choix industriels répondant partiellement à ces exigences (délocalisation,

fabrication de produits intermédiaires, transfert de technologie, automatisation de la production, nouveaux systèmes manufacturiers, développement de la logistique...).

La traçabilité devient une priorité, voir une exigence légale, elle concerne désormais la plupart des secteurs d'activités et non plus certains secteurs tels que l'agroalimentaire, la pharmaceutique ou l'aéronautique. Elle s'avère indispensable pour des raisons autres que purement logistique telles que la relation de confiance envers les clients, les contraintes règlementaires et légales, la normalisation, le rappel de produits défectueux et le commerce électronique.

La littérature académique, bien que développée depuis une quinzaine d'années, atteste du caractère toujours exploratoire de la problématique. La traçabilité est étudiée, mais avec peu de cas ou d'études empiriques à l'appui. Les références existantes sont principalement issues de praticiens comme [Töyrylä I, 1999 ; Viruega J L 2005], ou des agences de normalisation telles que l'AFNOR ou l'ISO.

Cependant peu de travaux sur la mise en œuvre de la traçabilité, n'ont pas, à notre connaissance, fait l'objet d'un travail systématique. C'est dans ce contexte que l'approche présentée dans cette thèse portera sur une stratégie d'implantation de la traçabilité qui correspondra au développement de systèmes de fabrication innovant pouvant répondre aux exigences des temps modernes.

1.2 Définition de la traçabilité

1.2.1 Définitions issues de la littérature

La traçabilité des chaînes d'approvisionnement (en anglais supply chain), dans la littérature académique fait l'objet de nombreuses définitions, variables selon les disciplines des auteurs, les objectifs de la traçabilité [Bendaoud M, 2008], et les caractéristiques des filières [Golan E et al, 2004]. Le périmètre d'action de la traçabilité varie également suivant les auteurs. La traçabilité apparaît ainsi comme une notion complexe aux objectifs divers, impliquant une multiplicité d'acteurs de différents secteurs.

Nous estimons qu'il est utile de reprendre le Tableau 1.1 [Lazzeri J, 2014] qui fait état de la pluralité des définitions de la traçabilité trouvées dans les références

retenues, reflétant la diversité et la richesse de cette notion. Plusieurs objectifs sont identifiés, la définition peut être générique et commune à toutes les filières, ou spécifique tel que le supply chain management. Il faut retenir que les définitions existent bel et bien mais les applications aux métiers de la production manufacturière où la matière de base subit plusieurs transformations pour arriver à la forme requise, sont rares ou rarement publiées.

Tableau 1.1 : Définitions de la traçabilité issues de la littérature [Lazzeri J, 2014]

Auteurs	Définitions	Référence Définition Seconde main
Banterle et Stranieri (2008b)	<p>La traçabilité de la chaîne d'approvisionnement repose sur une procédure d'information visant à identifier les agents économiques de la chaîne d'approvisionnement. Ceci est réalisé par l'identification des fournisseurs et des clients à chaque étape de la chaîne d'approvisionnement et une meilleure répartition de la responsabilité entre ces agents économiques.</p> <p>La chaîne d'approvisionnement et la traçabilité des produits est un système beaucoup plus complexe, avec un haut niveau de précision et d'ampleur qu'un autre système. Il se caractérise par la gestion des matières premières et des produits en lots séparés, et par des procédures qui attribuent des informations spécifiques à chaque lot. La séparation et l'identification des lots individuels avec des codes spécifiques est réalisée à deux moments précis du processus de production de l'entreprise: à l'entreposage des matières premières ou à leur arrivée, au moment de l'emballage ou du stockage lorsque les produits sont prêts à être échangés.</p> <p>p. 561</p>	Règlement européen 178/2002
Bendaoud (2008)	Aptitude à reconstituer, totalement ou partiellement, le cycle de vie de l'objet considéré. p. 146	
Fritz et Schiefer (2009)	La capacité de traçage permet, pour tout produit et à n'importe quel stade de la chaîne, d'identifier la source initiale (traçage arrière) et, éventuellement, sa destination finale (traçage direct). La capacité de suivi permet, d'identifier pour tout produit, l'emplacement réel à un moment donné. Ensemble, ces capacités constituent les fonctionnalités du système de suivi et de traçage. p. 317	

Galliano et Orozco (2011)	<p>La traçabilité est la capacité de tracer et de suivre un aliment, un aliment pour animaux, un animal ou une substance destinée à être ou susceptible d'être incorporée dans un aliment ou un aliment pour animaux, à travers toutes les étapes de la production, de la transformation et de la distribution. p. 378.</p> <p>Un système de traçabilité électronique peut être défini comme une combinaison complexe de supports de codification technique (couramment associés aux codes à barres et aux étiquettes électroniques d'identification par radiofréquence [RFID]) qui, couplés aux TIC, permettent aux entreprises de collecter, de suivre, de stocker et de transférer des informations sur une gamme d'attributs de produit p. 379.</p>	Règlement européen 2002
Golan et al. (2004)	Les systèmes de traçabilité sont des systèmes d'enregistrement qui permettent le suivi des produits ou de leurs attributs, tout au long du processus de production ou de la chaîne d'approvisionnement p. 1	
Heyder et al. (2012)	La traçabilité est un système de traçage et de suivi. Une série de mécanismes de traçabilité, par lesquels sont effectués «identification», «lien», «enregistrements d'information», «collecte et stockage d'informations» et «vérification». Le système se compose de règles (promesses et accords) et de procédures, de procédures documentées, d'organisations / systèmes et de ressources de processus et de gestion (personnel, ressources financières, matériel, logiciels, technologies et techniques). Un système de traçabilité peut également utiliser des technologies de systèmes d'information pour la saisie électronique de données et les services de gestion de bases de données. Cependant, le simple fait d'avoir un système d'information ne serait pas suffisant pour établir un système de traçabilité ".p. 102	Food Marketing Research and Information Center, 2008
Hobbs (2004)	Un système qui permet de retrouver des produits ou des animaux à travers la chaîne d'approvisionnement. Traçabilité ex post et ex ante. p. 398	Hobbs (2004)
Holmstrom et al. (2010)	Le suivi peut être défini comme le processus de nommer d'une manière unique, et de relier à une entité physique des attributs d'information pertinents tels que la gestion de l'historique et des instructions. p. 267	Ronkko et al., 2007 Meyer et al., 2009
Jansen-Vullers et al. (2003)	Suivre un point et son histoire à travers la totalité ou une partie de la chaîne. La traçabilité est définie comme active ou passive. p. 401	
Karaa et Morana (2008)	La traçabilité implique la capacité à représenter, décrire mais aussi repérer les produits, ceci en temps réel. p. 2	

Karaa et Morana (2011)	La traçabilité permet de retracer l'origine d'un produit ou d'une activité, en mettant en avant son historique, ses composants, les conditions de production, de planification/design et les opérations de stockage, emballage et distribution. p. 15	Cheng et Simmons, 1994
Kelepouris et al. 2007	La traçabilité des produits peut être distinguée en deux types (...). Traçabilité ascendante ou tracing et traçabilité descendante, ou tracking. (...) La perspective de la chaîne d'approvisionnement fait référence à l'efficacité et à la gestion efficace de l'information dans toute la chaîne afin de répondre aux exigences de traçabilité p. 186	
Khabbazi et al. (2011)	La traçabilité est définie comme la capacité à conserver l'identité du produit, son origine et son utilisation concernant aujourd'hui tant le gouvernement que les entreprises. p. 732	
Kumar et Schmitz (2011)	La traçabilité est la capacité de suivre les produits à toutes les étapes de la chaîne d'approvisionnement (...) Fournir des informations sur ce que, quand et où le produit est, dans un délai requis. p. 236	
Liao et al. (2011)	La traçabilité alimentaire se réfère à la capacité de suivre le mouvement des produits alimentaires ou des ingrédients à travers les étapes spécifiées de production, de transformation et de distribution. p. 686	Food Marketing Research and Information Center, 2008
Loureiro et Umberger (2007)	La capacité d'identifier l'origine des animaux ou de la viande aussi loin dans la séquence de production que nécessaire pour déterminer la propriété, identifier la filiation, assurer la sécurité et déterminer la conformité en marque ou vérifier les sources des programmes de viande bovine. p. 498	Smith et al., 2000
Maruchek et al. (2011)	La traçabilité est la capacité de tracer un produit alimentaire si elle se déplace à travers différentes chaînes d'approvisionnement. p. 716	
Moe (1998)	Aptitude à suivre un lot et reconstituer son histoire depuis son origine jusqu'à sa commercialisation, fournissant ainsi les informations liées aux activités de récolte, transport, stockage, transformation, et distribution (traçabilité de la chaîne logistique) mais également les informations relatives à la traçabilité interne (ex. étapes de la production). p. 211	
Narrood et al. (2009)	La traçabilité est au cœur du système avec les normes de sécurité alimentaire. p. 9	
Pellaton et Viruega (2007)	On parlera d'un système de traçabilité totale pour qualifier un système de traçabilité qui permet à la fois de tracer les produits et les processus. p. 5	
Rabade et Alfaro (2006)	La traçabilité est l'enregistrement et le suivi des pièces, des procédés et des matériaux utilisés dans la production. p. 39	Cox et al., 2002

Rabade et Alfaro (2009)	Toutes les entreprises alimentaires doivent tracer leurs produits, à tous les stades, en commençant par les fournisseurs jusqu'à l'arrivée des produits finis aux consommateurs finaux. P. 104 Les systèmes de suivi ne doivent pas être vus à court terme: un système informatisé de traçabilité représente une manière optimale de savoir à tout moment ce qui se passe sur l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement. p. 109.	
Ramudhin et al, (2008)	L'utilisation de la RFID est l'une des technologies susceptibles d'augmenter considérablement les pièces de la visibilité sur le plancher et d'améliorer les performances en fournissant une meilleure information sur l'emplacement et l'état de la matière au cours de son processus de réparation. p. 183	
Resende-Filho et Hurley (2012)	Les systèmes de traçabilité permettent de retrouver l'historique et l'emplacement d'un produit grâce à un identifiant enregistré, y compris des procédures d'identification, de préparation, de collecte, de stockage et de vérification des données qui peuvent servir de mécanisme pour assurer la sécurité alimentaire. Il accumule des informations sur les attributs et les processus du produit au fur et à mesure que le produit se déplace dans la chaîne d'approvisionnement, ce qui ne réduit pas la probabilité d'une crise de salubrité des aliments. p. 596	ISO 2000 Starbird et Amanor-Boadu, 2007 Rabade et Alfaro, 2009
Romeyer (2001)	Assurer le suivi, si possible en temps réel, des flux (transfonctionnels voire inter-organisationnels) d'informations pluridimensionnelles (spatiales et temporelles) associées aux flux physiques au sein de la chaîne logistique. p. 44 La traçabilité intègre les activités et constitue à assurer le suivi des activités (et des informations relatives à ces activités) et des flux d'informations (associés aux flux physiques au sein de la chaîne logistique) reliant ces diverses activités. p. 68	
Schroeder et Tonsor, (2012)	En tant qu'outil de lutte contre les maladies chez les animaux et la sécurité alimentaire, un système de traçabilité devrait permettre au produit animal d'être retracer de la ferme d'origine animale et de l'identifier tout au long de la chaîne de production alimentaire. La traçabilité constitue le lien entre la santé animale, la sécurité alimentaire et les caractéristiques organoleptiques des aliments liés à son origine. p. 32-33	Vallat, 2008
Skilton et Robinson, (2009)	Traçabilité, que nous définissons comme la capacité d'identifier et de vérifier les composants et la chronologie des événements à tous les stades d'une chaîne de processus. Des informations complètes sur les chaînes de processus sont nécessaires afin de vérifier la conformité aux spécifications d'une part et de suivre les causes des défaillances et des événements indésirables d'autre part. p. 40	
Souza Monteiro et Caswell (2009)	Article 3, La traçabilité est la capacité de tracer et de suivre un aliment, un aliment pour animaux, un animal ou une substance destinée à être ou susceptible d'être incorporée dans un aliment ou un aliment pour animaux, à travers toutes les étapes de la production, de la transformation et de la	Règlement européen 178/2002

	<p>distribution. L'article 18 stipule que tout exploitant alimentaire doit identifier de qui et à qui les aliments sont fournis.</p>	
<p>Souza Monteiro et Caswell (2010)</p>	<p>La traçabilité est la capacité de tracer et de suivre un aliment, un aliment pour animaux, un animal ou une substance destinée à être ou susceptible d'être incorporée dans un aliment ou un aliment pour animaux, à travers toutes les étapes de la production, de la transformation et de la distribution. De cette définition, on peut déduire que la traçabilité implique un flux d'information et une coordination entre les entreprises et couvre les aliments à un ou plusieurs ingrédients. P. 123</p> <p>La traçabilité complète est définie comme l'existence d'un flux d'information vertical et aval de toutes les entreprises du premier niveau, passant par les entreprises de second rang vers une entreprise de troisième niveau vendant un produit à plusieurs ingrédients aux consommateurs. Une traçabilité complète est possible si les avantages marginaux de la traçabilité pour chaque ingrédient l'emportent sur les coûts marginaux encourus par chaque entreprise de la chaîne alimentaire. p. 139</p>	<p>Règlement européen 178/2002</p>
<p>Starbird et Amanor-Boadu (2007)</p>	<p>La capacité de tracer l'origine d'un produit au fur et à mesure qu'il se déplace dans la chaîne d'approvisionnement. p. 1</p>	
<p>Ta (2004)</p>	<p>Définition 1 : "Aptitude à retrouver l'historique, la mise en œuvre ou l'emplacement de ce qui est examiné".</p> <p>Définition 2 : Traçabilité amont : ou traçabilité fournisseurs « Procédures ou outils mis en place pour pouvoir retrouver ce qui est advenu avant que l'acteur économique (entreprise ou site de transformation) devienne responsable légalement ou physiquement des produits ».</p> <p>Définition 3 : Traçabilité interne : ou traçabilité des processus de fabrication « Traçabilité mise en place dans l'entreprise tout le long du processus de fabrication des produits, depuis la réception des matières premières, jusqu'à l'expédition des produits manufacturés ».</p> <p>Définition 4 : Traçabilité aval : ou traçabilité depuis l'entreprise vers les clients « Procédures et outils mis en place pour pouvoir retrouver ce qui est advenu après le transfert de propriété ou après le transfert physique des produits fabriqués par l'entreprise vers un tiers ».</p> <p>Définition 5 : Traçabilité ascendante « C'est la capacité, en tout point de la chaîne d'approvisionnement, à retrouver l'origine et les caractéristiques d'un point à partir d'un ou plusieurs critères donnés ».</p> <p>Définition 6 : Traçabilité descendante « C'est la capacité, en tout point de la chaîne d'approvisionnement, à retrouver la localisation de produits à partir d'un ou plusieurs critères donnés ». p. 36</p>	<p>Définition 1 : NF EN ISO 9000:2000</p>

Tse et Tan (2011)	<p>La visibilité de la chaîne d'approvisionnement peut être comprise comme la traçabilité et la transparence du processus de chaîne d'approvisionnement. Habituellement, les entreprises conçoivent le produit et développent les procédures, la norme de contrôle de la qualité et les normes d'essai à leurs approvisionnements de rivage. La traçabilité indiquée signifie qu'il doit y avoir des documents prouvant que le fournisseur a suivi les procédures tout au long du processus, de l'origine à l'aval.</p> <p>La visibilité de la chaîne d'approvisionnement est également interprétée comme la transparence du partage de l'information entre les membres de la chaîne d'approvisionnement p. 50</p>	Lyles et al, 2008 Christopher et Lee, 2004
Van Dorp (2002)	<p>Le suivi et le traçage assurent le suivi des produits et la traçabilité en amont et en aval (...) Un traçage et un suivi adéquats exigent que toutes les informations nécessaires de la chaîne d'approvisionnement soient gérées efficacement. p. 27</p>	
Viruega et Vernet, (1999)	<p>“La traçabilité est l’aptitude à retrouver l’historique, l’utilisation ou la localisation d’un article ou d’une activité, ou d’activités semblables, au moyen d’une identification enregistrée.”</p> <p>La traçabilité du processus repose sur les trois acceptations de la norme ISO 8402 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - au sens de la mise sur le marché, il s’applique à un produit ou service ; - au sens de l’étalonnage, il s’applique au raccordement des équipements de mesure aux étalons nationaux ou internationaux, aux étalons primaires ou aux constantes et propriétés physiques de base ; - au sens de recueil des données, il relie les calculs et les données produites le long de la boucle de la qualité aux produits ou aux services p. 83-85 <p>La traçabilité d’origine caractérise l’usage de la traçabilité pour déterminer et garantir l’origine des produits. p. 87</p>	ISO 8402
Wang et al. (2009)	<p>La traçabilité alimentaire est définie comme la capacité de tracer et de suivre les aliments, les aliments pour animaux et les ingrédients à tous les stades de la production, de la transformation et de la distribution. p. 2866</p>	Règlement européen 2002
Wang et al. (2010)	<p>Un système de traçabilité est décrit comme un système de tenue de documents avec une identification documentée des opérations qui conduisent à la production et à la vente d'un produit. p. 423</p>	Bertolini et al., 2006
Wilson et al. (2008)	<p>Traçabilité signifie la capacité de suivre les produits à tous les stades à travers la production et la distribution.</p> <p>Les opérateurs doivent remplir trois conditions: a) avoir des procédures permettant de déterminer de qui et à qui les produits sont offerts (une étape en arrière et une étape en avant); (B) transmettre des informations précises concernant l'identification d'un produit et s'il est produit et (c) conserver des informations précises pour une période de cinq ans et les rendre disponibles sur demande. p. 87</p>	Commission of the European Communities , 2003

Cheng et Simmons (1994)	La traçabilité d'un système est sa capacité à exécuter les fonctions de traçage (...) La traçabilité d'état est la capacité d'un système à fournir une connaissance précise et en temps opportun de la situation actuelle concernant le système de fabrication et l'environnement dans lequel elle opère. p. 9	
Fabbe-Costes et Lemaire (2001)	Nous appelons traçabilité totale, la traçabilité assurée à l'échelle d'une supply chain (...) Il s'agit donc de suivre tant les flux physiques (lots de matières, de composants, de produits, unités logistiques) et les documents qui leur sont associés, que les actions qui permettent leur transformation (production, assemblage, conditionnement, etc.) ou leur mouvement (manutention et/ou transport). p. 3-4	
Fabbe-Costes (2006)	La traçabilité en logistique consiste à pouvoir à tout moment localiser les flux physiques (ou flux d'entités), reconstruire ex post ou <i>in itinéraire</i> l'histoire du flux, fournir une vision holographique de la supply chain. p. 4	
Fabbe-Costes et Lemaire (2010)	La traçabilité totale (...) renvoie à la traçabilité de l'ensemble de la chaîne, dans sa vision inter-organisationnelle et globale. p. 3	
Baillette et al. (2012)	Elle permet de suivre et donc de retrouver un produit depuis sa création (production) jusqu'à sa destruction (consommation). La traçabilité a non seulement l'ambition de permettre de suivre un produit depuis sa création jusqu'à sa distribution (traçabilité des objets), mais aussi de suivre les activités des personnes qui mettent en œuvre ces produits pour suivre tout le processus de production (traçabilité des activités).	
Farris et al. (2005)	La traçabilité permet aux entreprises de tracer des composants individuels. Autrement dit, chaque composante a un numéro d'identification unique, tout comme un numéro de sécurité sociale. p. 9	

1.2.2 Définitions Normatives

La définition de la traçabilité a été incorporée en 1987 dans la norme ISO 8402 [ISO 8402:1994, 1994] et continue à figurer dans la norme ISO 9001: 2000 des procédures de qualité [Wilkinson G et Dale B G, 2002 ; ISO 9001:2000, 2004]. La traçabilité est alors définie comme la capacité à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'une entité au moyen des identifications enregistrées. La Figure 1.1 illustre le concept de la traçabilité selon la norme ISO 8402, 1994. Elle montre 2 étapes caractérisant la traçabilité : le passé de l'étape arrêté au point définissant l'étape considérée et le devenir de l'étape localisé au présent. Ces deux points sont très indicatifs pour la collecte d'informations pour la production d'une codification

du produit. Cette dernière est primordiale dans l'implantation d'un système de traçabilité dans une entreprise manufacturière car elle permet d'améliorer continuellement le système de gestion de la qualité dans un processus de production Figure. 1.2.

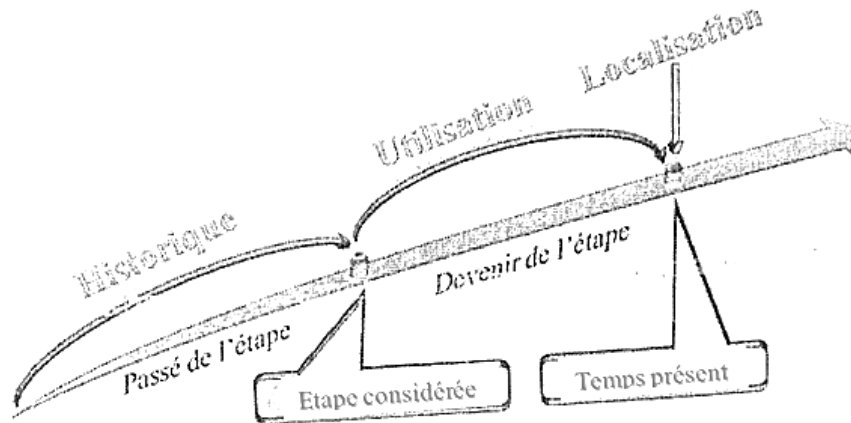


Figure 1.1 La traçabilité selon la norme [ISO 8402, 1994].

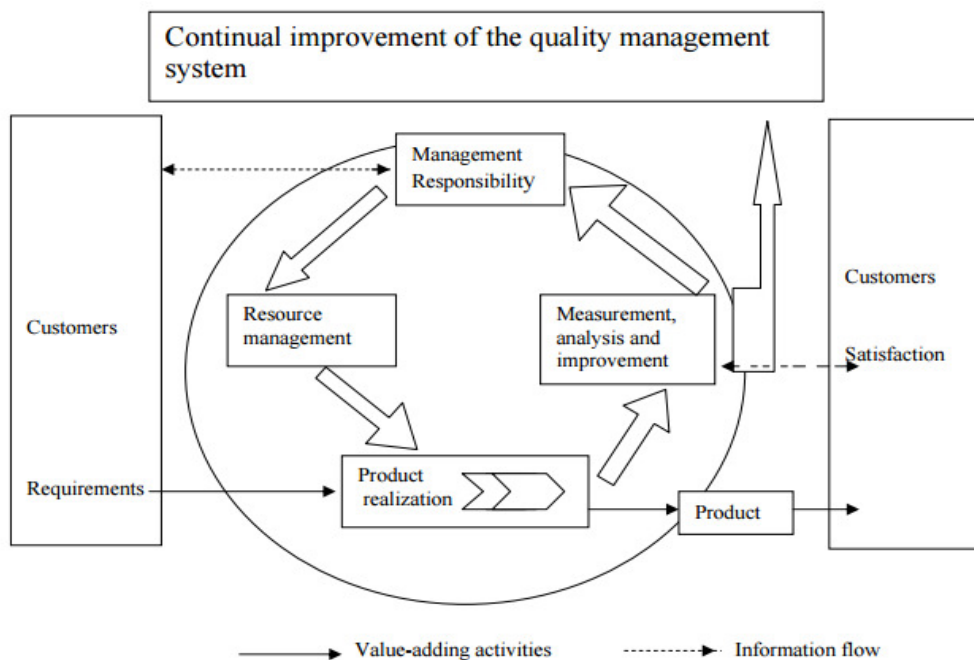


Figure 1.2 : Modèle d'un système de gestion de la qualité basé sur les processus
Source : ISO 9001:2000 standard.

Les objectifs ne sont pas seulement pour être en mesure de réagir à des défauts ou des comportements incorrects qui ont été générés par le processus de fabrication [Van Dorp K J, 2002], mais aussi de vérifier et d'expertiser des pièces défectueuses du système spécialement quand il y a des sous-ensembles du système qui ont été externalisés à partir d'une société externe. Par conséquent, si une pièce est

signalée comme défectueuse, les dossiers de traçabilité sont ensuite revus pour obtenir des informations qui peuvent aider avec précision à délimiter les produits individuels fabriqués dans les mêmes conditions [Jansen-Vullers M H et al, 2003] et éviter les rappels massifs de produits.

Par ailleurs, les définitions officielles sont traduites par celles données par ISO, de la communauté européenne ainsi que celle du Codex Alimentarius.

1.2.2.1 Norme ISO 8402

(Management de la qualité et assurance de la qualité-Vocabulaire) :

La traçabilité est l'aptitude à retrouver l'historique, l'utilisation ou la localisation d'une entité au moyen d'identifications enregistrées. (L'entité peut désigner une activité, un processus, un produit, un organisme ou une personne).

A partir de la définition de la norme ISO 8402, il faut retenir trois acceptions principales de la notion de la traçabilité [Viruega J L, 2005], selon le contexte dans laquelle elle est employée :

1.2.2.1.1 Un contexte de plan de rappel :

Il s'agit souvent d'une exigence réglementaire. La traçabilité est utilisée dans ce cas comme un moyen de retrouver des produits suspectés de non-conformité. Les produits sont reliés entre eux et avec les étapes de fabrication. À partir d'un produit non conforme détecté dans le marché, ceci permet de « remonter » sans équivoque à l'étape ou au lot non conforme puis de « redescendre » vers tous les produits suspects. La figure 1.3 présente un exemple de plan de rappel.

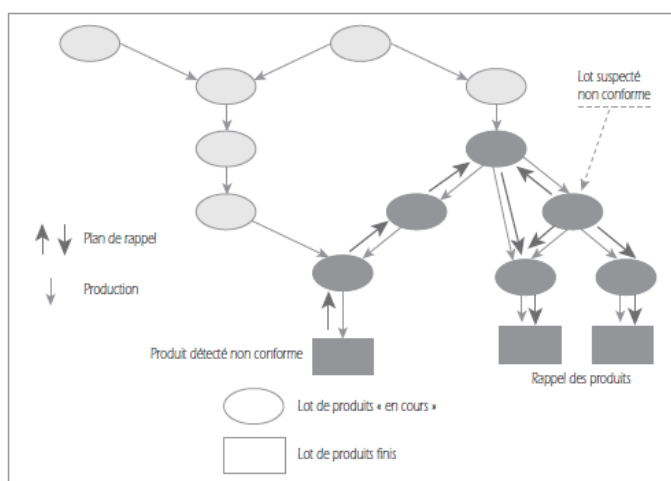


Figure 1.3 : Principe de fonctionnement d'un plan de rappel [Viruega J L, 2005].

La traçabilité offre une garantie de protection des non conformités non détectées dans l'entreprise. On peut remarquer que ce même principe est aussi appliqué au sein de l'entreprise. La détection en aval d'une non-conformité d'un produit¹ peut déclencher un plan de rappel interne des produits issus d'un même lot et donc vraisemblablement atteints de la même non-conformité. Cette note a évolué d'une manière conséquente, car il était seulement question dans la norme X 50 120 de « au sens de la mise sur le marché, il [le terme traçabilité] s'applique à un produit ou service ». En comparant ces deux notes, on constate qu'il n'y a pas de changement sur le fond mais seulement sur la forme : des précisions quant à la nature des éléments à tracer sont apportées dans la version de 1994, mais il s'agit toujours de l'usage de la traçabilité pour détecter des produits non conformes.

1.2.2.1.2 Un contexte recueil des données :

Il se rapporte à la collecte de données, il relie les calculs et les données générales tout au long de la boucle de qualité, en remontant parfois aux exigences pour la qualité pour une entité.»

La boucle de la qualité est l'ensemble des activités ayant une incidence sur la qualité. Ces activités correspondent à des phases de cycle de vie du produit. Ainsi, la traçabilité sert à la gestion de configuration du produit tout au long du cycle de vie. Elle assure les relations entre les documents techniques et les différentes étapes de production. Cette note a évolué de la même manière que les définitions générales : le terme entité a remplacé le terme produit. Cette évolution s'apparente donc à une généralisation.

1.2.2.1.3 Un contexte d'étalonnage :

Principalement d'usage métrologique, au sens de l'étalonnage, le terme traçabilité s'applique au raccordement des équipements de mesure aux étalons nationaux ou internationaux, aux étalons primaires ou aux constantes et propriétés physiques de base ». Cette utilisation repose sur le principe de chaîne de mesure ou d'étalonnage. « La traçabilité est la propriété d'un résultat de mesure consistant à pouvoir le relier à des étalons appropriés, généralement internationaux ou nationaux, par l'intermédiaire d'une chaîne ininterrompue de comparaisons.

1.2.2.2 Norme ISO 9000 :

La traçabilité est l'aptitude à retrouver l'historique, la mise en œuvre ou l'emplacement de ce qui est examiné.

1.2.2.3 L'Union Européenne dans la réglementation :

La traçabilité est définie comme " la capacité à retracer, à travers toutes les étapes de la production, de la transformation et de la distribution, le cheminement des denrées alimentaires, des aliments pour animaux, des animaux producteurs de denrées alimentaires et de toute autre substance destinée à être incorporée dans des denrées alimentaires ou les aliments pour animaux ".

1.2.2.4 Codex alimentarius (mai 2001):

La notion de traçabilité englobe divers éléments comme l'origine des matériaux ou matières premières et des pièces ou éléments, l'historique de la transformation du produit et la distribution du produit après la livraison.

Plusieurs synonymes de traçabilité peuvent être utilisés : retraçage, remontée de l'information, recherche des origines, suivi, préservation de l'identité.

La littérature en traçabilité se traduit donc, par un certain nombre de définitions et de son type et de ses applications étant dans des domaines allant de la pièce de rappel, la prévention de pièce passive, l'amélioration des processus, les applications logistiques etc.

1.3 Fonction de la traçabilité

La traçabilité, qu'elle soit outil d'une chaîne logistique [Romeyer, C., 2000 ; Fabbe-Costes N et Lemaire C,2001 ; Colin J 2005] ou concept transversal [Viruega J L, 2004 ; Pelleton A et Viruega J L, 2007], s'impose comme incontournable pour toutes les entreprises privées et publiques (Voir le travail de[Romeyer C, 2001] sur la place de la traçabilité dans les hôpitaux), y compris les intermédiaires de la chaîne logistique tels que les prestataires logistiques [Fernandes V, 2007]. Elle est incontournable en ce sens qu'elle facilite une relation de confiance avec le consommateur final *via* les contraintes réglementaires et légales de plus en plus manifestes. Ses implications managériales sont multiples. [Romeyer, C., 2000] souligne à ce titre son rôle :

- dans la maîtrise de la chaîne logistique par:

- une amélioration de la réactivité des acteurs de la chaîne,
- une gestion en temps réel,
- un renforcement de la fiabilité, et une meilleure fluidité ;
- dans une meilleure coordination entre les partenaires et dans l'amélioration des décisions stratégiques. [Fabbe-Costes N, 1998].
- de même que dans l'implication de l'ensemble du personnel.

La traçabilité joue un rôle essentiel dans la réussite et la survie de toute entreprise car elle :

- Renforce l'avantage concurrentiel de l'entreprise.
- Favorise un control et une évaluation permanente.
- Redéfinit les relations entre les différents acteurs concernés par la démarche de la traçabilité.

Les fonctions sont le « *tracking* » et le « *tracing* » [tiré de Romeyer C, 2000] :

1.3.1 Le tracking ou la traçabilité descendante

La fonction « *tracking* » [] consiste à connaître à un instant t la localisation d'un objet. L'objectif associé à cette [...] fonction de la traçabilité est double :

- il s'agit d'une part de faire preuve de réactivité face à l'apparition d'un problème tel que la détection d'un produit défectueux et de déterminer rapidement l'origine du problème ou la localisation précise du lot en question,

- et d'autre part de mieux maîtriser toute la chaîne logistique grâce au suivi en temps réel des flux physiques. Cette maîtrise passe par exemple par une meilleure gestion des stocks, une plus grande qualité dans la préparation des commandes, ...
La mise en œuvre de la fonction « tracking » nécessite

- d'identifier les objets grâce à un système de codification et de capturer les informations par l'intermédiaire d'un système d'information adéquat : le plus souvent, cela se fait de manière automatique, par un système de codes-à barres associé à un lecteur optique ou par des étiquettes électroniques associées à un système de radiofréquence ;

- de posséder un outil qui permette d'observer et d'analyser en temps réel les flux et d'en communiquer l'information : il peut s'agir, de l'outil le plus simple au plus perfectionné, du téléphone, au faxe, de l'EDI, d'un progiciel, de l'Internet ou encore de radios voire d'ordinateur embarqués sur le moyen de transport de l'objet tracé, ou d'un système de localisation par satellite.

1.3.2 Le tracing ou la traçabilité ascendante

La fonction « *tracing* » [] consiste, quant à elle, à donner une image de l'ensemble du flux auquel on s'intéresse, c'est-à-dire à retracer l'histoire a posteriori de la circulation réelle de l'objet. L'objectif ici est de retourner à l'origine des choses et de contrôler chaque étape de leur élaboration. Cela suppose d'avoir mémorisé dans un premier temps les données issues de la fonction « tracking », puis de disposer d'un système capable de combiner ces données de manière à reconstruire l'image de l'ensemble du flux concerné.

1.4 Principes d'implantation d'un système de traçabilité

1.4.1 Mise en place de la traçabilité

Mettre en place un système de traçabilité nécessite la mise en œuvre de quatre principes fondamentaux [GENCOD EAN France, 2001] :

- identifier,
- gérer des liens,
- enregistrer,
- communiquer.

Tous ces principes sont interdépendants (figure 1.4) et toutes les étapes doivent être conçues en totale coordination comme les pièces d'un puzzle. Si une pièce manque, le puzzle n'est pas terminé et analogiquement la traçabilité est rompue.

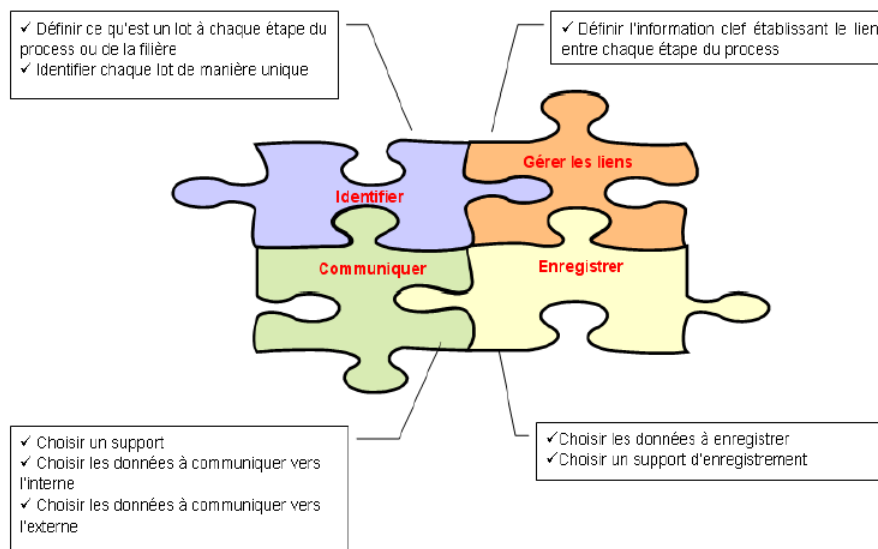


Figure 1.4 : Principe de mise en place d'un système de traçabilité. [GENCOD EAN France, 2001]

a) identifier

L'identification est unique pour chaque lot à chaque stade du processus. Un lot de réception est différent d'un lot de fabrication. Il existe deux identifiants distincts pour ces deux lots.

Le lot de réception de matière première est défini par le nom du fournisseur, la désignation de la matière, le poids, la date. etc...

Cependant elle éclaire peu sur ce qu'est un lot en cours de production.

La démarche de définition du lot à chaque étape influera sur le niveau de précision ou de dispersion de la traçabilité.

b) Gérer les liens

Cette étape consiste à déterminer l'identifiant clé qui permettra de faire le lien entre l'étape 1 et l'étape 2 puis l'étape 3....., pour que la chaîne de traçabilité reste continue.

Dans une unité de fabrication de pièce mécanique, il est nécessaire d'être capable de faire le lien entre un lot de pièces usinées dans un atelier et le lot de barres peintes elles-mêmes reliées aux lots de matières premières en réception. Si ce lien n'a pas été organisé, avoir identifié les lots de matières premières en réception n'est d'aucune utilité.

c) Enregistrer

Enregistrer, c'est ici conserver et archiver les données liées aux lots à chaque étape de la chaîne de fabrication. Le support d'enregistrement est soit informatique soit papier (fiche de réception, fiche de stock,...ou logiciels). Ces données de traçabilité doivent être reliées dans le système avec le numéro d'identifiant unique défini à chaque étape. La durée d'archivage doit aussi être fixée.

d) Communiquer

La traçabilité doit permettre de transmettre les informations au maillon suivant au sein d'une même usine. Dans une entreprise, l'objectif est de communiquer le numéro d'identification de chaque lot à l'atelier suivant pour établir un lien. L'objectif est donc d'informer le maillon suivant du **numéro de série** du produit fini qui en cas de question de la part des clients, permettra de retrouver les caractéristiques du lot.

Un support de communication doit donc être défini. Il peut s'agir:

- d'un support lié au produit, le plus connu étant l'étiquette, code.
- d'un autre support matériel (bon de livraison, feuilles de suivi de lot...),

1.4.2 Les différents types de traçabilité

La traçabilité, pour être pleinement efficace doit, devenir une stratégie collective. En effet, tous les acteurs d'une chaîne logistique sont interdépendants et chacun se doit d'assurer la continuité du flux d'information. La traçabilité peut donc se partager en trois types amont, aval et interne. [Faraggi B, 2006]. En effet, si le couple « Tracking-Tracing » est une notion absolue pour désigner le sens de la traçabilité sur l'ensemble de la chaîne, les traçabilités amont, aval et interne correspondent au point de vue d'un acteur de la chaîne logistique. Donc elle se traduit à différentes échelles dans la chaîne logistique comme il est montré dans la figure 1.5.

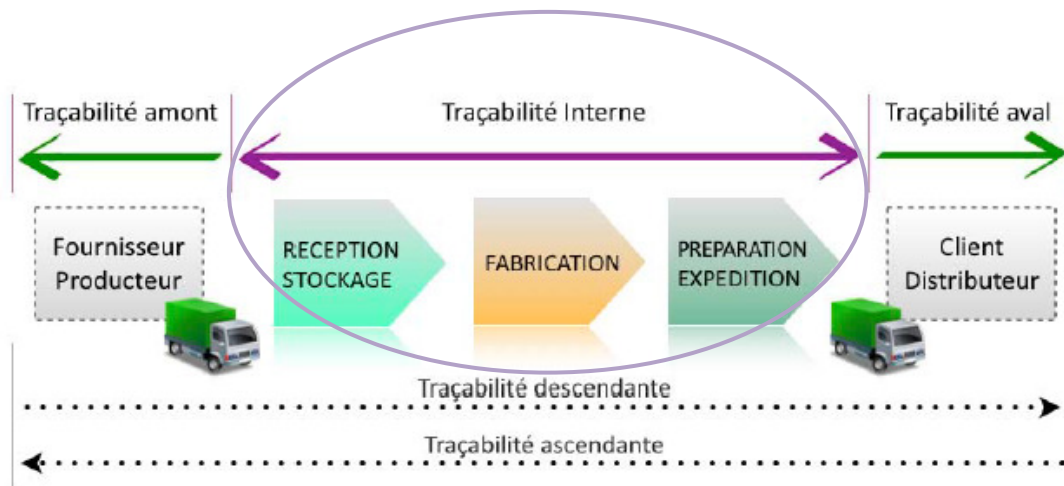


Figure 1.5: traçabilité amont, *interne* et aval dans la chaîne logistique.

[Simon TAMAYO GIRALDO, 2011]

- **La traçabilité en amont** se définit comme l'ensemble des procédures et des outils mis en place avant qu'un acteur prenne part à la chaîne de production, elle permet d'identifier tous les fournisseurs et les matières premières.
- **La traçabilité en aval** représente une forme de traçabilité qui représente les procédures et les outils mis en place une fois que le

produit fini est livré à un tiers, elle permet d'identifier tous les clients et les produits fournis.

- *La traçabilité interne comporte toutes les informations qui permettent de définir toutes les étapes réalisées entre la réception des matières premières et la fabrication du produit fini. Elle désigne selon (GS1 France, 2007), la traçabilité mise en place tout au long de la chaîne de transformation effectuée par l'acteur sur ses produits, elle permet ainsi d'établir un lien entre les produits entrants et les produits sortants et de suivre un lot de produits et gérer son historique. La traçabilité interne est indépendante des partenaires commerciaux.*

1.4.3 Systèmes de traçabilité

Le système de traçabilité a la fonction d'identifier les entités de l'organisation industrielle et d'informer la Structure de pilotage de l'état de ces entités. Il permet donc de relier un produit à son environnement (historique de matières premières et de fabrication, destinations, etc.) par des actions de lecture, de marquage et d'enregistrement, et ainsi de créer des liens informationnels.

Une fois intégré dans une structure de production (atelier, site, usine, etc.) le système de traçabilité permet de « tracer » une entité choisie, et la bonne exploitation de ses informations permet de piloter à posteriori et parfois à priori les risques et la qualité de l'entité. La Figure 1.6 présente la structure de ce fonctionnement.

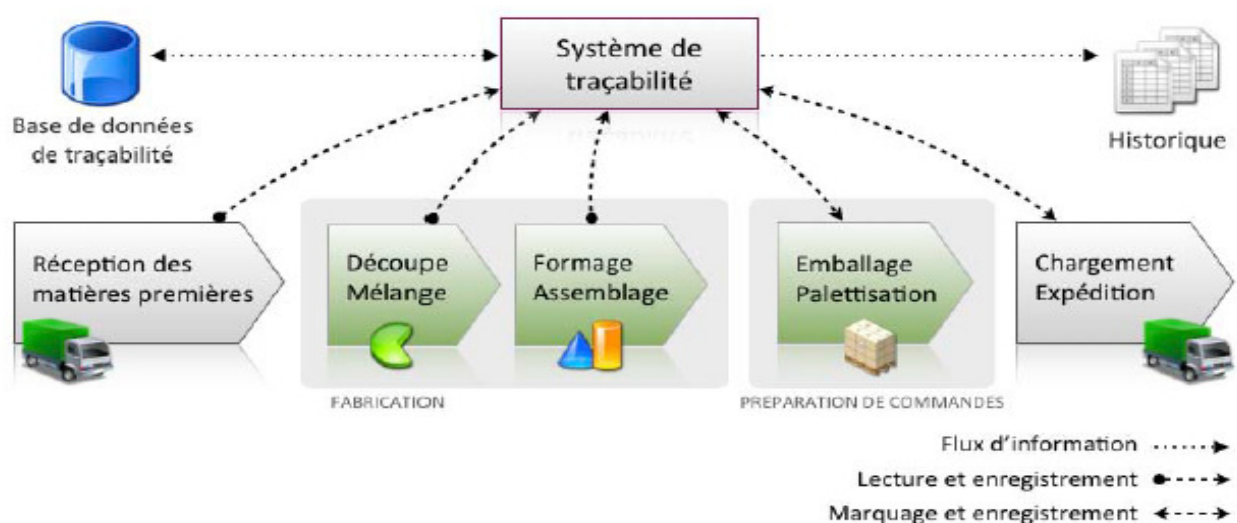


Figure1.6 : schéma fonctionnel d'un système de traçabilité. [Simon TAMAYO GIRALDO, 2011]

Cependant, le système de traçabilité devra être parfaitement maîtrisé, car les erreurs peuvent coûter cher.

1.5 Les outils de la traçabilité

Tout système de traçabilité repose sur deux entités fondamentales : *l'identification des produits et le système d'enregistrement et de gestion de l'information.*

- *Un système d'identification physique des lots*, par exemple par étiquettes, code à barre ou puces électroniques. Cette identification permet de distinguer de façon univoque le lot dans l'atelier et le stock.
- *Un système d'information*, qu'il soit informatique ou papier, qui garde l'historique des enregistrements sur les lots de produits. Ce système stocke l'information et la restitue avec des requêtes de traçabilité.
- **Un couplage flux physiques / flux d'informations.**

[Lemaire M, 2005] a intégré la notion de « couplage » entre des flux physiques et des flux d'informations associés. « Assurer le suivi, si possible en temps réel, des flux (transfonctionnels voire inter-organisationnels) d'informations pluridimensionnelles (spatiales et temporelles) associées aux flux physiques au sein de la chaîne logistique » [Romeyer C, 2001].

Les flux d'informations reposent sur un identifiant, socle de la traçabilité, accolé aux flux physiques, ce qui permet le couplage entre les deux. **Un couplage flux physiques / flux d'informations et activités.**

1.6 Rôle des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC)

Parallèlement à l'évolution de l'environnement, les TIC ont également connu des progrès importants : développement d'internet, échanges électroniques des données, augmentation de la capacité de stockage, rapidité des processus, etc. [Laudon K C et Laudon J P, 2007].

Le développement des TIC joue un rôle important dans la gestion des chaînes logistiques car elles permettent à un volume important de données d'être collecté, transféré et partagé en temps réel [Gunasekaran A & Ngai E W T, 2004 ; Nurmilakso J M, 2008], grâce à des outils tels que les EDI (Electronic Data

interchange), les ERP, les APS, la RFID, etc. [Bourland K E et al, 1996 ; Kärkkäinen M, 2002 ; Kelle P et Akbulut A, 2005 ; Subramanya K N et Sharma S C, 2008 ; Welker G A et al, 2008].

Les Technologies de l'Information et de la Communication peuvent être classées en : progiciels de gestion, outils de communication et d'échanges inter-entreprises, outils de mobilité, outils d'identification et d'acquisition des données.

La traçabilité est un enjeu incontournable pour les entreprises car elle permet de tracer les marchandises, de les localiser, de retrouver leur origine, d'assurer leur conformité et de faire face aux éventuelles contrefaçons. Les TIC qui contribuent à la mise en place d'une démarche de traçabilité regroupent les outils d'identification d'une part, (codes à barre, les codes bidimensionnels, les bandes magnétiques, les étiquettes à radiofréquence RFID, NFC.etc) et les outils dédiés à la gestion des liens entre les informations (ERP, MES, WMS, TMS, EDI.etc), d'autre part [Galliano D et Orozco L, 2011 ; Kumar S et Schmitz S, 2011 ; Maruchek A et al. 2011]. Sans les TIC, le processus de traçabilité est lent et limité [Salaçon A, 2009 ; Ballin N Z, 2010 ; Lazzeri J et Fabbe-Costes N, 2012].

[Lecomte C et al. 2006]. Deux fonctions principales sont liées à la traçabilité : le tracking (suivi en temps réel des flux) et le tracing (mémorisation de ce suivi) [Kärkkäinen M et al, 2004 ; Karâa M et Morana J, 2008]. Du point de vue de l'utilisateur, la traçabilité est la possibilité de suivre des produits qualitativement et quantitativement dans l'espace et dans le temps.

Du point de vue informationnel, il s'agit d'associer un flux d'information à un flux physique pour assurer le suivi d'un produit. Le suivi quantitatif des produits permet de localiser les produits et de déterminer les destinations et les provenances pour en connaître l'origine. Le suivi qualitatif est utilisé pour rechercher les causes d'un problème de qualité enregistré en amont (chez le fournisseur) ou en aval (lors du transport).

Le but de la traçabilité est de réduire la discontinuité de l'information tout au long de la Supply Chain en mettant en avant l'aspect inter-organisationnel qui fait impliquer l'ensemble des acteurs de la Supply Chain [Fritz M et Schiefer G, 2009 ; Fabbe-Costes N et Lemaire M, 2010 ; Lazzeri J et Fabbe-Costes N, 2012]. Cette

démarche de traçabilité globale (Figure 1.7) concerne l'ensemble des partenaires de la Supply Chain et a pour objectif de maîtriser conjointement les processus et les produits depuis le point d'origine jusqu'à la distribution des produits aux clients [Ta C D, 2004]. Ceci englobe trois types de traçabilité : amont, interne et aval [Ta C D, 2004 ; Romeyer C, 2004 ; Lecomte C et al, 2006].

La traçabilité en amont permet de retrouver les informations relatives à la matière première avant que l'entreprise devienne responsable légalement ou physiquement des produits. La **traçabilité interne** concerne les processus de fabrication des produits depuis la réception des matières premières jusqu'à l'expédition des produits manufacturés. La traçabilité aval permet de retrouver ce qui est advenu après le transfert physique des produits fabriqués par l'entreprise vers un client. (Norme NF en ISO 9000 :2005).

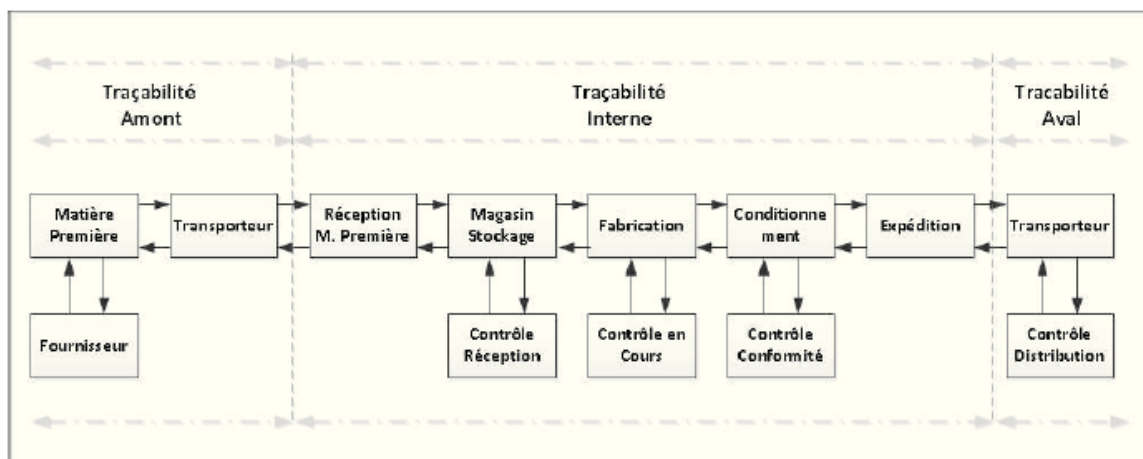


Figure 1.7: Processus de traçabilité globale.

Nous regroupons dans le Tableau 1.2, les indicateurs de performance pouvant servir à évaluer l'impact de l'utilisation des TIC sur la performance SCM. Les auteurs cités utilisent des indicateurs liés aux coûts, au délai de livraison, à la qualité, au niveau de stock, à la flexibilité et au taux de service

Tableau 1.2 : Indicateurs mesurant l'impact d'utilisation des TIC sur la performance Supply Chain

Indicateurs performance (KPI)	Auteurs
Coûts	[Swaminathan et al., 1997 ; Gavirneni et al., 1999 ; Tan, 1999 ; Lee et al., 2000 ; Grover et al., 2002 ; Zhao et al., 2002 ; Huang et al., 2003 ; Duvall et al., 2005 ; Chan & Chan, 2006 ; Hsiao, 2008 ; Li et al., 2009 ; Zhang & Dhaliwal, 2009 ; Cheng, 2011 ; Xue et al., 2011]
Délais de livraison	[D'Amour et al., 1999 ; Levary, 2000 ; Dobson & Pinker, 2006 ; Fabbe-Costes 2007 ; Rayati et al., 2009]
Qualité	[Devaraj et al., 2007 ; Hsu et al., 2008 ; Lai et al., 2008 ; Li et al., 2009 ; Paulraj et al., 2008 ; Zhang & Dhaliwal, 2009]
Niveau des stocks	[D'Amour et al., 1999 ; Lee et al., 2000 ; Dobson &Pinker, 2006 ; Fabbe-Costes, 2007 ; Schmidt, 2007 ; Zaojie & Guoying, 2007 ; Hsiao, 2008 ; Xue et al., 2011]
Flexibilité	[Saeed et al., 2005 ; Devaraj et al., 2007 ; Hsu et al., 2008 ; Paulraj et al., 2008 ; Swafford et al., 2008]
Niveau de service	[Swaminathan et al., 1997 ; Swaminathan et al., 1998 ; Chan & Chan, 2006 ; Dobson & Pinker, 2006 ; Li et al., 2006 ; Schmidt, 2007 ; Xue et al., 2011]

1.7 Quid de la traçabilité interne ?

Rien ne semble obliger le professionnel *a priori* à mettre en place une traçabilité interne permettant de suivre les matières premières entrantes jusqu'au produit fini.

La traçabilité n'est donc pas envisagée sous son aspect de traçabilité des processus et outil de lien entre auto-contrôles et produits. En France, la réglementation nationale via l'article L 214-1-1 du Code de la Consommation exige cette traçabilité interne en précisant que les procédures mises en place « *permettent de connaître l'origine de ces produits et de ces lots ainsi que les conditions de leur production et de leur distribution* ».

Au final, le document interprétatif du règlement précise que cette traçabilité interne est implicitement encouragée via le considérant n°28 qui demande un « *système complet de traçabilité* » pour des « *retraits ciblés et précis* ». Mais ce n'est pas une obligation, ce qui est pour le moins surprenant....Si un exploitant décide délibérément de ne pas mettre en place un système de traçabilité interne, ses capacités de défense en cas de litige seront plus limitées....

1.8 Règlementations Algériennes

La protection du consommateur en Algérie repose essentiellement sur le dispositif législatif suivant [Manuel de Traçabilité de la Filière Boisson, (PME II)]:

- ↪ La loi relative à la protection du consommateur et la répression des fraudes ;
- ↪ La loi vétérinaire ;
- ↪ La loi phytosanitaire ;
- ↪ La loi sur la santé et la réforme hospitalière ;
- ↪ La loi sur la métrologie légale ;
- ↪ La loi sur la normalisation ;
- ↪ La loi sur l'environnement et le Tourisme.

Ce dispositif réglementaire horizontal, s'applique à tous les produits et veille au respect des règles d'hygiène et de sécurité alimentaire à plusieurs niveaux :

- ↪ Production ;
- ↪ Importation ;
- ↪ Transformation ;
- ↪ Commercialisation ;
- ↪ Transport ;
- ↪ Entreposage et manipulation ;
- ↪ Consommation.

Toutefois, si les lois cadres en Algérie sont tout à fait conformes aux édits internationaux, certains textes d'application instituant, par exemple, **l'obligation du système HACCP** dans toutes les industries alimentaires, **l'obligation de la traçabilité ou l'obligation de l'agrément des entreprises**, ne sont pas encore généralisés car toutes les entreprises ne sont pas encore en mesure d'appliquer de tels préceptes.

Cependant, ces obligations doivent être progressivement adoptées, dans le cadre du projet de mise à jour et adaptation de l'arsenal juridique organisant et réglementant le secteur, en particulier sur les thématiques suivantes :

- ↪ Etiquetage ;
- ↪ Législation spécifique à l'hygiène ;
- ↪ Mise en place de la démarche HACCP ;
- ↪ Le contrôle alimentaire.

Conclusion

A travers ce premier chapitre, il nous a été difficile de cerner les aspects de la traçabilité interne dans une entreprise manufacturière sans que nous soyons interpellés par la pluridisciplinarité du sujet. Les multiples définitions de la notion de traçabilité reflètent sa diversité et sa richesse, mais chacune d'elle reste générique et commune à toutes les filières. Cependant, les applications aux métiers de la production manufacturière sont rares. C'est ce qui explique la problématique du sujet. Néanmoins, nous avons retenu qu'il existe différents types (amont, aval et interne) et formes que la traçabilité peut prendre (la traçabilité descendante ou le tracking et la traçabilité ascendante ou le tracing) et elle est d'autant plus importante qu'elle est indispensable eu égard aux différentes caractéristiques qui la composent et qui demandent un savoir-faire dans la gestion des flux physiques et des flux informationnels. Ces derniers servent à mieux comprendre la fonction de la traçabilité et qu'il faut implanter dans un contexte réel. L'analyse de la littérature abordant le côté technique de la traçabilité, nous a permis de constater que malgré son abondance, il n'en demeure pas moins qu'il n'existe toujours pas de solution standard entièrement dédiée à la traçabilité, surtout pour les applications aux métiers de la production manufacturière où la matière de base subit plusieurs transformations pour arriver à la forme requise. Par ailleurs, la réglementation en vigueur des pays soucieux d'implanter un système de traçabilité montre bien que les lois cadres sont tout à fait conformes aux édits internationaux comme certains textes d'application instituant, par exemple, **l'obligation du système HACCP** dans toutes les industries alimentaires. En Algérie, **l'obligation de la traçabilité ou l'obligation de l'agrégé des entreprises**, ne sont pas encore généralisés car toutes les entreprises ne sont pas encore en mesure d'appliquer de tels préceptes. C'est tout l'enjeu de ce présent travail qui, en étroite collaboration avec l'entreprise des vélomoteurs CYCMA, de Guelma, qui propose une contribution à l'implantation d'un système de traçabilité au niveau des entreprises manufacturières.

Dans le prochain chapitre, nous allons discerner les différents travaux de la communauté scientifique sur la problématique de l'intégration de la traçabilité interne et sa mise en œuvre dans les ateliers mécaniques.

Chapitre 2

ÉTAT DE L'ART SUR LA TRAÇABILITÉ INTERNE DANS LES ATELIERS MÉCANIQUES

2.1 La Traçabilité : un enjeu accru pour les entreprises

Dans la dernière décennie, le monde a connu de nombreux rappels de grands constructeurs automobiles pour réparer et corriger les défaillances surgissant des défauts de fabrication qui n'ont été détectés qu'après mise en service de leurs produits. Deux exemples d'autre eux méritent d'être mentionnés:

- Toyota Motors Corporation qui avait rappelé environ 5,2 millions de véhicules en raison du problème du tapis protecteur coincé à la pédale et 2,3 millions de véhicules à cause du problème de la pédale d'accélérateur et environ 1,7 millions de véhicules qui sont soumis à ces deux problèmes [Toyota 2009 ; Toyota USA Newsroom, 2010].
- Le constructeur automobile allemand Volkswagen a soumis un plan de réglementations allemandes, décrivant les réparations à trois modèles de moteurs diesel qui sont largement impliqués dans les défauts d'émissions. Plus que 11 millions de véhicules sont concernés dans le monde entier [Melissa E, 2015].

Donc comme l'a mentionné [Viruega J L et al, 2005], le plan de rappel se rapporte aux produits et à la faculté de retrouver leurs composants et leurs composés ainsi que l'historique des processus appliqués. Il est utilisé pour identifier les produits à rappeler en cas de détection d'un problème qualité (ex. : pièce défectueuse dans un véhicule...).

2.2 La traçabilité dans le secteur de l'ingénierie

Depuis son développement dans le secteur de l'ingénierie [Wall B, 1994], la traçabilité est désormais un concept bien imprégné dans toutes les industries. Cependant, dans l'industrie manufacturière, comme la transformation d'une pièce brute à une pièce finie, à travers une série d'opérations d'usinage, il est difficile de dessiner ou d'écrire un code d'identification sur la pièce finie. Figure 2.1.



Figure 2.1. Numéros de série sur pièces mécaniques.

Ceci est dû au fait que la pièce finale est obtenue par enlèvement de matière à partir de la pièce brute selon une gamme d'usinage qui décrit le processus de fabrication. Dans ce dernier participent les 5M [Pillet M, 2004], la machine (équipement ou système), le Matériel, la Méthode, le Milieu (environnement) et la Main d'œuvre (opérateur, poste de travail). Bien que le processus soit initialement bien réglé, il se définit, en fonction de la variation des 5M et de leurs interactions. Cette variation doit-être prise en compte pour mettre en œuvre une codification de la pièce pour sa traçabilité.

Donc, dans la pratique, la traçabilité des produits usinés signifie l'enregistrement des informations de fabrication du produit à savoir les matières premières, les employés, les machines, les outils, le stockage, les conditions et ainsi

de suite [Rizzi A et Zamboni R, 1999]. Ainsi on pourra éviter tout état de cause déficient éventuel qui pourrait nuire à l'entreprise. A croire les acteurs dans les entreprises, cette mission révèle de l'impossible quant au nombre important de données et d'informations à collecter. Par ailleurs, ils sont conscients que les données de traçabilité du produit peuvent également être utilisées pour suivre l'évolution dynamique de l'entreprise et s'intégrer avec succès dans un système de gestion de cycle de vie du produit (PLM, Product Life cycle Management) [Li Y, et al, 2011]. La figure 2.2 montre un organigramme qui décrit les liaisons entre les différents modèles de fonction, de structure, de conception, de planification d'usinage, d'ordonnancement, de fabrication, de stockage, de mise en service et d'expédition qui constituent la chaîne logistique du produit fini. À l'appui des processus de collaboration, ces modèles de données du produit établissent leurs liens de cartographie par les interfaces intelligentes, et le modèle de données du cycle de vie est formé dans l'Environnement du PLM. La zone rouge montre la place stratégique du domaine d'usinage.

Quant au domaine de la fabrication, la cartographie des modèles de données doit impérativement impliquer, principalement les informations de fabrication de pièces, telles que les informations sur les *matériaux de pièces, caractéristiques géométriques, équipements de traitement, les lots de pièces et les numéros de pièces et autres.*

La traçabilité des produits est l'un des sujets les plus émergents pour la communauté PLM [Terzi, S. 2005]. Le paradigme de gestion du cycle de vie du produit ou PLM représente avant tout une discipline industrielle entière. Il est considéré comme une approche stratégique de gestion d'informations relatives au produit. Il permet aux différentes entités de la chaîne logistique, de partager la connaissance des différents stades du cycle de vie d'un produit depuis sa conception jusqu'à sa mise hors service. De ce fait [Garetti, M., et al. 2003] présentent le PLM comme une approche intégrant une grande variété de discipline, méthodes, outils, environnements tout au long du cycle de vie du produit : le développement produit (PD), les activités d'ingénierie des systèmes de fabrication (MES), les outils (CAD, CAPP, CAPE, CAM, PDM), les activités et les outils de gestion des entreprises (ERP, MRP, CRM, SCM). La Figure 2.3 montre une architecture intégrée d'ERP régissant 5 principales fonctions en boucle fermées, sources de la base de données de l'ERP : Production, décision administrative, ressources humaines, ressources équipements, les soldes et distribution.

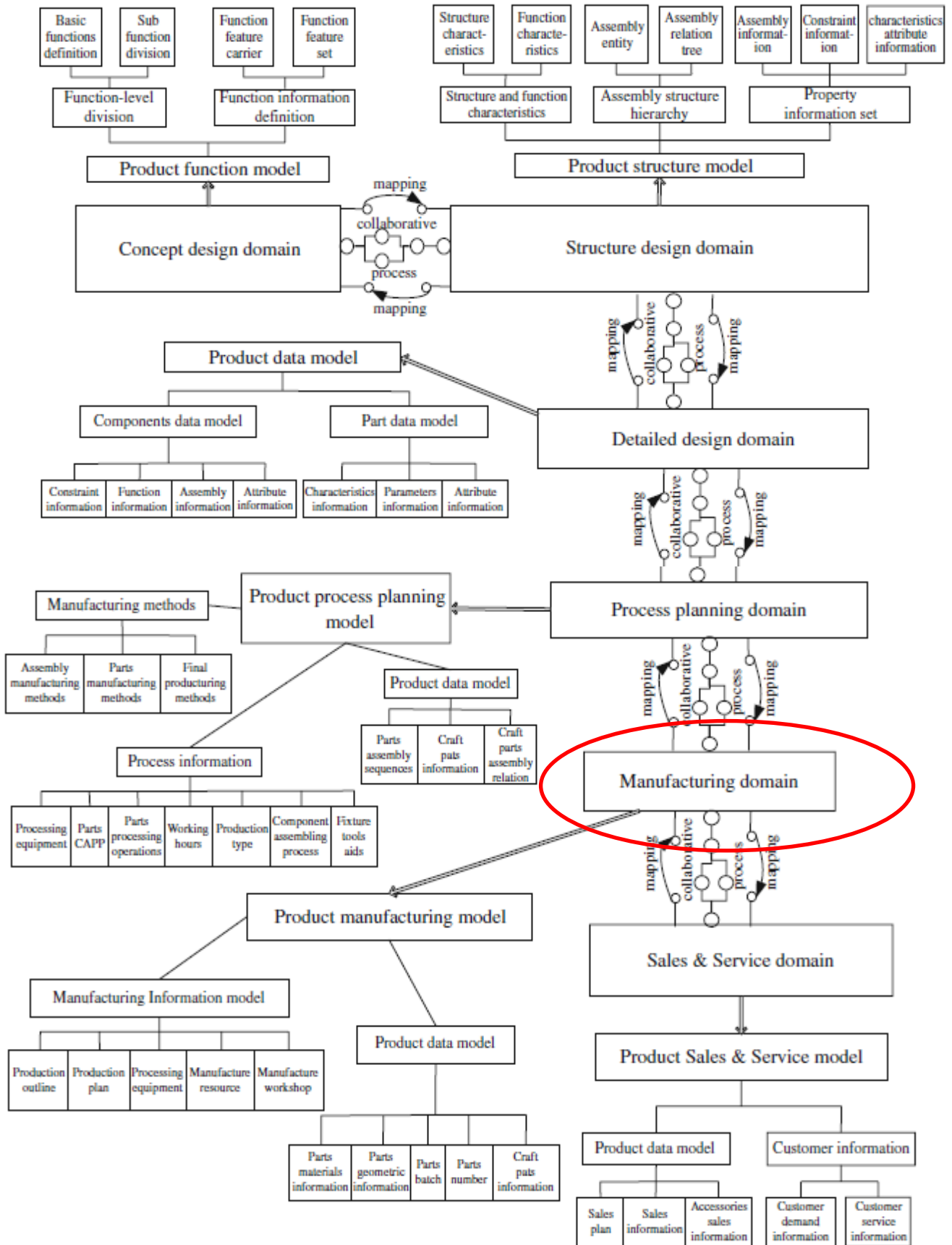


Figure 2.2. Cartographie de liaison des modèles de données d'un produit à fabriquer.

[Li Y et al, 2011]. Zone rouge = Place stratégique du domaine usinage

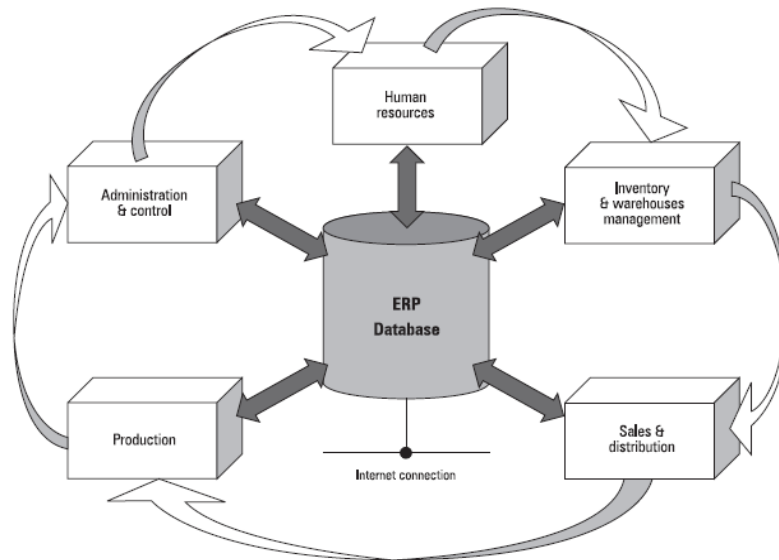


Figure 2.3. ERP Une architecture intégrée [Rizzi A et Zamboni R, 1999]

Toujours dans la même optique, [Campos JG et Miguez LR, 2011] ont montré dans leur ouvrage que les activités de traçabilité (configuration des exigences, mise en place, accès aux données, stockage des données, analyse de données) peuvent être intégrées dans la collaboration STEP-NC CAD / CAM / CNC chaînes. Dans leur approche proposée, les contrôleurs CNC peuvent interpréter et exécuter automatiquement le suivi programmé et les commandes de traçabilité (traçabilité de nc_function), permettant l'automatisation des principales activités de traçabilité effectuées dans une collaboration de scénario de fabrication. La Figure. 2.4 identifie dans un haut niveau un AAM (modèle de l'activité de l'application) - les principales tâches de la traçabilité de la fabrication- configuration (Activité A1), la collecte des données (activité A2) et des données de rapports (Activité A3).

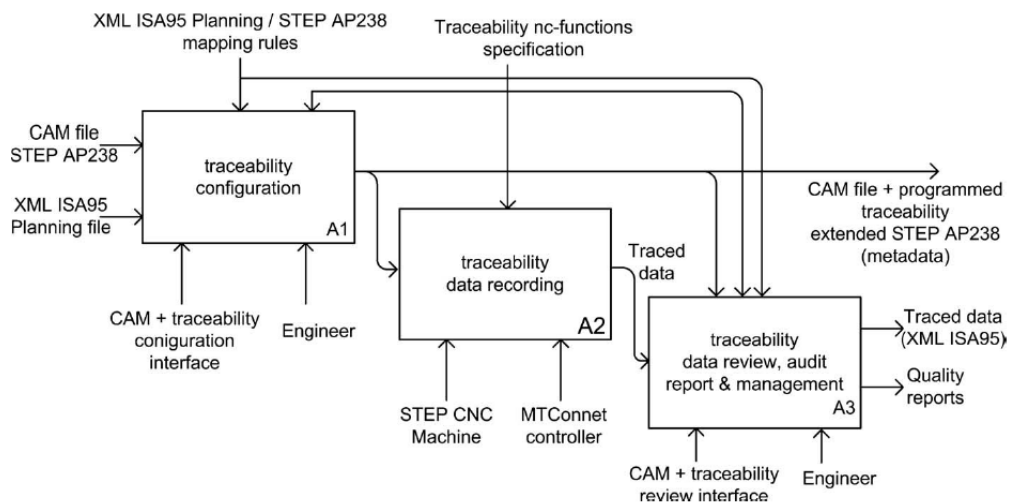


Figure 2.4. Modèle d'activité de l'application de Traçabilité. [Campos JG et al, 2011].

Au cours des 20 dernières années, plusieurs études ont été menées pour représenter un produit pendant le cycle de conception. Le modèle de produit est l'accumulation logique de toutes les informations pertinentes concernant un produit donné au cours de son cycle de vie [Krause FL, et al, 1993]. De nombreuses approches ont été présentées pour permettre une description du produit à tous les stades du processus de la conception. La Figure 2.5, illustre 3 niveaux principaux pour récolter des données afin de gérer les flux d'informations moyennant un ERP, dans un atelier d'usinage :

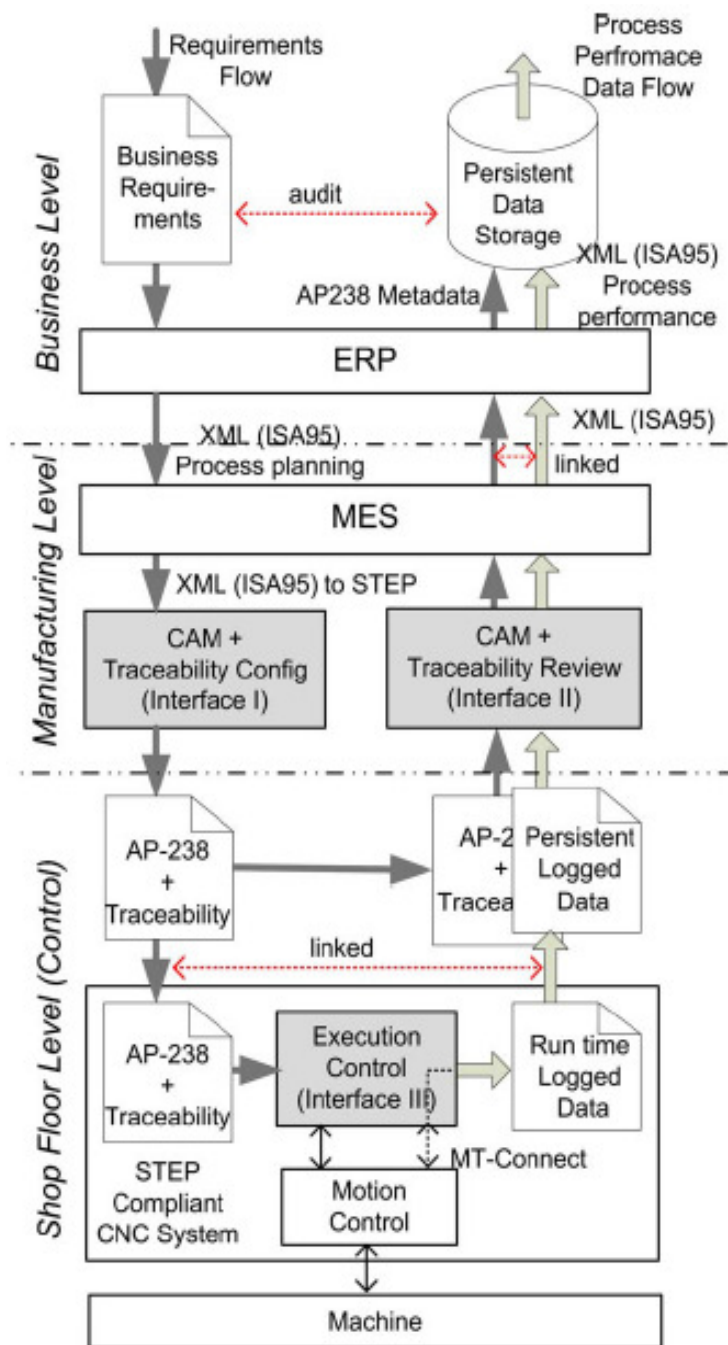


Figure 2.5. Flux et application de données de traçabilité [Campos J G et al, 2011]

Niveau 1 : Niveau commercial qui gère le flux d'information entre le client et l'entreprise

Niveau 2 : Niveau d'élaboration du programme de fabrication moyennant des outils de fabrication assistée par ordinateur (CAM computer aided design)

Niveau 3 : Niveau d'exécution du programme de fabrication et de contrôle

Les niveaux 2 et 3 montrent bien que la performance des entreprises est aujourd'hui indissociable de leur réactivité en termes de réponse aux marchés, de délai de conception, de prise en compte des normes et des réglementations, de communication. Tout cet ensemble d'exigences est géré par un outil MES Manufacturing Execution System c'est-à-dire la gestion des processus industriels.

Donc, il n'est plus le temps où les entreprises doivent réfléchir sur l'opportunité d'implanter un système de traçabilité interne, mais c'est une fonction accrue pour l'ingénierie. Ceci montre combien les outils de modélisation et les technologies d'informations et de communication TIC sont importants dans la collecte d'un grand volume de données et leur gestion.

2.3 Modélisation des systèmes de traçabilité

La modélisation est une démarche intellectuelle et scientifique qui permet d'approcher et de comprendre un système complexe en créant un modèle (souvent graphique) qui représente la réalité et qui doit être compréhensible par tous (figure 2.6).

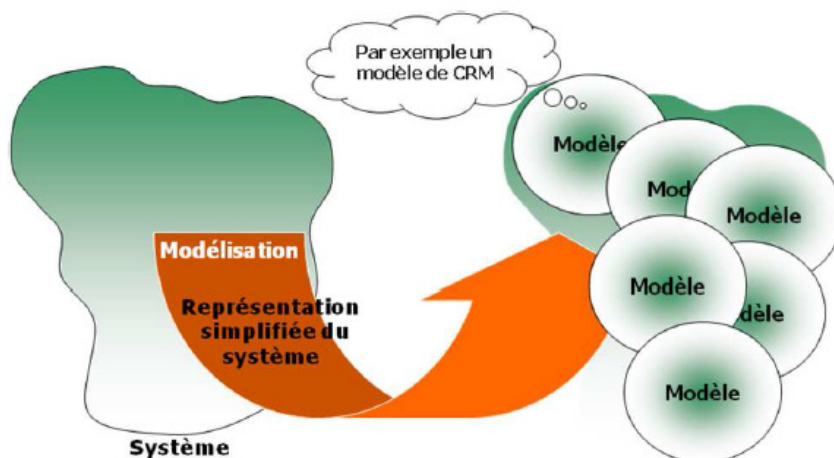


Figure 2.6. Du système vers le Modèle [Messaadia M, 2008].

Techniquement, quand la traçabilité doit capturer les données utiles en temps réel, constituer un modèle (une représentation partielle) de la connaissance du produit dont la finesse et la fidélité doivent permettre de répondre aux objectifs qui lui sont assignés et fournir des outils d'analyse pour répondre aux questions motivant les objectifs assignés ; le cycle de conception du système de traçabilité suit l'ordre inverse, partant des objectifs et questions pour remonter à la modélisation et à la capture ;

De là, La conception d'un système de traçabilité efficace devra :

- 1/ gérer le cycle de vie de ce système en organisant la gestion des exigences métier et la conception des applications informatiques ;
 - 2/ définir un langage de description de l'information potentielle du produit ;
 - 3/ organiser, enregistrer et mettre à disposition l'information codée selon ce langage.
- [Vieille, J. 2013].

2.4 Représentation de modèles de systèmes de traçabilité

Plusieurs publications retrouvées dans la littérature tentent de représenter ou de modéliser d'une manière plus ou moins formalisée un système de traçabilité. Les représentations les plus simplistes découlent des définitions attribuées au concept de traçabilité. Dans ses travaux de recherches Talon. D [Talon.D, 2011] a classé les définitions de la traçabilité par rapport aux fonctions et au domaine de mise en œuvre et les a présenté dans le Tableau 2.1 avec leurs sources dans la littérature et cela pour plusieurs filières.

Les deux principaux éléments retrouvés dans ces modèles de systèmes de traçabilité sont l'identification et l'enregistrement des produits ou des opérations.

L'observation de ces définitions de façon synthétique, nous permet de dire alors, que la traçabilité peut être considérée comme l'aptitude à **retrouver** des informations relatives à l'historique, l'utilisation ou la localisation d'un **article** ou d'une **activité** au moyen **d'identification(s) enregistrée(s)**. [BENDRIS S, 2009]. Mais pour retrouver des informations il faut un modèle d'organisation et de codification qui doit être instauré. Tout modèle doit impérativement répondre aux questionnements QQOC, illustrés par la figure 2.7.

Tableau 2.1. Définitions et fonctions attribuées au terme « traçabilité » [Talon.D, 2011]

Fonctions	Sources	Domaine de mise en œuvre
Identifier, retrouver, suivre	Directives Européennes de 1990 et de 1993 [Circulaire DH/EM1 1995, Décret 96-32 1996]	Dispositifs Médicaux
Identifier, enregistrer et retrouver	Norme ISO 8402 [AFNOR ISO 8402 : 1995]	Multi-filières
Identifier, retrouver, localiser	Norme [AFNOR 9000 :2000]	Multi-filières
Respecter la conformité aux exigences spécifiées, enregistrer les étapes du processus	Circulaire DGS/DG n°672 du 20 octobre 1997 [Circulaire 1997]	Activité de stérilisation
Enregistrer les données de traçabilité des étapes du procédé	Bonnes Pratiques de Pharmacie Hospitalière [Arrêté 2001].	Activité de stérilisation
Retrouver un produit, retrouver un patient, gérer les liens entre les produits et les patients. Enregistrer des données de traçabilité	Circulaire DGS/DHOS n°138 du 14 mars 2001 [Circulaire 2001]	Filière de soins
Identifier les produits, enregistrer les données de traçabilité, communiquer la traçabilité entre les maillons d'une chaîne	GS1 (ex Gencod) 2001	Multi-filières
Garantir l'intégrité physique d'un lot (éviter qu'un lot ne soit pollué par un autre lot), disposer des données de traçabilité du produit et des opérations, gérer les lots (lot-process linking), Restituer les données de traçabilité	Toyryla [1999] et Steele [1995]	Multi-filières
Le ST est l'agencement de quatre éléments : <ul style="list-style-type: none"> . Technologie (identification, enregistrement, traitement et visualisation des produits) . Informations (données sur les produits, sur les flux, sur le process) . Process . Organisation (gestion et contrôle du ST) 	Vernède, Verdenius <i>et al</i> [2003]	Filière agro-alimentaire
Le ST comporte des éléments statiques (composants) et dynamiques (actions) : <ul style="list-style-type: none"> . Composants : le système d'information, le système d'identification, l'organisation dans le process, l'environnement du ST . Actions d'identification, d'enregistrement et de contrôle 	Viruega [2005]	Multi-filières
L'identification des actions constitutives du processus et leur enchainement, l'identification des objets (codification) et de leur environnement, le marquage des unités logistiques (pour les associer à leur identification), la lecture électronique de ces marques à différents points de la chaîne, le traitement et la mémorisation des informations pour suivre et gérer le flux physique, la communication des données de traçabilité entre les acteurs de la chaîne	Fabbe-Costes et Lemaire [2001]	Multi-filières

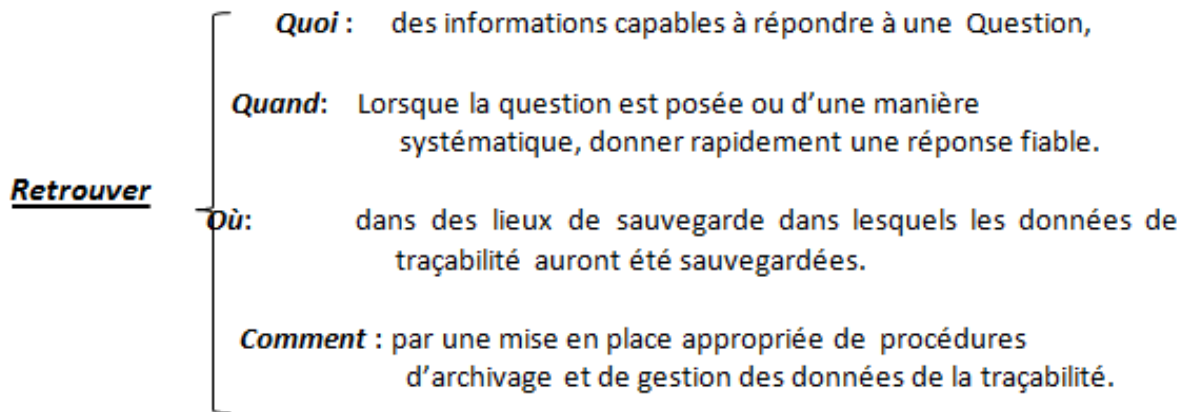


Figure 2.7. Principe de modélisation de la traçabilité à travers les questionnements QQOC.

2. 5 Les modèles pour un système de traçabilité

A travers la recherche bibliographique, nous avons trouvé quelques travaux intéressants qui portent sur des modèles destinés à décrire le fonctionnement et les éléments constitutifs d'un Système de Traçabilité. Bien évidemment, nous n'allons pas utiliser la totalité des critères proposés dans la littérature, mais seulement ceux qui nous semblent les plus pertinents et les plus objectifs par rapport à notre problématique.

Dans le livre de [Grady, J.O.1993], l'auteur mentionne que la traçabilité peut être vue comme une structure hiérarchique représentée graphiquement sous forme d'un arbre, Figure 2.8.

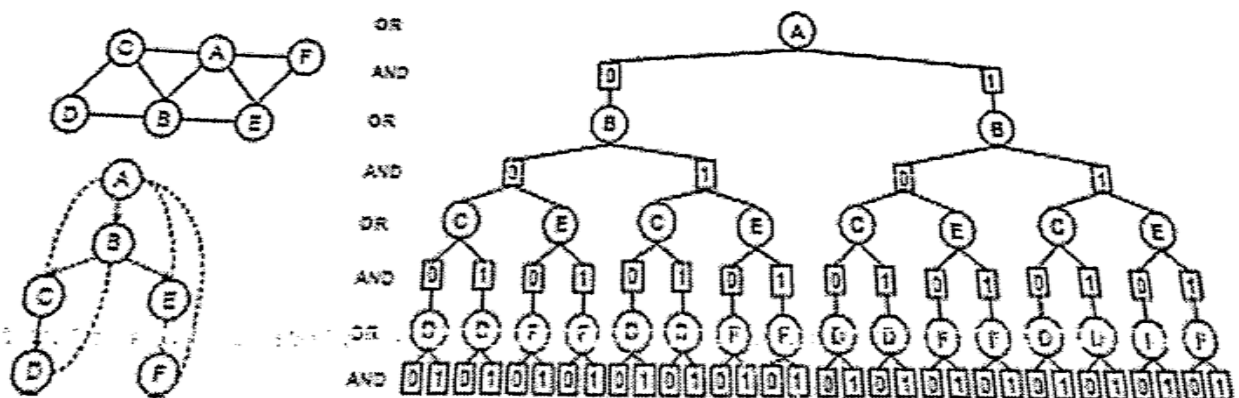


Figure 2.8. Graphe ET/OU pour la représentation des objets [Marinescu, R, et al.2005].

Dans le graphe ET/OU, les produits sont représentés par des nœuds reliés entre eux à travers des relations de composés/composants, permettant ainsi de représenter de façon structurée les liens entre les produits. Par conséquent, tracer les produits consiste à décomposer répétitivement les nœuds terminaux. Dans le même sens, [Shinghal R, 1992] mentionne qu'un graphe ET/OU pour la décomposition hiérarchique des structures des produits peut être utilisé à des fins de traçabilité.

Plusieurs modèles ont été proposés sur la base de ce graphe ET/OU, mais nous ne retiendrons que les 5 modèles qui nous ont permis de produire ce travail.

2.5.1 Le modèle de Kim: Règles de traçabilité via la logique du 1er ordre

Une des premières approches théoriques de la traçabilité est celle proposée par [Kim, H.M., et al. 1995] et [Kim, 1999] dans le cadre du projet TOVE (Toronto Virtual Entreprise). Les auteurs proposent une ontologie de la traçabilité introduisant deux concepts fondamentaux celui de l'activité élémentaire « Primitive Activity » et l'unité de ressource traçable ou TRU « Traceable Resource Unit ». Car, comme le soulignent Ben Ahmed et al. [Ben Ahmed W et al. 2008], un modèle n'est autre qu'une ontologie (idées, expressions, règles) qui est ouverte à son environnement et qui interagit avec lui à travers un fonctionnement donné.

Pour [Kim, H.M., et al. 1995], un système de traçabilité idéal doit être en mesure, à la fois, de tracer l'histoire des produits et des activités, ce qui revient à tracer les TRU et les activités élémentaires. La figure 2.9 présente le principe de l'ontologie TOVE.

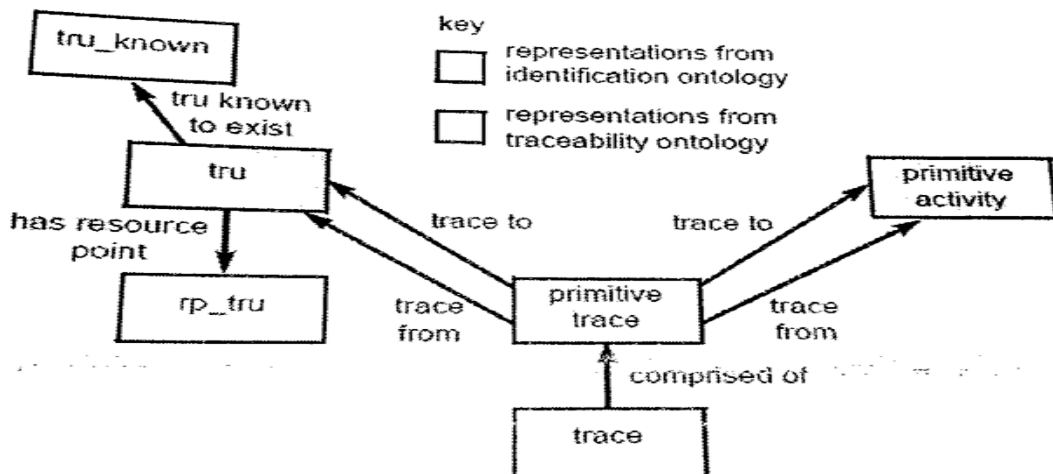


Figure 2.9. Modèle ontologique de la traçabilité [Kim, H.M., et al. 1995].

L'utilisation de la logique du 1er ordre présente l'avantage de permettre une interprétation unique (clarté), chose qui n'est pas toujours évidente avec l'utilisation du langage naturel. Le périmètre du modèle (compétence) est limité principalement à la définition des règles de gestion à observer dans une démarche de traçabilité. Le critère de granularité n'est pas applicable à ce type de modèle dans la mesure où l'on ne peut pas isoler différents niveaux d'abstraction. Cependant, le niveau de détails est important. De par son contenu, ce modèle peut couvrir aussi bien la traçabilité interne que la traçabilité inter-entreprises indépendamment du contexte. D'où une flexibilité très élevée.

2.5.2 Le modèle de Moe: Le triptyque entités, attributs et sous-Attributs

En s'inspirant de [Kim et al, 1995], qu'il considère comme le travail théorique le plus avancé dans le domaine de la traçabilité, Moe [Moe T, 1998] estime qu'un Système de Traçabilité doit suivre non seulement les produits mais aussi les activités qui les transforment (cuisson, conditionnement, déplacement...). Ces deux éléments sont appelés les entités centrales (traduction libre de core entities) du Système de Traçabilité. Une entité étant tout ce qui peut être décrit et considéré individuellement. Comme indiqué dans la Figure 2.10, le modèle qu'il propose consiste à associer à chaque entité un ensemble d'attributs et sous- attributs.

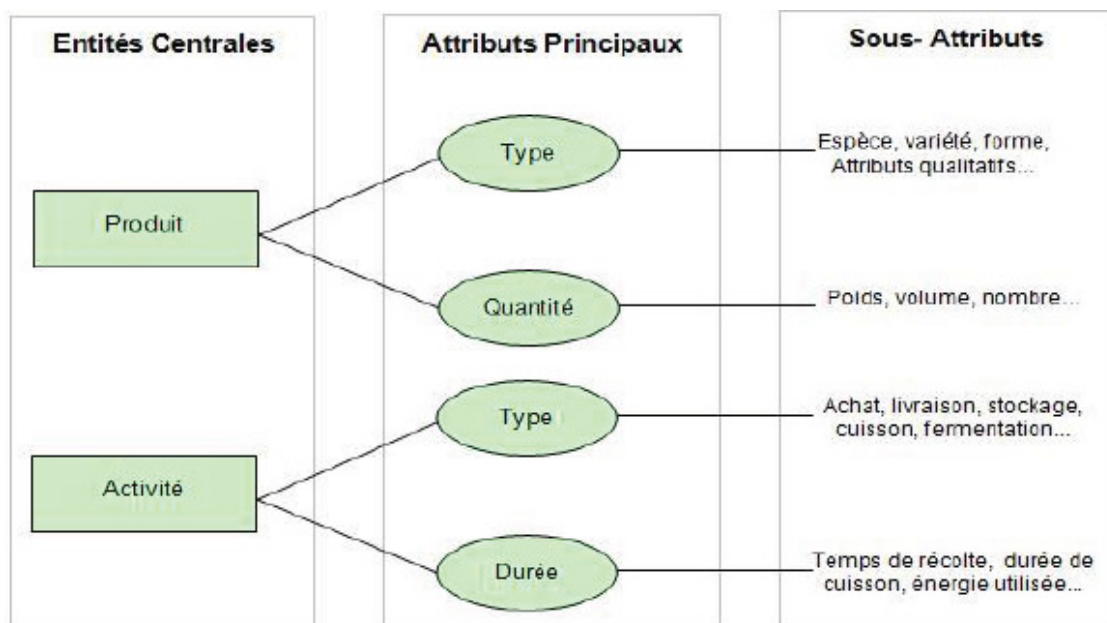


Figure 2.10. Modèle Triptyque de Traçabilité [Moe, 1998]

De par son caractère rudimentaire, ce modèle est très facile à comprendre (*clarté*), mais il ne donne qu'une vision très sommaire d'un système de Traçabilité (*compétence*) bien que l'article où il est décrit soit l'une des références les plus citées dans le domaine. En ce qui concerne sa *granularité*, deux niveaux d'abstraction sont distingués dans le modèle :

Le niveau produit/activité et le niveau attribut/sous-attribut. Pour ce qui est de la *flexibilité*, le modèle est applicable à différents contextes vu sa simplicité.

2.5.3 Le modèle de Van Dorp: entité-relation des données de traçabilité

Dans son mémoire de thèse, van Dorp [Van Dorp, 2004] présente un modèle de données de référence (reference data model) destiné à décrire les entités gérées par un Système de Traçabilité ainsi que leurs attributs et leurs interactions. Ils sont illustrés en Figure 2.11.

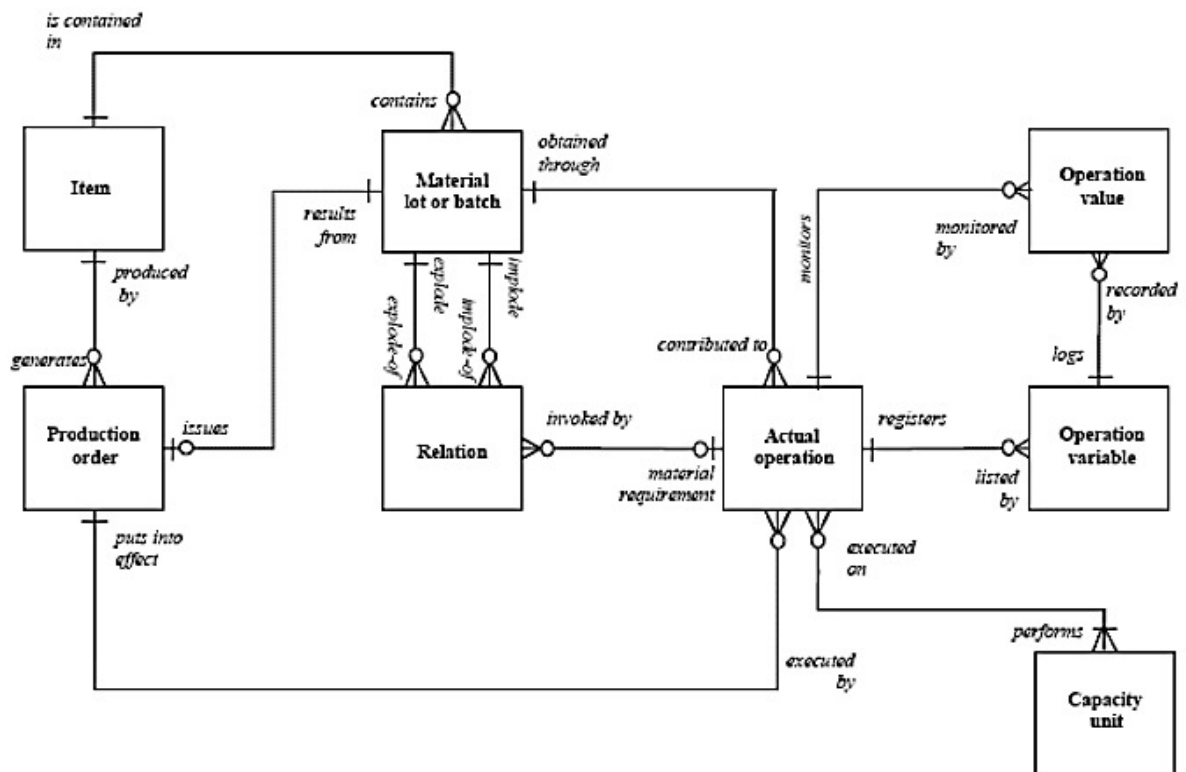


Figure 2.11. Le modèle Entité-Relation des données de Traçabilité. [Van Dorp, C.A. 2004]

Pour structurer les données de production enregistrées, l'auteur propose deux concepts fondamentaux, à savoir la nomenclature de lots BOL (Bill of lots), par analogie avec la nomenclature de production BOM (Bill of material), qui est obtenue par l'enregistrement des liens père/fils entre les différents lots de production utilisés, et la gamme réelle, par analogie avec la gamme de production permettant d'enregistrer les opérations réelles subies par les lots de production.

2.5.4 Le modèle de Dupuy: Modélisation modulaire d'un Système de Traçabilité

En partant de trois fonctions de base qui se déroulent au sein des différents maillons de la chaîne logistique : la réception, la fabrication et l'expédition, l'auteur [Dupuy, 2004] propose une modélisation modulaire. La Figure 2.12 montre l'organigramme du modèle qui stipule que pour chaque fonction, un modèle (brique) de traçabilité est élaboré pour traduire l'agencement de cinq types d'actions de traçabilité :

- Ouverture (création) du lot,
- Création de l'identifiant,
- Enregistrement des consommations et des liens père/fils,
- Enregistrement des informations du lot,
- Clôture du lot.

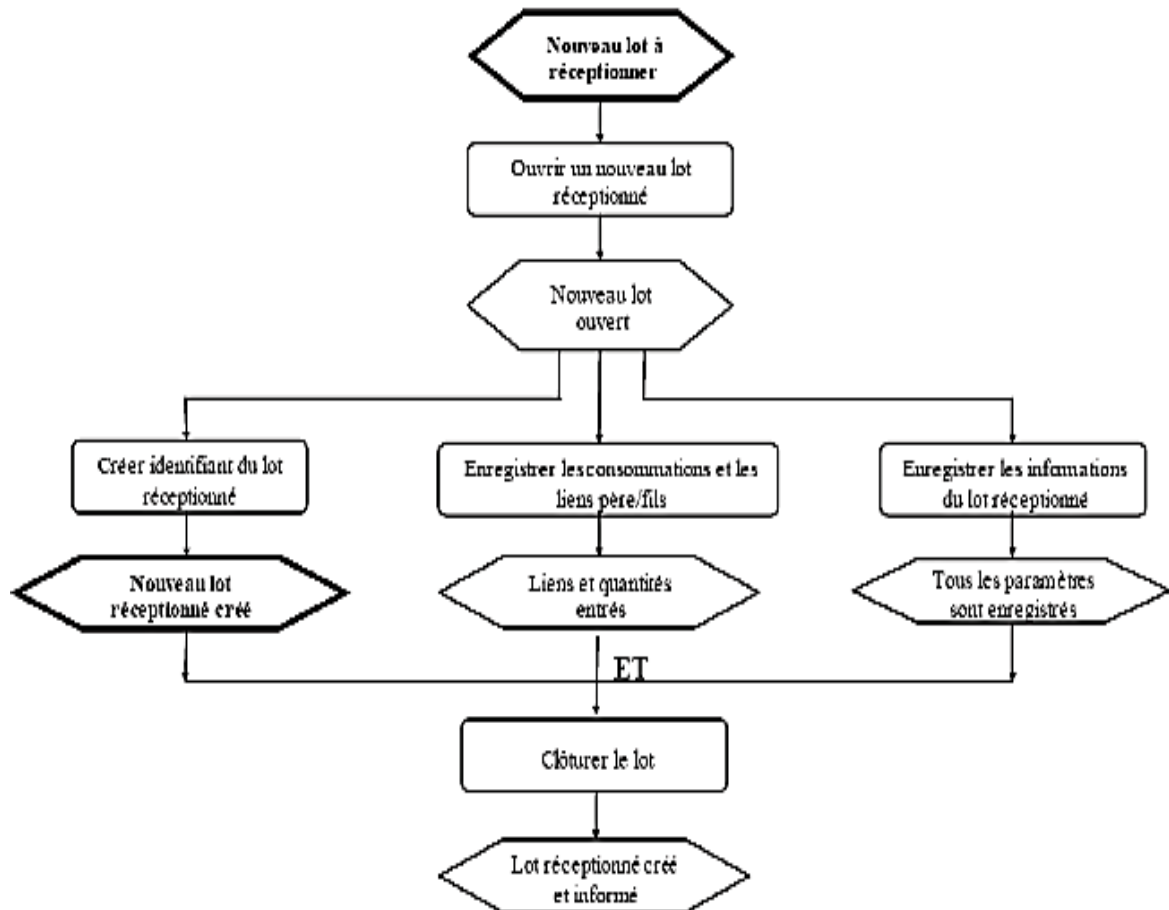


Figure 2.12. Modèle brique générique du Système de Traçabilité [Dupuy, C. 2004]

2.5.5 Le modèle de Terzi: Un méta-modèle pour la gestion de Traçabilité

Dans son travail de thèse où il s'intéresse aux outils PLM (*Product Lifecycle Management*), Terzi [Terzi, S. 2005], propose un méta- modèle destiné à la gestion de la traçabilité des produits tout au long de leur cycle de vie. Pour ce faire, il s'appuie sur concept de *Holon* (inventé par le philosophe Koestler selon Baïna [Baïna. S., 2006] qui représente une entité comportant à la fois une partie physique et une partie informationnelle (voir la Figure 2.13). La traçabilité d'un produit est alors conditionnée par son caractère *holonique*. Si ce caractère est perdu, la traçabilité l'est aussi. Pour rappel, depuis 1993, le terme « holonique » a été adapté au monde de la fabrication, faisant ainsi émerger la communauté des systèmes de fabrication Holoniques (HMS : Holonic Manufacturing Systems). Dans cette communauté, un HMS est un système autonome et coopératif pour transformer, transporter, stocker et/ou contrôler l'information et les objets physiques [Terzi, S. 2005].

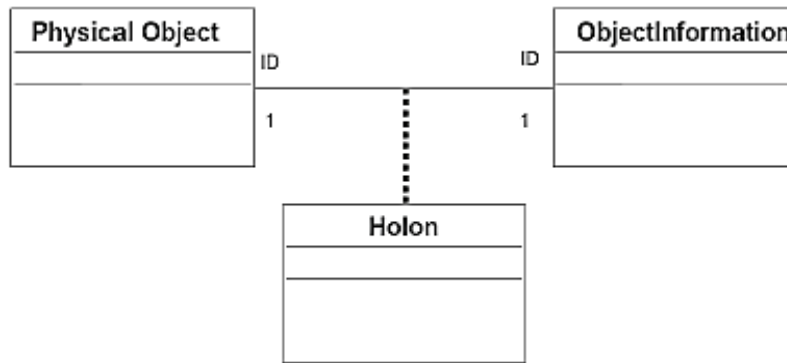


Figure 2.13. Le modèle du Holon pour la gestion de la traçabilité [Terzi, S. 2005]

Il est à noter qu'à travers le modèle du système d'information de (Terzi S, 2005), le produit lui-même est capable de porter l'information, de faire évoluer son état d'information, et d'agir sur le processus, notamment grâce aux systèmes d'identification automatique comme les RFID. Cependant, le modèle reste tout de même conceptuel et doit être validé.

La classe Object Information, représentée par la figure 2.14, est la classe principale du modèle. Sa relation avec la partie physique a une cardinalité de 1 pour 1. C'est le cœur du modèle, c'est une classe stéréotype d'autres classes, comme par exemple les ressources. La classe Object Information peut être composée par d'autres classes Object Information, par exemple une voiture, peut être composée par d'autres produits, comme le moteur, le pare-choc, etc. Elle est aussi, composée de plusieurs autres classes, qui sont nécessaires pour l'archivage des informations concernant le produit et ce, au cours de son cycle de vie. Ce qui permet de suivre les mouvements du produit et de savoir où il était et où il est.

Une autre classe est nécessaire, celle de la description, qui contient une description textuelle de l'objet physique.

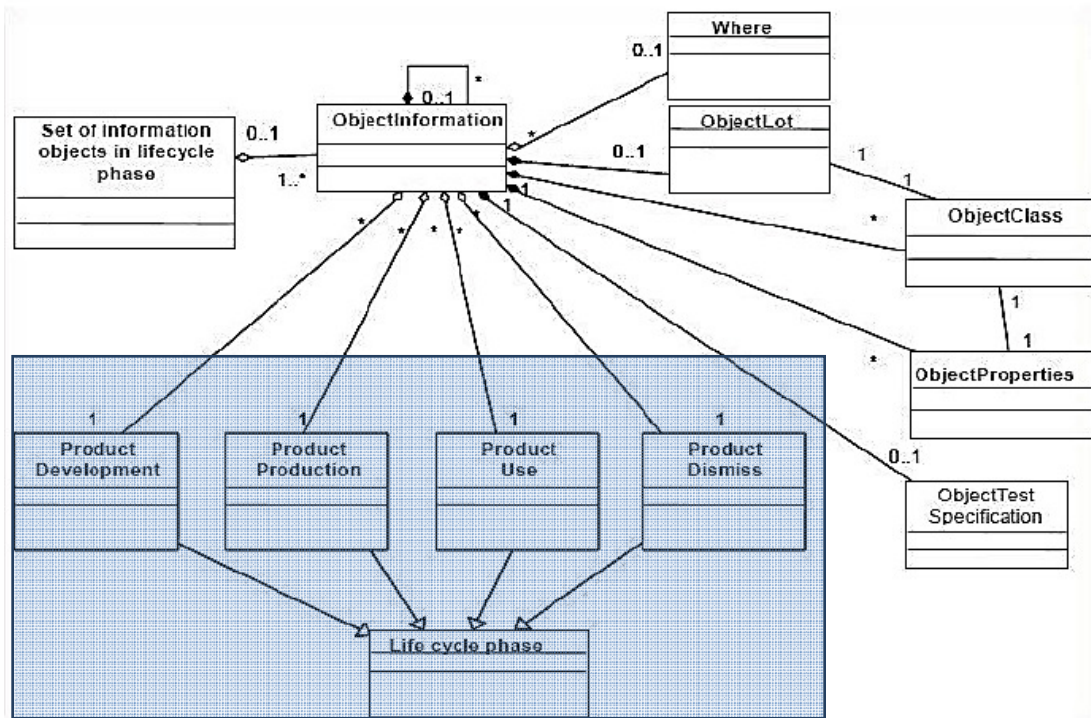


Figure 2.14. Méta-modèle pour la gestion de la Traçabilité Terzi [Terzi S, 2005].

La classe Object Information est générée lorsque le produit est au début du cycle d'exploitation; ce moment peut aussi être celui de l'émission de l'ordre de production, à cet instant la classe Object Information peut être générée. Au début cela va permettre d'identifier le produit. Ensuite, lorsque la durée de vie du produit est à un stade avancé les informations stockées dans le modèle sont mises à jour ou changées. La traçabilité de toutes les informations concernant la manière dont la durée de vie du produit évolue est aussi stockée dans un fichier. Par exemple, on peut citer les résultats des tests effectués sur le produit. Durant la phase de production on peut attribuer aux machines l'opérateur qui y travaille et les sous-composants utilisés dans cette phase; Il est possible de stocker les informations durant son cycle de vie jusqu'à la destination finale.

La classe Object Information correspondant à la classe de la phase du cycle de vie (cadré en bleu, Figure 2.14) comporte 4 sous-classes : le développement du produit, la production du produit, la mise en service du produit et enfin la mise au rebut du produit. Chacune de ces classes décrit une période particulière de la vie du produit.

- i) La classe développement de produit représente la phase de conception; elle trace les décisions, les choix faits, les exigences posées par le client ... Cette phase du cycle de vie est très différente des autres, et est également très examinée par d'autres auteurs. Elle se repose sur les progiciels type CAO, IAO (Conception ; Ingénierie).
- ii) La classe « production du produit » assure la traçabilité, par exemple les personnes qui ont participé à la fabrication manufacturière du produit, sur quelles machines, avec quelles matières premières etc. Si le modèle est utilisé dans un sens avant, il contient aussi les informations sur la manière dont le travail devra être fait.
- iii) La classe « Product use » assure la traçabilité concernant la vie utile du produit, quand il est mis en service, et le but pour lequel il a été créé.
- iv) La classe « Product Dismiss » assure la traçabilité concernant, comment le produit est démonté et mis au rebut. Cette classe est particulièrement utile si elle est utilisée en avance de phase pour contenir les Informations :
 - sur la manière de démonter,
 - sur les pièces à recycler,
 - sur les éléments polluants et la façon de stocker et de les détruire sans risque.

2.5.6 Evaluation de Moody

La présentation des 5 modèles cités ci-dessus n'est pas fortuite mais elle a été réalisée dans le but de choisir un modèle pour l'adapter dans le contexte d'un atelier d'usinage mécanique. Ce n'est pas évident eu égard au nombre de critères à considérer pour implanter un système de traçabilité dans une entreprise manufacturière. Nous proposons alors de revenir sur certains modèles et de présenter une évaluation forte intéressante rapportée par Moody [Moody Daniel L 1998 ; Moody, Daniel L 2003]. Ce dernier a, en l'occurrence comparer 3 modèles, de Moe, de Van Dorp et de Terzi qui ont comme point commun d'être des modèles de données (data models), s'appuyant sur 8 facteurs de qualité de données dont 6 sont présentés dans le Tableau 2.2 qui montre les résultats d'une comparaison qualitative de ces trois modèles. En effet le 2 premiers critères, le bien fondé et la complétude forment les facteurs les plus critiques pour caractériser un modèle de traçabilité.

Il faut que le modèle soit conforme aux règles et convention de modélisation et aussi contient-il toutes les informations requises.

Tableau 2.2 Evaluation de 3 modèles de données de traçabilité selon les critères de Moody. [Moody Daniel L 1998 ; Moody Daniel L, 2003]

Facteurs de qualité	Signification	Le modèle de [Moe, 1998]	Le modèle de [Van Dorp, 2004]	Le modèle de [Terzi, 2005]
Bien-fondé (<i>correctness</i>)	Conformité du modèle aux règles et convention de modélisation en vigueur	Non applicable à ce modèle ne s'appuyant sur aucun formalisme connu	++	+++
Complétude (<i>completeness</i>)	Le modèle contient-il toutes les informations requises ?	-	+	+++
Intégrité	Le modèle définit-il toutes les règles de gestion applicables aux données en question ?	-	++	++
Simplicité	Un modèle est qualifié de simple s'il ne comporte que le minimum possible d'entités et relations	+++	++	+
Flexibilité	Facilité avec laquelle le modèle peut s'adapter à un changement de contexte	+++	+	++
Intelligibilité (<i>understandability</i>)	Facilité de compréhension des concepts et de la structure du modèle	+++	++	+

Le 3ème critère est un critère d'intégrité qui définit toutes les règles de gestion applicables en question. Les critères 4 et 5 sont des critères qui doivent mettre en évidence l'opportunité d'implantation d'un système de traçabilité dans une entreprise manufacturière et l'adapter à un éventuel changement de contexte. Le 6^{ème} critère pose la question de compréhension des concepts et de la structure du modèle qui plus il est facile plus il est intelligible. Donc sur les 3 modèles, le modèle de Terzi l'emporte avec 12 signes + contre 10 signes + pour le modèle de Van Dorp et le modèle de Moe avec 6 signes + et 2 signes – et ne s'appuyant sur aucun formalisme connu. Moody [Moody Daniel L, 1998 ; Moody Daniel L, 2003] révèle que les 3 modèles de données pour la gestion de la traçabilité présentent un certain nombre d'inconvénients majeurs. Nous retiendrons les 2 principaux :

- Pour le critère du respect des règles de la modélisation, le modèle de [Moe T, 1998] très peu développé, ne s'appuie sur aucun formalisme de modélisation, toutefois sa simplicité le rend très flexible et applicable à différents contexte. Par contre, la complétude des modèles représente une

véritable limite pour l'ensemble des modèles avec un degré moindre pour le modèle de [Terzi S, 2005]. En effet, avec un minimum de données relatives au produit, aucun des modèles ne présente l'ensemble des données nécessaires à tracer le produit tout au long de son cycle de vie.

- La deuxième limite relève de leur intégrité, en effet les autres ne décrivent pas en détail toutes les règles de gestion sous-jacentes. Par exemple au niveau du modèle de [Van Dorp CA, 2004], nous avons remarqué une défaillance d'une de ses règles de gestion, qui définit qu'un ordre de production ne peut produire qu'un et un seul article, ce qui n'est pas vrai pour les cas de l'assemblage et de désassemblage.

Les 2 derniers critères sont d'ordres contextuels. Le 7ème est relatif à l'intégrabilité qui traduit la cohérence du modèle de données de l'entreprise et de l'ensemble de la chaîne logistique. Et le 8ème critère concerne l'implémentation du modèle qui correspond à la facilité avec laquelle il peut être mis en œuvre.

2.6 Récents développements des modèles de traçabilité interne

De nos jours les entreprises manufacturières se dotent de moyens technologiques équipements et logiciels, de plus en plus performants, mais se retrouvent confrontés à des problèmes de collectes de données et d'organisation afin de construire leur système de traçabilité pour une meilleure gestion du cycle de vie de leurs produits.

En 2003, un concept fondamental a été proposé [Jansen-Vullers MH et al, 2003] à savoir la nomenclature de lots BOL (Bill of lots), par analogie avec la nomenclature de production BOM (Bill of material). Le concept consiste à inscrire sur le même registre les données de production, qui est obtenue par l'enregistrement des liens père/fils entre les différents lots de production utilisés, et la gamme réelle, et cela par analogie avec la gamme de production permettant d'enregistrer les opérations réelles subies par les lots de production. C'est un concept adapté pour la traçabilité dans le secteur manufacturier particulièrement, dans les ateliers d'usinage, qui définit le modèle de données de références pour la traçabilité, Figure 2.11.

Le modèle de données de référence affiche la fonctionnalité de traçabilité dans le secteur manufacturier. Seule une description des exigences fonctionnelles (à savoir des données) est prévue ici et non pas une description des exigences de

performance du système d'information. Par conséquent, les données incluses dans le modèle de données de référence indiquent généralement des données qui doivent être traitées, stockées et présentées par le système d'information. De nombreuses relations sont incluses dans le modèle.

En 2008, le concept du modèle de produit a été appliqué pour codifier une pièce mécanique [Jérôme D et Denis T, 2008] à fabriquer. La Figure 2.16 montre une description d'une composante mécanique à laquelle une nomenclature portant un numéro a été attribuée 'Shaft 12 ' avec un ensemble de caractéristiques : le nom de la composante, l'étape dans le processus de décomposition du produit (granularité: assemblage, pré-assemblage ou pièce), et la géométrie nominale de la composante. Cette dernière, en service, permet notamment d'une part la vérification et le contrôle des écarts des pièces fabriquées, envers les tolérances et les ajustements requis lors de l'assemblage de pièces et d'autre part l'expertise de pièces défectueuses d'un produit, particulièrement quand il y a des sous-ensembles composés de plusieurs composantes, à sous-traiter pour une entreprise externe de sous-traitance.

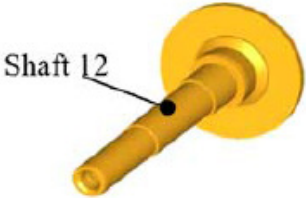
CAD viewer representation	Component object attributes	Product model graph representation					
	<table border="1"> <tr> <td>Component</td> </tr> <tr> <td>Name: Shaft 12</td> </tr> <tr> <td>Granularity: Sub-Assembly</td> </tr> <tr> <td>Geometry: Nominal geometry</td> </tr> </table>	Component	Name: Shaft 12	Granularity: Sub-Assembly	Geometry: Nominal geometry	<table border="1"> <tr> <td>Shaft 12</td> </tr> </table>	Shaft 12
Component							
Name: Shaft 12							
Granularity: Sub-Assembly							
Geometry: Nominal geometry							
Shaft 12							

Figure 2.15. Description d'une composante mécanique 'Shaft 12'. [Jérôme D et Denis T, 2008].

En 2015, un système de travail ubiquitaire se basant sur la technologie de l'informatique ubiquitaire et le cloud computing a été appliqué dans un atelier d'un système de fabrication [Husejnagić D et Sluga A ,2015] pour définir le cadre conceptuel. L'approche vise à améliorer la performance de systèmes de fabrication en augmentant leur productivité, la disponibilité, la réactivité et l'agilité ainsi que le soutien à la prise de décision et la gestion des opérations en temps réel. La figure 2.10 représente le diagramme de niveau de base de l'u-AWS (Arizona Web Services). Sa fonctionnalité basique est la transformation des intrants dans les sorties.

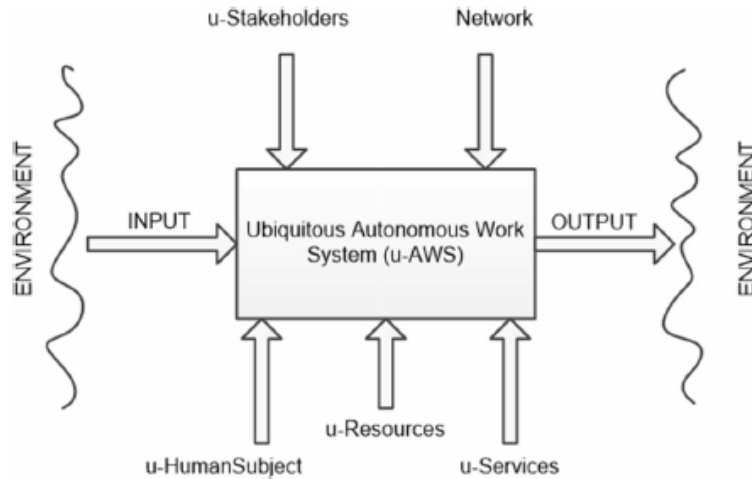


Figure 2.16. Le système de travail autonome Ubiquitous (u-WAS) [Butala. P, Sluga. A, 2006].

Les modèles de système opérationnel u-AWS représentent des cas de système de fabrication ubiquitaire pour certains projets. Ces modèles donnent des connaissances pour de nouvelles conceptions d'u-AWS. Les opérations u-AWS sont généralement assez complexes et, même difficiles à comprendre si tous les aspects pertinents de l'opération sont représentés dans un modèle commun. Pour simplifier le modèle pour l'utilisateur, tous points de vue devraient être fournis pour lui permettre de voir uniquement l'aspect de sa préoccupation.

Conclusion

En complément du chapitre précédent, le chapitre II est orienté vers une présentation de l'état de l'art sur le domaine de la traçabilité dans les entreprises manufacturières, particulièrement les ateliers d'usinage mécanique. Il présente l'efficacité d'un système de traçabilité chez les grands constructeurs d'automobile quand il s'agit d'identifier les produits à rappeler en cas de détection d'un problème qualité comme une pièce défectueuse dans un véhicule. Ils appliquent donc un plan de rappel se rapportant aux produits et à la faculté de retrouver leurs composants et leurs composés ainsi que l'historique des processus appliqués. Le besoin d'implanter un système de traçabilité dans les petites ou grandes entreprises manufacturières surtout chez les entreprises de sous-traitances est fortement exprimé et d'un enjeu considérable. Donc, apporter une identification au produit est de nature à améliorer l'image de marque de l'entreprise et surtout retrouver l'historique pour enlever toute

ambiguïté quand il y a litige, par exemple. Une cartographie des modèles développés pour implanter un système de traçabilité montre combien les ateliers de fabrication prennent une place déterminante non seulement du point de vue équipements qui se trouvent de plus en plus performants mais aussi des progiciels techniques qui sont fortement munis de bases de données techniques fiables et maîtrisables. 5 modèles destinés à décrire le fonctionnement et les éléments constitutifs d'un Système de Traçabilité ont retenus notre attention :

- i) Le modèle de Kim: Règles de traçabilité via la logique du 1er ordre
- ii) Le modèle de Triptyque de Moe,
- iii) Le modèle de Van Dorp: entité-relation des données
- iv) Le modèle de Dupuy: Modélisation modulaire d'un Système de Traçabilité
- v) Le modèle de Terzi: Un méta-modèle pour la gestion de Traçabilité

Ce sont des modèles cohérents et objectifs par rapport à la problématique de ce travail, mais ils présentent certains inconvénients qui montrent leur limite dans les applications industrielles. Néanmoins le modèle de Terzi reste bien fondé, présente une meilleure complétude et s'intègre bien mais il est moins facile et peu intelligible.

Les récents développements des modèles d'utilisation des systèmes de traçabilité sont mis en évidence et montrent que de plus en plus les entreprises manufacturières se dotent de moyens et progiciels, de plus en plus performants pour venir à bout des problèmes de collectes de données et d'organisation afin de construire leur système de traçabilité pour une meilleure gestion du cycle de vie de leurs produits. Mais quel que soit les techniques utilisées et les modèles appliqués, l'implantation d'un système de traçabilité interne dans un atelier de fabrication mécanique demande une bonne connaissance des données et une maîtrise de la base de données. La codification des pièces dépend de plusieurs paramètres entrant dans son cycle de vie depuis la matière première jusqu'à la pièce finie dont les exigences techniques doivent répondre au données de fonctionnalité.

Les deux prochains chapitres proposent donc de mettre en évidence l'importance de la fiabilisation du système de production avant d'entamer notre contribution à une approche d'implantation d'un système de traçabilité dans un atelier de fabrication mécanique.

Chapitre 3

FIABILISATION D'UN SYSTÈME DE PRODUCTION POUR LA FABRICATION DES PIÈCES MÉCANIQUES.

Avant de développer ce chapitre, nous souhaitons rappeler que le sujet de la présente thèse de doctorat n'était pas fortuit, mais il émane des résultats de travaux de mémoire de magistère sur 'une étude fiabiliste de l'usure des outils de coupe pour l'usinage des axes de moyeux sur tour à décolleter à CN' [Rouabhia-Essalhi R, (2009)]. Elle a permis de mettre en évidence la fiabilisation du tour à décolleter en corrélant 2 approches d'analyses de la production à travers une approche fiabiliste.

La première approche concerne l'analyse du comportement d'un équipement de production à savoir le tour semi-automatique TORNOS BESHLEK destiné pour la fabrication de petites pièces de révolution de haute précision. Cette analyse a été réalisée en appliquant le diagramme d'ISHIKAWA causes et effets qui a permis de relier les 5 M, matériel, méthode, main d'œuvre, matière et milieu et définir les variants et les invariants du système. En effet, il a révélé que l'usure de l'outil et les décisions des opérateurs sont 2 éléments importants et influents directement sur les coûts de la production et la qualité. L'usure de l'outil dépend des conditions et

régimes de coupe Ainsi, une expertise montre la différence qu'il y a entre deux opérateurs donnés quant au nombre de pièces usinées avant changement d'outil à cause de l'usure.

La deuxième approche présente une étude expérimentale sur l'usure de l'outil dans des conditions réelles d'un atelier d'usinage c'est-à-dire que l'étude a été menée sur site industriel de l'entreprise nationale algérienne des cyclomoteurs CYCMA de Guelma. L'investigation n'a pas suivi un plan d'expérience, mais elle a pris en considération l'exemple d'usinage d'un axe de moyeu de roues pour fauteuil roulant en respectant exactement les conditions de travail et les matières premières, les matières des outils coupants, le type d'outil, les régimes de coupes, les décisions des opérateurs. Les résultats de l'évolution de l'usure étaient plus réalistes et nous ont permis de développer des modèles d'usure qui ont servi comme modèle de calcul dans l'approche fiabiliste.

L'approche fiabiliste a permis de donner des résultats forts intéressants. En effet, 9 cas de figures ont été considérés selon la matière à usiner, la matière de l'outil, les conditions de coupe et la main d'œuvre. Le calcul fiabiliste a été réalisé sous le Logiciel de fiabilité PHIMECA Soft qui intègre les incertitudes des paramètres de calcul, en utilisant des distributions probabilistes. Le calcul considère un scénario de défaillance exprimé, par un état limite qui donne la différence entre l'usure de l'outil et l'usure admissible [VB]. Il en résulte des outils de décision qui permettent de déterminer le nombre de pièces exactes à obtenir avant changement de l'outil. Cette façon de faire vient palier l'aléa dans le changement de l'outil, basé sur les observations à l'œil nu et aussi sur le choix des régimes de coupe. Par cette méthode, le nombre d'assemblages de moyeu admis à l'exploitation est de 100%.

Après appréciation des résultats par l'entreprise CYCMA, il est convenu d'une part de compléter ce travail en intégrant un 3ème opérateur et d'autre part de faire une étude sur l'opportunité d'implantation d'un système de traçabilité pour le suivi de la production.

Conformément aux perspectives de ces antécédents travaux, ce chapitre présente les avancées de l'application de l'approche fiabiliste dans les systèmes de production mécaniques dans la littérature, et ensuite développe le principe de fiabilisation d'un système de production pour la fabrication des pièces mécaniques.

3. 1 Avancées de l'approche fiabiliste dans les systèmes de production en mécanique

3.1.1 Bref historique

Dès que les hommes ont inventé les premiers instruments, ils sont devenus dépendants de leur bon fonctionnement. La fiabilité est ressentie comme un besoin urgent. Avant la seconde guerre mondiale, le concept de fiabilité était avant tout qualitatif et subjectif. Elle est alors vue comme un savoir-faire, basé sur l'expérience et l'intuition de l'ingénieur, et auquel on associe un concept de qualité des équipements.

Avec l'arrivée de l'électronique la fiabilité est entrée dans une nouvelle ère de complexité.

Les concepts de probabilité associés aux risques sont employés depuis longtemps. Pierre-Simon, Marquis de Laplace (1749-1827), a publié une recherche mathématique appliquée à ces concepts.

Dans les années 1940, s'est produit le développement de la théorie mathématique qui a une relation directe avec l'analyse de fiabilité. Robert Lusser a développé une équation associée à la fiabilité d'un système en série [Lafraia, 2001].

Dans les années 60, considéré dans le secteur du transport aérien [Villemeur A, (1988)], le mot fiabilité a acquis un sens technique pour caractériser de la sûreté de fonctionnement des équipements. Dès 1930 les transports aériens commencent à collecter des informations statistiques sur les incidents des appareils. Les premiers résultats quantifiés sont publiés entre 1939 et 1942 par le capitaine A.F. Pugsley de la 7ème brigade d'infanterie canadienne, avec un taux d'accident évalué à 10-5/h pour les avions et 10-7/h pour leur structure [Bazovzky I, (1961)].

Pendant la seconde guerre mondiale, suite aux défaillances des premiers missiles V-1 [Bazovzky I, (1961)], s'est développée une approche probabiliste de la défaillance d'un système : la fiabilité d'un système est une composition des fiabilités de tous les éléments qui le constituent. C'est Eric Pieruschka qui va finalement proposer la formule de calcul de la fiabilité d'une chaîne : $R_{chaîne}(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times \dots \times R_n(t)$. La probabilité de survie d'une chaîne à une date « t » arbitraire est le produit des probabilités de survie de chacun de ses composants à cette date, dans l'hypothèse où lesdits composants sont indépendants les uns des autres.

La fiabilité a commencé d'être enseignée aux Etats-Unis dans les années 1950 avec le développement de l'électronique. C'est à cette époque que la marine militaire américaine constate que ses tubes électroniques ne sont opérationnels qu'à la hauteur de 30 % de leur temps d'utilisation [Lees F. P, (1980)]. Les premières directives en électronique voient le jour par des spécifications d'essais de vieillissement accéléré, directives qui seront reprises et adaptées par Introduction la NASA. En France, c'est le Centre National d'Etudes sur les Télécommunications qui rassemble un recueil des données de la fiabilité des composants électronique [Schwob M, Peyrache G, (1968)].

Avec le démarrage de l'industrie aérospatiale et électronique, accompagné de l'établissement de l'industrie nucléaire, dans les années 1950, une grande avancée dans le développement de méthodologies de calcul et des applications de fiabilité a été vérifiée. A ce moment-là, les analystes ont reconnu la nécessité d'application de l'analyse de fiabilité, principalement dans la phase de projet, contrairement à la façon d'élaborer les projets, c'est à- dire, concentration de ressources pour la manutention après la vérification de présence de défaillances.

À partir de 1960, le développement des techniques d'analyse de nature théorique et expérimentale initiée dans la décennie de 1950 ont continué leurs avancés, notamment la théorie d'analyse d'arbre de défaillances. Cette époque marque l'établissement des bases de l'analyse de fiabilité appliquée à des systèmes mécaniques. Les premiers travaux ont été basés sur les modèles d'efforts et de résistance.

C'est aussi à partir des années 1960, que les méthodes d'analyse prévisionnelle de la fiabilité et de la sécurité des systèmes se généralisent dans l'industrie aéronautique et spatiale. Ces méthodes ont également été très utilisées par la NASA pour accompagner les débuts du programme APOLLO. Dans le nucléaire, on assiste aux premiers pas de la méthode du "Diagramme de Succès" [Villemeur A, (1988)]. En 1961, le nouveau concept d'arbres des causes est introduit par Watson des « Bell Telephone Laboratories » comme une méthode permettant d'évaluer la sécurité du système de contrôle du missile Minuteman [Henley J, Kumamoto .H, (1981)]. Cette technique sera reprise par Boeing [Hassi D. F (1965)].

En France, la SNIAS (Société Nationale des Industries Aéronautiques et Spatiales) utilise la méthode des combinaisons de pannes sur le projet Concorde, puis

sur Airbus [Lievens C, (1976)]. Toutes ces méthodes trouvent un écho favorable dans l'industrie civile, notamment au Japon.

Apparaissent alors les premières bases de données et les premiers ouvrages de référence : ouvrage de Bazovsky [Bazovzky I, (1961)] publié en 1961, la revue « IEEE Transaction on Reliability » ; en France c'est en 1962 que le mot « fiabilité » a été admis par l'Académie des Sciences et c'est vers 1965 que le concept de maintenabilité est introduit, et sur lequel le CEA (Commissariat à l'Energie Atomique) travaillera activement dans les années 67-68.

En 1971 sont publiés les résultats des premiers travaux sur la fiabilité du logiciel. En 1972, EDF et le CEA mènent les premières études exhaustives sur le nucléaire. En 1975, le rapport américain Rasmussen [Reactor Safety, (1975)] présente une évaluation complète d'un risque nucléaire sur les centrales de Surry 1 et Peach Bottom 2 : en synthèse, le risque calculé pour les populations avoisinant lesdites centrales est inférieur à celui que font courir les chutes de météorites. En 1979, la catastrophe nucléaire de TMI (Three Miles Island) [Kemeny J. G, (1969).] apporte une manière inattendue de promouvoir les outils de sûreté de fonctionnement puisque le scénario qui a mené à la catastrophe était quasiment décrit dans le rapport Rasmussen. Ce sont ensuite les industries pétrochimiques [HSE, (1978)] qui procèdent à leurs premières études de risque, avant que les techniques de sûreté de fonctionnement ne soient diffusées dans la chimie, le ferroviaire, l'automobile, le traitement et l'épuration d'eau, et l'ensemble des grands secteurs industriels. Finalement, à partir du début de 1980, se vérifie que les pays détenteurs de technologie de pointe mettent en œuvre définitivement les techniques d'analyse de fiabilité dans les divers secteurs de l'ingénierie.

3.1.2 La Fiabilité en Mécanique

En mécanique, l'analyse de la fiabilité est un paramètre clé de la qualité et d'aide à la décision, aussi une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement. Une fois que la sécurité ou la disponibilité d'un système est mise en défaut, on incrimine sa fiabilité.

L'analyse de fiabilité est donc l'évaluation probabiliste du risque ou de la défaillance d'un système sur certaines limites spécifiées dans le projet [Haldar. A, et al, (2000)]. Selon [Meclchers. R.E, (1987)], la fiabilité est la probabilité rapportée à

la parfaite opération d'un système structural donné durant un certain temps appelé temps de vie utile, en des conditions normales d'opération. L'ingénieur fiabiliste cherche à déduire de l'évolution temporelle de cette fiabilité une future stratégie de maintenance.

Un des principaux objectifs de l'analyse de la fiabilité dans le domaine de la mécanique est de caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie, mesurer l'impact des modifications de conception sur l'intégralité du produit, qualifier un nouveau produit et améliorer ses performances.

L'analyse de la fiabilité constitue une phase indispensable dans toute étude de sûreté de fonctionnement. A l'origine, la fiabilité concernait les systèmes à haute technologie (centrales nucléaires, aérospatial). Aujourd'hui, la fiabilité est devenue un paramètre clé de la qualité et à la décision, dans l'étude de la plupart des composants, produits et processus "grand public": Transport, énergie, bâtiments, composants électroniques, composants mécaniques....

De nombreux industriels travaillent à l'évaluation et l'amélioration de la fiabilité de leurs produits au cours de leur cycle de développement, de la conception à la mise en service (conception, fabrication et exploitation) afin de développer leurs connaissances sur le rapport Coût/Fiabilité et maîtriser les sources de défaillance.

3.1.3 Analyse fiabiliste des structures mécaniques

Actuellement il existe une claire tendance pour considérer les procédures d'analyse structurale, les incertitudes présentes, en remplaçant des analyses déterministes par des analyses probabilistes [Schuëller, G. I. (2000)]. Dans ce contexte, les principales appréciations sont : la modélisation et propagation d'incertitudes dans les modèles des éléments finis stochastiques [Van den nieuwenhof B, (2003)] ; l'analyse de fiabilité de systèmes structuraux, basée sur le couplage **mécano-fiabiliste** [Haldar A et Mahadevan S, (2000)]; l'optimisation robuste [Evgrafov O et al, (2002)]. D'autres aspects qui complètent ces études sont : les techniques d'échantillonnage de grandeurs aléatoires (expansion par chaos polynomial, expansion de Karhunen-Loève, représentation spectrale, [Schuëller G I, (2000)] ; la construction de méta modèles ou surfaces de réponse [Chen et al, (2004)] ; l'analyse de sensibilité [Melchers R E et M. Ahammed A, (2003)].

C'est dans ce contexte que plusieurs travaux sont lancés dans le domaine du calcul mécano-fiabiliste des structures [Amirat A et al, (2006) ; Khelif R et al, (2007).] et particulièrement en composite [Frangopol D M et Recek S, (2003) ; Li H Z et Low B K, (2010)] en vue de prolonger leurs durée de vie et de rationaliser leurs exploitations.

L'un des principaux objectifs de toutes ces analyses est d'établir une relation entre la probabilité du succès d'une certaine exigence et les incertitudes des paramètres de projet.

En effet, l'estimation de la probabilité de succès d'un certain critère est une nécessité primaire dans l'Ingénierie Structurale. La nécessité d'établir des niveaux de sécurité dans la présence de phénomènes naturels (comme les séismes, les ouragans, etc.) de barrages, de sites nucléaires, et **d'installations industrielles** démontre l'importance de ces études. Dans ce contexte, une série de méthodes et des outils pour l'insertion des informations probabilistes dans les modèles de structures, ont été développés [Melchers R E, (1987)].

Une bonne synthèse des techniques d'analyse de fiabilité appliquées à des systèmes structuraux est présentée dans les ouvrages de [Haldar A et Mahadevan. S (2000a) ; Melchers R E, (1987) et Lemaire M, (2005)]. Parmi les principales méthodes numériques développées pour l'analyse de fiabilité des structures, on peut citer : la simulation de Monte Carlo (SMC), les méthodes d'approximation locale de premier et deuxième ordre (FORM - *First Order Reliability Method* et SORM - *Second Order Reliability Method*) et la méthode de surface de réponse liée à ces dernières techniques.

La proposition de méthodologies alternatives d'optimisation dans les méthodes d'analyse de fiabilité est une des contributions récentes de la communauté scientifique.

[Hurtdo J E et Alvarez D A, (2001)] présentent une étude comparative d'analyse de fiabilité en utilisant différents réseaux de neurones artificiels pour substituer des modèles aux éléments finis dans l'évaluation des fonctions d'état limite. [Shueremans L et Van Gemert D, (2005) ; Deng L et al. (2005) et Elhewy A H et al, (2006)] ont proposé une méthode basée sur des surfaces de réponse basées sur les réseaux de neurones artificiels et les splines pour éliminer les inconvénients de la SMC et FORM. Des algorithmes génétiques en fiabilité des structures sont présentés

par [Deng L et al, (2005)] ; cette technique concerne les variables aléatoires qui ont plus d'influence dans la défaillance des systèmes. [Elegbede C, (2005)] a été le premier à utiliser l'Optimisation par Essaims Particulaires (Particle Swarm Optimisation - PSO) associé à la fiabilité des structures. Mais son travail se limite à l'évaluation des fonctions d'état limite analytiques, c'est-à-dire que la méthodologie a été testée sur des systèmes simples pour lesquels les fonctions d'état peuvent être obtenues. [Obadage A S and Harnpornchai N, (2006)] suggèrent la détermination du point de conception en utilisant des algorithmes génétiques avec un schéma de pénalité appliqué sur de fonctions d'états limite non linéaires.

Le principal objectif de l'optimisation fiabiliste est de trouver une solution optimale des structures en satisfaisant simultanément un certain niveau de fiabilité. Généralement, un problème d'optimisation fiabiliste est formulé comme un problème général d'optimisation classique en prenant en compte l'indice de fiabilité dans les contraintes.

Les premiers travaux qui traitent le problème d'optimisation fiabiliste sont basés sur des analyses de sensibilité [Frangopol D M, (1985)]. En considérant la probabilité de défaillance comme une contrainte, [Feng Y S et Moses F. (1986)] ont résolu un problème d'optimisation. [Enevoldsen I et Sorensen J D, (1993)] suggèrent quatre procédures pour résoudre le problème des systèmes en séries et en parallèles. Postérieurement, la méthode FORM a été utilisée pour évaluer l'indice de fiabilité dans la solution de [Lee J O et al, (2002)] qui ont comparé l'optimisation fiabiliste classique avec une approche de performance cible et pour conclure que cette dernière approche était informatiquement plus efficace et robuste. [Papadrakakis M et Lagaros N.D, (2002)] ont présenté une méthodologie pour l'optimisation fiabiliste avec un tirage d'importance pour évaluer la fiabilité tandis qu'un réseau de neurones exécutait l'optimisation. Les méthodes d'analyse de fiabilité les plus souvent utilisées dans les travaux de recherche sont les méthodes FORM, SORM et SMC, sachant que sont celle considérées les plus connues et plus robustes [Haldar A et Mahadevan S, (2000); Lemaire M, 2005)]. Dans le cadre de la méthode FORM et SORM, la recherche du point de défaillance le plus probable dans le domaine réduit, pose un problème d'optimisation. Dans ce sens, plusieurs méthodes d'optimisation numérique sont utilisées pour estimer **l'indice de fiabilité** et les probabilités de défaillance. Traditionnellement, la recherche de ce point pour les algorithmes **FORM et SORM** est réalisée par des processus d'optimisation du

type Newton-Raphson (N-R). Le fait que le calcul itératif de l'indice de fiabilité à travers FORM et SORM requière le choix d'une estimation initiale du vecteur des variables de conception, ainsi que le calcul des dérivées partielles des fonctions d'état limite par rapport aux variables de conception constituent les principaux inconvénients de ces méthodes. En effet, dans la pratique une solution initiale convenable des variables de conception n'est pas toujours facile à estimer, d'autant plus que ce choix peut avoir un effet sur la convergence du processus de calcul et l'obtention des solutions finales correspondant à des minima locaux ou au minimum global.

3.1.4 Recueil de données de fiabilité

3.1.4.1 Principe de la fiabilité à la conception

Le principe de la fiabilité à la conception en mécanique a fait l'objet d'un chapitre du mémoire de magistère de Rouabhia [Rouabhia-Essalhi R, (2009)], sur l'étude fiabiliste des outils de coupe dans un atelier d'usinage. Une liste de références a été fournie sur la base de travaux dans la littérature. Dans cette rubrique nous avons souhaité donner une partie de cette liste en relation avec le principe de la fiabilité à la conception [Hasofer A.M. et Lind N.C, (1974); Pages A et Gondran M, (1980) ; Committee on Reliability of Offshore Structures ASCE, (1983) ; Ligeron J.C, et al, (1984) ; Devictor N et Lemaire M, (1996) ; Lemaire M, (1997) ; Muzeau J.P. et Lemaire M, (1997); Goyet J et al, (1998) ; AFNOR, (1998) ; Lemaire M, (2001) ; PHIMECA Engineering, (2002); Millet O et al, (2003) ; Davim J. P, (2005)].

3.1.4.2 Principales caractéristiques probabilistes de la fiabilité

Ce paragraphe est un recueil de principaux éléments probabilistes permettant de mesurer la fiabilité. Nous pouvons trouver plus de détails dans les ouvrages suivants : [Procaccia H et al, (1992)], [Bon J.-L., (1995)], [Ayyub B and Mccuen R , (1997)], [Hoang P, (2003)], [Birolini A, (1997)], [Villemeur A, (1988)], [Pagès A and Gondran M, (1980)], [Afnor, (1988)].

3.1.4.3 Recueil données de fiabilité

Sans des données fiables, il est difficile d'évaluer la fiabilité dans un délai raisonnable. Au fil des années de la pratique de la fiabilité, l'activité de collecte des données de fiabilité avait atteint son apogée dans les années 1980. Elle a malheureusement diminué en intensité dans les années 1990 et depuis cette période,

la majorité des bases de données publiées n'a plus été mise à jour [Smith D. J, (2005).].

Les recueils de données de fiabilité sont fondés soit sur des résultats d'exploitation ou des résultats d'essais en laboratoire. Le processus de dégradation des équipements (modes, mécanismes et causes de défaillance), les conditions d'utilisation et l'évolution des technologies sont des paramètres nécessaires pour le calcul des taux de défaillance et l'élaboration des modèles prévisionnels de la fiabilité, or il est difficile de les prendre tous en considération. Les données sont souvent inappropriées aux systèmes et environnements réels. Par conséquent, aucune de ces sources ne fournit des données parfaites pour une évaluation plus précise de la fiabilité, les informations recueillies ne permettent qu'une exploitation partielle des données, cependant elles restent toujours utiles pour de nouvelles conceptions.

Les informations disponibles supposent généralement que les taux de pannes sont constants dans les conditions spécifiées. Le tableau 3.1 présente quelques bases de données de fiabilité et leurs auteurs. Les taux de pannes des composants sont les principales informations contenues dans ces bases de données.

Tableau 3.1 Quelques bases de données de fiabilité [Smith D. J, (2005).].

Base de données (dernière mise à jour)	Auteur	Catégorie et remarques
NRPD-5, Non-Electronic parts Reliability Data(1995)	RIAC (Reliability Information Analysis Center), USA	- Générique (composants électromécaniques, mécaniques, hydraulique et pneumatiques) - Quelques modes de défaillances.
Handbook of Reliability Prediction for Mechanical Equipment(2007)	NSWC (Naval Surface Warfare Center), USA	- Générique (composants mécaniques) - Modes de défaillances - Expressions des taux de panne.
OREDA, Offshore Reliability Data(1997)	Consortium de neuf compagnies pétrolières (BP, Elf, Agip, Shell, Total, etc.)	- Spécifique à l'industrie pétrolière - Modes de défaillances détaillés. - MTR_i .
TECHNIS	Technis,UK	- Générique et industrie. - Plusieurs modes de défaillances - Quelques temps de réparation
UKAEA, United Kingdom Atomic Energy Authority	SRD (System Reliability Department) of UKAEA	- Générique et industrie nucléaire - Plusieurs modes de défaillance
ANSI/IEEE500 (1991)	IEEE	- Spécifique réacteurs nucléaires - Temps de réparations.
NUCLAAR, Nuclear Computerized Library for Assessing Reactor Reliability	NRC (Nuclear Regulatory Commission), USA	- Spécifique réacteurs nucléaires - Taux de pannes logiciels - Infos sur les erreurs humaines
EIREDA European Industry Reliability Data(1997)	EDF, France	- Spécifique à la production d'énergie électrique (composants mécaniques et électriques).

EPRI	EPRI (Electric Power Research Institute), USA	- Spécifique à la production d'énergie électrique (turbines à gaz).
GADS (Generating Availability Data System)	NERC (North American Electric Reliability Council	- Spécifique à la production d'énergie électrique - Données (statistiques) annuelles - Ouvert à d'autres producteurs d'électricité du monde entier depuis 2004.
US Military Handbook of 217 (1992)	RIAC (Reliability Information Analysis Center), USA Department of Defence	- Générique (composants électriques) - Expressions des taux de pannes.
HRD5, Handbook of Reliability Data (1994)	British Telecom, UK	- Spécifique à l'industrie des télécommunications.
Recueil de Données de Fiabilité	CENT (Centre National d'Etudes des Télécommunications), France	- Spécifique à l'industrie des télécommunications. - Expressions des taux de pannes.
BELLCORE5, Reliability Prediction Procedure for Electronic Equipment (1995)	BELL (compagnie téléphonique), USA	- Spécifique à l'industrie des télécommunications.
EPRD-97 Electronic Parts Reliability Data (1997)	RIAC (Reliability Information Analysis Center), USA	- Générique (composants électriques).

3.1.5 Récentes applications sur les systèmes de production mécaniques

De nos jours, compte tenu de la disponibilité des outils numériques très puissants et performants, l'approche probabiliste ou fiabiliste est très impliquée dans l'analyse des systèmes de production des entreprises allant de la fabrication des pièces les plus petites comme dans le domaine électronique et informatique jusqu'à la fabrication lourde et de volume comme les pièces de mise en forme par déformation à froid et à chaud ou bien les pièces obtenues par enlèvement de la matière. Les quelques exemples que nous présentons dans cette rubrique montrent bien l'intérêt que portent les entreprises à rendre leur équipements performants et fiables.

Dans leur recherche d'algorithme [Wenjun Xu et al, 2016], afin d'améliorer d'une part la flexibilité et la rapidité de répondre à la demande des clients, et d'autre part l'efficacité de la production, ont réalisé une étude générale sur les équipements du système de fabrication destinés pour une production durable. En s'appuyant sur un algorithme d'abeille à base de Pareto amélioré, ils ont développé un modèle liés à plusieurs conditions de services des équipements. Leur méthode bien que complexe, donne une meilleure estimation de la performance dans les scénarii statistiques et dynamiques par rapports aux algorithmes d'optimisation existants. [Changchao Gu et al 2016], ont proposé une approche de calcul quantitative de la complexité d'un système de fabrication en utilisant la matrice d'évaluation floue appuyée par une étude de cas pour illustrer la validité de la

méthode proposée afin d'évaluer l'influence des paramètres de conception (PDD) sur les exigences fonctionnelles (FRS) des pièces fabriquées. Le but est d'assurer la fiabilité du système de fabrication.

Dans l'industrie électronique, [Carmen et al 2016] ont étudié la fiabilité du système de production des transistors à effet de champ nanotubes de carbones dans le but d'éliminer quelques imperfections qui se traduisent par des variations de nanotubes qui peuvent avoir de graves répercussions sur la performance des transistors et ainsi compromettre leur fiabilité. Dans leur travail la fiabilité, à long terme signifie temps zéro échec en raison de variations de fabrication.

Sur les centres d'usinage, il existe un grand nombre de facteurs internes et externes qui agissent sur le système technologique. Pour contrôler ces facteurs, [Dimitar Dimitrov et al 2013] ont mis au point un système de surveillance et de contrôle composé de palpeurs 3D, d'un dispositif pour l'enregistrement d'un contact entre l'outil de coupe et la pièce, d'appareils de mesure de la précision géométrique de la machine-outil et pour étalonner le palpeur dans la broche, d'un programme CNC paramétré, et de logiciels pour le traitement des données et de gestion de base de données. Le système développé garantit le suivi de la précision d'usinage, à faible coût, de haut niveau de la productivité, avec un minimum de travaux préparatoires et des mesures, une fiabilité accrue en raison de taux de rebut réduite en réduisant la probabilité de défaillance de l'outil de coupe et la possibilité d'automatiser les mesures et le traitement des données.

Lors l'usinage de précision continue, considéré aujourd'hui comme l'un des aspects les plus importants dans le processus d'évaluation des performances et la conception d'optimisation des machines-outils à commande numérique,[Ligang Cai et al, 2016] ont proposé une approche qui tient compte à la fois de la fiabilité et de la robustesse afin d'assurer la précision géométrique des pièces à usiner pour répondre aux exigences techniques. Ils se sont basés sur l'optimisation de la fiabilité sur la base de la conception (RBDO) et l'optimisation de la conception robuste (RDO) qui sont les outils pour la recherche de systèmes structuraux de sécurité avec une variabilité minimale de la réponse lorsqu'ils sont soumis à des incertitudes dans les paramètres de conception. La fiabilité et la sensibilité avec un mode de défaillance unique ont été obtenues. Puis du modèle de fiabilité et ainsi que du modèle de sensibilité, de multiples modes de défaillance ont été développés et des méthodes

communes telles que étroites limites, AFOSM et Monte Carlo ont été utilisées aux fins de vérification et de comparaison. Un cas d'étude pour améliorer la précision continue de l'usinage sur une machine-outil à cinq axes NC a démontré l'efficacité de leur approche et implique qu'il est possible d'obtenir les relations entre les erreurs géométriques et spécifier les classes de précision des principales pièces composant un ensemble mécanique.

Dans les travaux de mise en forme, l'approche proposée par [Bendjoudi et al, 2016] ont développé un nouveau concept d'évaluation de l'indice de performance des matrices de forgeage en couplant le modèle de comportement du procédé avec l'approche d'analyse fiabiliste du procédé de mise en forme. L'objectif est d'améliorer la durée de vie des matrices qui forment jusqu'à 15% du coût de production et de répondre à un besoin de déterminer les coûts de réparation des outils d'estampage. L'étude est validée sur un cas réel d'estampage de leviers de direction pour automobiles.

Dans l'esprit de recherche bibliographique sur la vulgarisation des méthodes fiabilistes dans l'analyse des systèmes de fabrication mécanique, aujourd'hui une large gamme de publication est donnée dans la littérature contrairement au début de la deuxième décennie du 21^{ème} cycle. En 2016, les chercheurs en relation directe avec les industriels, s'intéressent de plus près à la performance des équipements dans un monde où la compétitivité est d'une férocité atroce devant l'ouverture large du marché international. Tout l'art réside dans la fiabilisation des équipements avec des techniques plus ou complexes particulièrement que les outils de modélisation numériques, de simulations et de calculs puissants et fiables sont disponibles. Le couplage des outils d'ingénierie avec des outils de fiabilité donne des solutions plus réalistes et concrètes permettant de fiabiliser le système de production.

3.2 Fiabilisation des systèmes de fabrication de pièces mécaniques

3.2.1 Stratégie de fiabilisation

Les systèmes de fabrication de pièces mécaniques sont généralement des ateliers de fabrications composés de bureau d'études et de méthodes, de différentes sections qui peuvent compter, la réception de la matière première et des ébauches, de débitage de pièces brutes, d'usinage, de taillage, de rectification, de traitement thermique, de stockage de pièces d'ensembles mécaniques, de montage de produits, d'expédition des pièces ou de produits finis. La particularité d'un système de

fabrication mécanique est que la variance des pièces et leurs cadences, ne sont jamais les mêmes, d'où la difficulté de gérer la production et d'assurer sa performance. De plus chaque pièce est définie par sa propre gamme d'usinage qui doit satisfaire les exigences fonctionnelles et à la qualité requise.

Donc la gamme d'usinage met en évidence toute la logistique interne qui doit être efficace pour rendre l'implantation d'un système de traçabilité possible et praticable.

La stratégie de fiabilisation se compose de 4 phases principales :

Phase 1: Analyser le système de production en utilisant le diagramme causes et effets (diagramme d'Ishikawa). Le but est de cibler les éléments variant qui peuvent influencer la production.

Phase 2: Observer l'effet des facteurs variant sur la production à travers des mesures quantifiables.

L'objectif est de déterminer une loi de comportement qui régit cet effet particulièrement dans le temps.

Phase 3: Faire une analyse fiabiliste sur la base d'un scénario de défaillance et de la loi de comportement. Le principe est de trouver l'indice de fiabilité qui prend en charge les incertitudes dans les paramètres de calculs.

Phase 4: Définir des critères de fiabilisation du système de production Pour mettre en évidence cette stratégie, un cas d'étude s'impose et c'est sur ce cas que ce reposera l'adaptation de cette stratégie. Dans cette partie de travail, nous mettons en valeur les travaux réalisés en Magistère [Rouabhia-Essalhi R, (2009)], afin de mieux cerner l'objectif principal de cette thèse.

3.2.2 Cas d'études : Axe de Moyeu de roue pour fauteuil roulant

Le cas d'étude concerne la fabrication d'un axe de moyeu pour roue (Figure 3.1) de fauteuil roulant pour personnes à mobilité réduite, produit par l'entreprise nationale des cyclomoteurs CYCMA de Guelma.

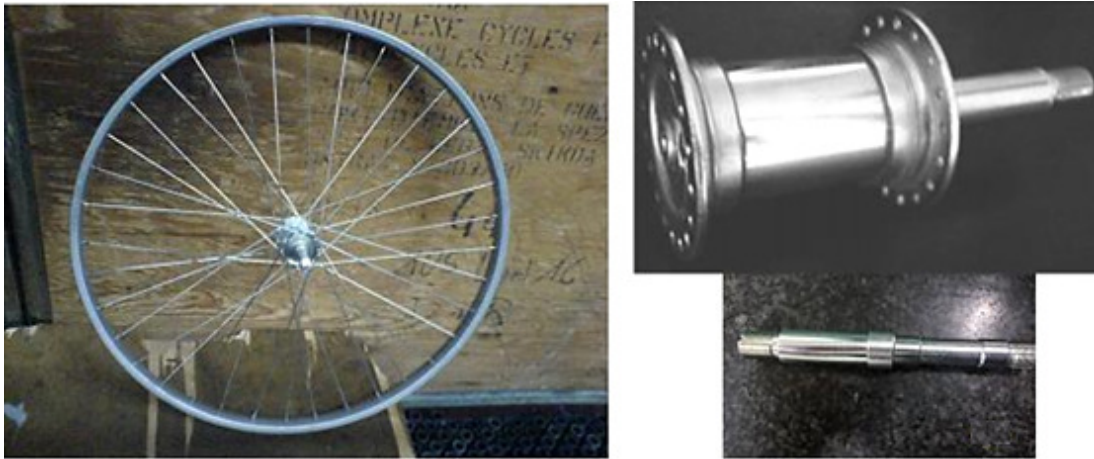


Figure 3.1 : Roue de Fauteuil roulant et l'axe du moyeu

L'entreprise a investi dans la rénovation de son parc de machines-outils en remplaçant les machines conventionnelles avec des machines à commande numérique dans le but est d'arriver à un compromis entre la flexibilité et la productivité ou bien la variance et la cadence, et aussi d'améliorer la précision d'usinage tout en respectant la qualité de surface surtout des pièces stratégiques telles que les axes des roues des cycles et motocycles. L'entreprise CYCMA est très consciente du challenge qui l'attend quant à son image de marque et sa crédibilité.

3.2.3 Application de la stratégie de fiabilisation

3.2.3.1 Phase 1 Analyse du système de production

La première phase consiste à analyser le système de production en utilisant le diagramme causes et effets, connu sous le nom d'ISHIKAWA. La raison d'utilisation de ce dernier est qu'elle est une technique familière à l'entreprise et simple à appliquer. Le but est de cibler les éléments variant qui peuvent influencer la production. La gamme d'usinage est déterminante dans la détermination des équipements stratégiques pour fabriquer l'axe du moyeu. Nous retenons dans cette partie que la phase d'usinage de l'axe est sur Tour Automatique TORNOS Beschler. Le diagramme d'ISHIKAWA [Rouabhia-Essalhi R, (2009)] illustré en Figure 3.2, montre la chaîne logistique pour réaliser l'usinage de l'axe sur le Tour Automatique TORNOS Beschler. Le système de production est représenté par le diagramme d'ISHIKAWA

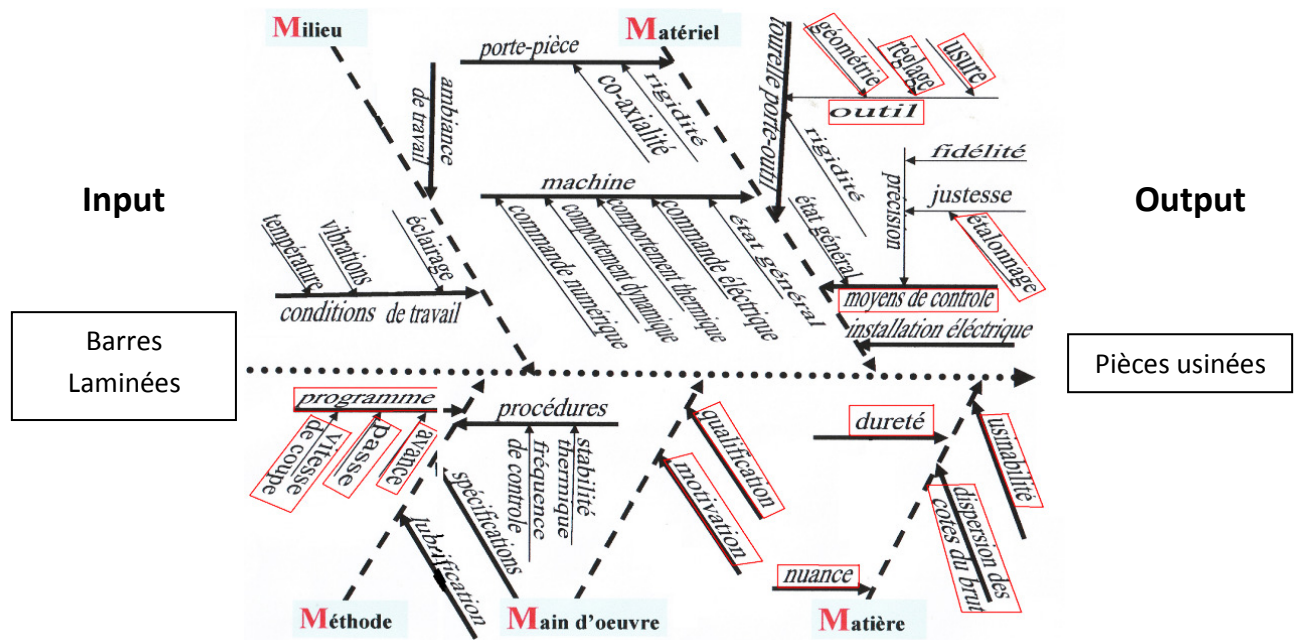


Figure 3.2 : Chaîne logistique avec le système de production représenté par le diagramme d'Ishikawa, causes à effets

Les cadrés forment les facteurs suspects du Tour Automatique TORNOS Beschler qui peuvent avoir une influence sur la production. Donc, l'objectif principal est de collecter toutes les données concernant, les cotes brutes, nuance de la matière première, sa dureté, la précision et la qualité de la pièce, le changement des outils, les régimes de coupes, les conditions de travail, conditions de stockage et autres. Sans la contribution des opérateurs ce principe ne fonctionne pas. C'est la raison pour laquelle, qu'une campagne de sensibilisation a été réalisée pour que la collecte des données soient la plus proche de la réalité. Dans ce contexte, 2 opérateurs sur le Tour, ont adhéré à ce projet. Nous n'avons rien changé dans leur façon de travailler. Cependant, nous nous sommes convenus à contrôler l'usure de l'outil, avec une fréquence de 50 pièces usinées. Toutes les données sont introduites dans une fiche de contrôle conçue spécifiquement pour ce projet.

3.2. 3.2 Phase 2 Observation de l'influence des facteurs variant

Un contrôle exhaustif du système de production c'est-à-dire du Tour Automatique TORNOS Beschler a permis d'observer globalement l'influence des facteurs du système sur le produit fini. Nous rappelons, que l'opérateur quand il arrive le matin, il a pour mission de faire tourner la machine à vide pour stabiliser les

éléments électroniques du système, installer les outils de coupes, fixer les régimes de coupe, contrôler le programme CNC, contrôler la machine, charger le ravitailleur, lancer la production automatique des pièces , récupérer le bac des pièces usinées, et contrôler la production. La décision changement des outils usés reste attributaire de l'observation de l'opérateur, donc elle est aléatoire malgré la haute technologie de la machine. Le Tableau 3.2, résume les principales observations en fonction des 5 M auxquelles est attribuée la mention : Influence dont les critères sont décidés par consultations des usineurs de différentes entreprises de fabrication. Le Tableau 3.3 illustre cette mention.

Tableau 3.2: Analyse 5M du système de production de l'axe de la roue [Rouabhia-Essalhi R, (2009)].

Moyens	M1 Milieu	M2 Matériel	M3 Méthode	M4 Main d'oeuvre	M5 Matière
Facteur	Conditions de travail	Tour Automatique	Tournage de la pièce	Opérateurs Qualifiés	Nuance et Diamètre du Brut
Invariant	. Eclairage . Température . Vibrations . Ambiance	. Porte pièce . Tourelle . Porte outil . Inst.Electrique . Ravitailleur Automatique	. 1 phase . Stabilité Thermique . Fréquence de contrôle .Spécifications .Lubrification	. Opérateur 1 . Opérateur 2 . Opérateur 3 . Régime 2/8	Fournisseurs . Locaux . Etrangersk
Variant		. Outils de Coupe . Usure . Réglage . Contrôle	. Gamme D'usinage . Programme . Avance . Profondeur de passe . Fréquences de rotation	. Prise de Décisions Changer de : . Régime de coupe . Outils de coupe . Barre laminée . Bac des pièces usinées	9SMn28KØ16 9SMn28KØ18
Influence	Petite	Grande	Moyenne	Grande	Grande

L'élément le plus variant et systématique est l'usure (Vb) de l'outil qui influe directement sur la qualité de surface et la précision d'usinage. Conventionnellement, il est retenu de changer l'outil quand Vb atteint 0.3. Cependant quel que soit les capteurs qui sont installés sur le système de production pour estimer l'usure de l'outil, cette dernière reste impossible à observer lors de l'usinage et à mesurer directement. Il devient donc urgent de la mesurer en fonction du nombre de pièces usinées. En plus, la décision de changer l'outil utilisé dépend de l'appréciation de l'opérateur. Donc une étude de l'évolution de l'usure des outils de coupe a été faite afin de trouver une

loi de comportement qui permettra éventuellement de décider du changement de l'outil

Tableau 3.3 : Critères de notation de la mention de l'influence des 5 M

Mention Influence	Précision	Etat de surface	Perte de temps				Accessoires
			Changement d'outil	Réglage Machine	Charge-ment brut	Déchargement Pièces finies	
Petite	-	-	+	+	+	-	-
Moyenne	-	-	++	++	+	-	-
Grande	+	+	+++	+++	++	-	+

3.2. 3.3 Phase 3 Analyse fiabiliste du système de production

L'analyse causes à effets a montré que dans le système de production composé d'un Tour automatique TORNOS Beschler, les facteurs qui ont une grande influence sur la production sont l'usure des outils et la décision des opérateurs à changer l'outil utilisé. Donc il est primordial de conduire une étude sur le comportement du système de production en fonction de ces 2 facteurs. Pour répondre d'une manière réaliste et pour prendre en charge les aléas et les incertitudes dans les paramètres composants le système de production, l'approche fiabiliste à la conception en mécanique est utilisée. Nous rappelons que le principe de la fiabilité à la conception est bien exposé dans la littérature [Lemaire M, (2001) ; Rouabhia-Essalhi R, (2009)].

L'analyse fiabiliste se fait en 5 étapes [PHIMECA Engineering, (2002)]:

1. Définir le modèle géométrique
2. Déterminer le modèle mécanique de calcul
3. Déterminer le modèle probabiliste
4. Appliquer un scénario de défaillance exprimé par une fonction d'état limite $G(x)$
5. Calculer la probabilité de défaillance ou l'indice de fiabilité β .

3.2. 3.3.1 Définition du modèle géométrique

Le modèle géométrique se résume en la variation de la forme de l'arrête tranchante de l'outil en fonction du nombre de pièces à usiner (Figure 3.3).

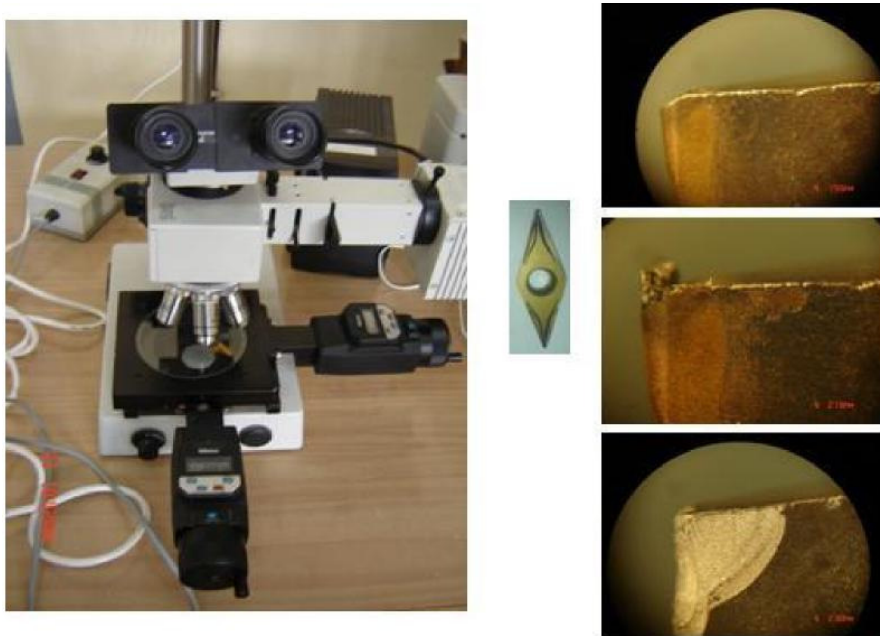


Figure 3.3: Evolution de l'usure de l'outil en fonction du nombre de pièces usinées

3.2. 3.3.2 Détermination du modèle mécanique de calcul

L'usure est suivie à l'aide d'un microscope de laboratoire avec caméra intégrée et logiciel de mesure de distances. La Figure 3.3 montre des photographies de l'évolution de l'usure en fonction du temps. L'usure est déterminée en fonction du temps qui est traduit par le nombre de pièces usinées. Elle est menée dans les conditions réelles d'atelier, afin de déterminer la durée de vie de l'outil pour une meilleure estimation des coûts de fabrication des pièces. L'objectif est de trouver un modèle mathématique qui régit le comportement à l'usure de l'outil. Cette équation émane des résultats expérimentaux. L'annexe A2 donne des courbes de quelques exemples de l'évolution de l'usure. Dans le présent travail nous avons pris les résultats obtenus par [Rouabhia-Essalhi R, (2009)] dans son travail de Magistère et nous les avons complétés avec un autre élément qui est le 3^{ème} opérateur qui a rejoint le groupe de travail. Le tableau 3.4 est une réplique des travaux antérieurs.

Tableau 3.4 : Modèles d'usure en impliquant 2 opérateurs [Rouabhia-Essalhi R, (2009)].]

N°	Matière	Diamètre	Outil	Modèles Mécaniques	Numéro de l'équation
1	9SMn28k	18	S1P	$Vb_1=0.0177*T_k^{0.5220}$	(5.1)
2			P25	$Vb_2=0.0048*T_k^{0.7220}$	(5.2)
3			GC415	$Vb_3=0.0149*T_k^{0.4696}$	(5.3)
4		16	S1P	$Vb_4=0.0210*T_k^{0.4631}$	(5.4)
5			P25	$Vb_5=0.0144*T_k^{0.4926}$	(5.5)
6			GC415	$Vb_6=0.0064*T_k^{0.5680}$	(5.6)
7	C45	16	S1P	$Vb_7=0.0425*T_k^{0.4137}$	(5.7)
8			P25	$Vb_8=0.0229*T_k^{0.4998}$	(5.8)
9			GC415	$Vb_9=0.0069*T_k^{0.6772}$	(5.9)

3.2. 3.3.3 Détermination des modèles probabilistes

Dans le Tableau 3.5, nous avons présenté les modèles mécaniques où chacune des variables d'une valeur initiale donnée. En réalité, un certain nombre de variables indépendantes va avoir une définition stochastique, ceci est l'objet du modèle probabiliste. Nous nous limitons ici aux résultats des modèles probabilistes obtenus par [Rouabhia-Essalhi R, (2009)] qui est sera aussi valable dans les nouvelles conditions de calculs sauf si l'implication du 3^{ème} opérateur va déplacer la courbe de distribution. Dans le chapitre discussion des résultats nous verrons s'il y a déplacement ou non.

Tableau 3.5 : Paramètres de calculs avec leur distribution statistique

Type	Variable	Désignation	Unité	Distribution	Moyenne	Ecart Type	Observation
Régime de coupe	Vc*	Vitesse de coupe	m/min	Déterministe	155 - 185	---	Controlée
	n _{2**}	fréquence de rotation	tours/min	Loi Normale	5000	50	Vitesse limitée par le système
	n _{4**}	fréquence de rotation	tours/min	Loi Normale	5000	50	
	a ₁	avance sur palier 1	mm/t	Loi Normale	0.04	0.004	Dépendant de la Précision de la machine
	a ₂	avance sur palier 2	mm/t	Loi Normale	0.03	0.003	
	a ₃	avance sur palier 3	mm/t	Loi Normale	0.02	0.002	
	a ₄	avance sur palier 4	mm/t	Loi Normale	0.05	0.005	
	a ₅	avance sur palier 5	mm/t	Loi Normale	0.02	0.002	
Géométrie	d ₁	diamètre palier 1	mm	Loi Normale	11.3	0.05	Dépendant des Tolérances de cotes
	d ₂	diamètre palier 2	mm	Loi Normale	10.5	0.05	
	d ₃	diamètre palier 3	mm	Loi lognormale	12	0.0055	
	d ₄	diamètre palier 4	mm	Loi Normale	10.75	0.05	
	d ₅	diamètre palier 5	mm	Loi lognormale	12	0.0055	
	L ₁	Longueur palier 1	mm	Loi Normale	9	0.4	
	L ₂	Longueur palier 2	mm	Loi Normale	3	0.3	
	L ₃	Longueur palier 3	mm	Loi Normale	10	0.25	
	L ₄	Longueur palier 4	mm	Loi Normale	25.5	0.25	
	L ₅	Longueur palier 5	mm	Loi Normale	10.5	0.25	
Usure	Vb	Usure admissible	mm	Loi Normale	0.3	0.03	Acceptable
Coefficient	k	Nombre de pièces		Déterministe	100 - 600		Comptabilisé

3.2. 3.3.4 Application d'un scénario de défaillance

La probabilité de défaillance ou bien l'indice de fiabilité β , est défini par un vecteur de n variables aléatoires (X_1, \dots, X_n), par le modèle mécanique avec une fonction de densité de probabilité $f_{X_i}(x_i)$ et $G(x_i)$ qui définit la fonction d'état limite résultant des calculs mécaniques équation (3.1).

$$Pf = \Pr [G(x) \leq 0] = \Phi(\beta) \quad (3.1)$$

Dans le cas de l'usure des outils, l'état limite correspond à la valeur maximale de l'usure de l'outil, pour laquelle la précision de la cote à obtenir et l'état de surface ne sont plus garanties. Nous considérons dans ce cas les deux variables à savoir l'usure admissible V_b et le taux d'usure V_e obtenu expérimentalement en fonction des paramètres de coupes suivant le modèle (3.2):

$$Pf = \Pr [V_e - V_b] \quad (3.2)$$

La fonction d'état limite définissant le passage de la sûreté à la défaillance sera sous la forme de l'équation (3.3):

$$G(V_b, V_e) = V_b - V_e \quad (3.3)$$

L'équation (3.3) gardera sa forme mais à l'intérieur, c'est V_e qui changera en fonction de la matière à usiner, la matière de l'outil, du diamètre du brut puisque le système régénère automatiquement la profondeur de passe le long de la trajectoire de l'outil et des régimes de coupe. Cependant, quel que soit la variabilité de ces paramètres, l'usure admissible restera constante.

3.2. 3.3.5 Calcul de l'indice de fiabilité β

Le calcul de l'indice de fiabilité fait recours aux codes de calculs puissants s'appuyant sur des méthodes d'approximations FORM/SORM ou bien de Monté Carlo. Dans ce travail, le calcul de la fiabilité est réalisé sous PHIMECA Soft [PHIMECA Engineering, (2002)]. Les variations de la fonction de fiabilité R en fonction du nombre de pièces à usiner pour une vitesse de coupe de fonctionnement donnée, montrent que celle-ci peut être utilisée pour estimer la durée de vie de l'outil

qui a une relation directe avec la précision et l'état de surface à obtenir.. Cependant la décision de fiabiliser le système est de considérer une valeur acceptable de l'indice de fiabilité. Ceci dépend de la gravité et du risque que peut engendrer la défaillance du système considéré. Dans l'ingénierie, il est recommandé de prendre une probabilité de défaillance de 10^{-4} pour les constructions générales, dans les constructions aéronautiques 10^{-5} et dans les constructions nucléaires, il faut être plus exigeant c'est à dire minimiser la probabilité de défaillance à 10^{-6} .

Dans le cas courant on peut prendre un indice de fiabilité acceptable de 3.7191 équivalent à une probabilité de défaillance de 10^{-4} pour estimer le nombre de pièces à usiner en fonction des avances, des diamètres des paliers, des longueurs des paliers, des profondeurs de passes, de la matière à usiner et bien évidemment de la matière de l'outil et de sa géométrie. La Figure 3.4, montre un exemple de résultats de calcul de l'indice de fiabilité β qui illustre l'effet du diamètre de l'ébauche sur l'usure de l'outil.

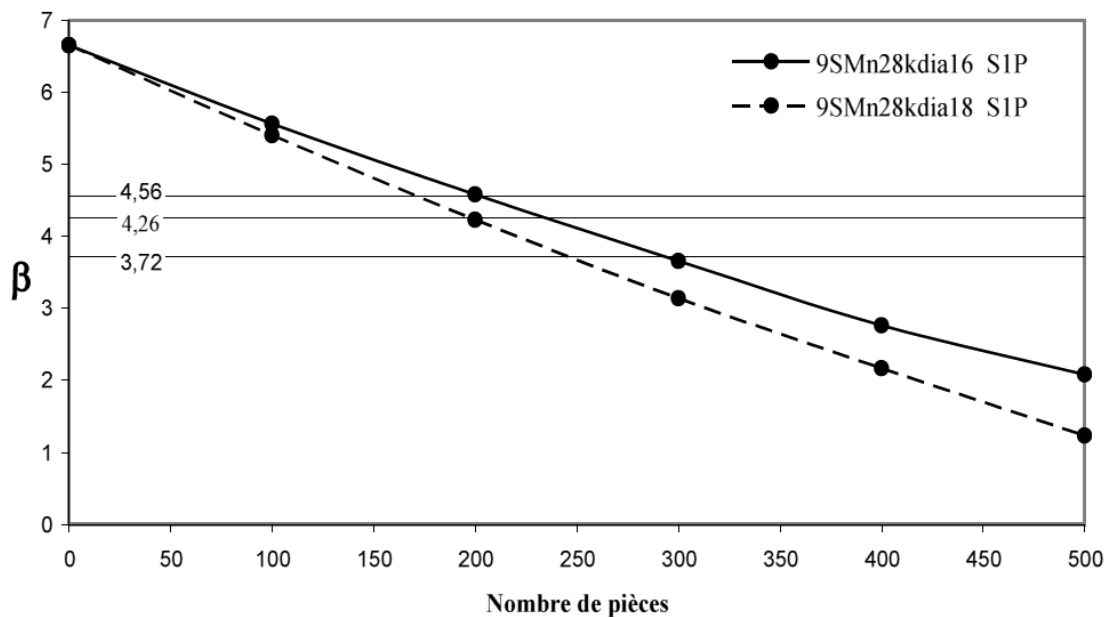


Figure 3.4: Evolution de l'indice de fiabilité de l'outil de coupe en fonction du nombre de pièces. [Rouabhia-Essalhi R, (2009)].

3.2. 3.4 Définition des critères de fiabilisation du système de production

Cette phase est la plus importante et la plus intéressante pour l'entreprise car elle permet de fixer des paramètres quantifiables qui permettent d'évaluer le coût de production. Et le fait de s'inspirer d'un cas réel de l'usine permet de prendre des décisions réalistes. Pendant qu'à l'usine les opérateurs n'ont que leur contrôle visuel qui décide du temps du changement des outils ; le premier cherche la qualité, le second veut la quantité et le résultat est un nombre de pièces rebutées. Le tableau 3.6 illustre la réalité sur site.

Il en résulte que si l'on considère l'indice de fiabilité acceptable de 3.7191, il ressort que pour assurer l'état de surface et la précision d'usinage, les outils doivent être changés impérativement selon la matière de l'outil de coupe, la matière à usiner et le diamètre de l'ébauche comme indiqué dans le Tableau 3.6 qui est très indicatif quant à la décision de changer d'outil. En effet quel que soit l'opérateur, tant qu'on respecte les régimes de coupe fixés au départ, et le fait de respecter les résultats du tableau 3.6, on assure une maîtrise dans la production et une meilleure gestion des outils. Donc on peut dire que *le système est fiable*.

Tableau 3.6 : Outil d'aide à la décision de fiabilisation du système de production

N°	Type d'outil	Matière à Usiner	Diamètre Ebauche	Nombre de pièces		Résultats Phimeca	Variation En %	
				Opérateur1	Opérateur2	PHI	PHI/O2	PHI/O1
				O1	O2			
1	GC415	9SMn28k	16	650	550	525	0.95	0.81
2	P25		16	570	400	380	0.95	0.67
3	S1P		16	450	335	295	0.88	0.66
4	GC415		18	638	520	510	0.98	0.80
5	P25		18	490	350	300	0.86	0.61
6	S1P		18	388	300	245	0.82	0.63
7	GC415	C45	16	320	270	248	0.92	0.78
8	P25		16	190	160	150	0.94	0.79
9	S1P		16	150	140	120	0.86	0.80

Le Tableau 3.6 montre la différence entre le nombre de pièces acceptées par les opérateurs 1 et 2 et le nombre de pièces donné par PHIMECA Soft. Il faut comprendre par-là, que les opérateurs prennent des risques en allant jusqu'à l'usure complète de l'outil sans le savoir. C'est-à-dire ils se fient à leur contrôle visuel qui est loin d'être fiable. Ainsi, le risque d'avoir des pièces défailtantes pour l'opérateur 1 est de 20 à 40 % et pour l'opérateur 2, il est de 5 à 18%. Par contre quand on connaît le modèle de comportement à l'usure de l'outil, et à travers l'analyse fiabiliste qui

prend en considération les incertitudes associées aux paramètres du modèle de calcul, et en respectant les valeurs limites données par l'outil de fiabilité (comme PHIMECA Soft), le risque de tomber sur une pièce rebutée est pratiquement faible et peut-être ZERO. Mais, il faut savoir que la décision finale revient aux ordonnateurs.

3.2. 4 Impact de la fiabilisation du système de production sur l'opportunité d'implanter un système de traçabilité

L'analyse de la fiabilité dans le domaine de la mécanique est un outil très important pour :

- i) caractériser le comportement du produit dans les différentes phases de vie,
- ii) mesurer l'impact des modifications de conception sur l'intégrité du produit,
- iii) qualifier un nouveau produit
- iv) améliorer ses performances tout au long de sa mission.
- v) Optimiser l'utilisation du système de production

On parle alors d'un système de production fiable, donc l'opportunité d'implanter un système de traçabilité existe bien puisque les données sont quantifiables, mesurables et codifiables. La mission ne révèle plus de l'impossible comme y croient les acteurs.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons d'abord rapporté le contexte dans lequel le sujet de mémoire de thèse de doctorat a été choisi. Il s'agit de répondre au besoin d'étude de l'opportunité d'implantation d'un système de traçabilité qui intéresse les entreprises manufacturières. Une étude antécédente basée sur un couplage d'une analyse Causes à Effets et une approche fiabiliste a donné des résultats forts intéressants sur l'aptitude d'optimiser le fonctionnement d'un tour automatique. C'est dans ce contexte de couplage d'une approche standard avec un outil fiabiliste que nous avons orienté nos recherches. Donc, avant de proposer la présente méthode de fiabilisation des systèmes de production, nous avons explorés dans la littérature les travaux de recherche en relation avec la fabrication mécanique. Toutes les contributions utilisent des outils probabilistes en s'appuyant sur des bases de données

collectées expérimentalement ou numériquement moyennant des outils numériques puissants. Par ailleurs, on a souvent retrouvé des études de cas réels d'entreprises. Avec la disponibilité d'outils puissants de calcul de fiabilité des structures, les résultats de travaux de recherche sur l'application des approches fiabilistes sur l'analyse des structures et des systèmes de production affluent de partout à en croire le nombre croissant des publications ces 2 dernières années.

Ainsi, notre contribution sur la fiabilisation d'un système de production s'est basée sur un équipement stratégique pour mettre en évidence le couplage d'une analyse Causes à Effet et l'application d'une approche fiabiliste. La procédure est expliquée pas à pas sur un cas d'étude d'une entreprise de fabrication d'axe de moyeux de roue pour fauteuil roulant, sise en Algérie. La procédure permet d'optimiser le fonctionnement de l'équipement en assurant le nombre de pièces fabriquées entre 2 réglages de la machine, comme le changement des outils de coupe.

Le prochain chapitre est dédié à l'implantation d'un système de traçabilité dont les données sont étroitement liées aux résultats de fiabilisation du système de production en tenant compte de toute la chaîne de production interne.

Chapitre

4

METHODOLOGIE D'IMPLANTATION D'UN SYSTEME DE TRACABILITE INTERNE DANS UNE ENTREPRISE MANUFACTURIERE :

4.1 Contexte industriel

Dans le premier chapitre nous avons mis en évidence la problématique sur le besoin des entreprises de mettre en place un système de traçabilité. Chaque entreprise est unique et élabore sa stratégie selon ses propres convictions en dégagant quelques grandes lignes directrices. Cependant, l'implantation d'un système de traçabilité sur le produit fini est aujourd'hui incontournable le long de toute de la chaîne logistique du produit brut jusqu'à la mise en service du produit fini [Fernandes V (2007)]. Nous rappelons que la traçabilité a pour principaux rôles :

(a) la maîtrise de la chaîne logistique (une gestion en temps réel, une amélioration de la réactivité des acteurs de la chaîne, un renforcement de la fiabilité, une meilleure fluidité) ;

(b) une meilleure coordination entre les partenaires (internes et externes d'un projet)

(c) une implication de l'ensemble du personnel

Nous avons aussi retenu qu'il existe différents types (amont, aval et interne) et formes que la traçabilité peut prendre (la traçabilité descendante ou le tracking et la traçabilité ascendante ou le tracing) et elle est d'autant importante et indispensable eu égard aux différentes caractéristiques qui la composent et qui demandent un savoir-faire dans la gestion des flux physiques et des flux informationnels. Ces derniers servent à mieux comprendre la fonction de la traçabilité et qu'il faut implanter dans un contexte réel. L'analyse de la littérature abordant le côté technique de la traçabilité, nous a permis de constater que malgré son abondance, il n'en demeure pas moins qu'il n'existe toujours pas de solution standard entièrement dédiée à la traçabilité, surtout pour les applications aux métiers de la production manufacturière où la matière de base subit plusieurs transformations pour arriver à la forme requise. C'est tout l'enjeu de ce présent travail qui, en étroite collaboration avec l'entreprise des vélomoteurs CYCMA, de Guelma, qui propose une contribution à l'implantation d'un système de traçabilité au niveau des entreprises manufacturières.

Donc, ce chapitre va décrire cette contribution en partant de la description d'un système de production, de son organisation, de ses procédures de production comme les gammes d'usinage pour déterminer des points de collecte d'information, dénommés 'Points of Data Traceability Recording' (PDTR) sur le procédé de production, de sélectionner les informations à enregistrer et puis mettre en œuvre une technique de codification de ces informations que l'on retrouvera sur la pièce finie. Il démontre que les PDTR sont spécifiques à chaque type de pièce à usiner. Ainsi, ces points devront être injectés dans la gamme d'usinage avec une fiche technique contenant les informations à enregistrer au niveau de chaque point.

L'objectif est de récupérer la mémoire d'une pièce donnée qui a été façonnée par enlèvement de matière de l'ébauche jusqu'à la pièce finie afin de remplir une fonction requise. Grâce à cette codification, on peut retrouver la mémoire de la pièce d'une manière significative par rapport à la matière première, la gamme d'usinage, les outils de coupe, les opérateurs et les conditions de fabrication.

4.2 Notion de points d'enregistrement des données de traçabilité

Dans l'atelier d'usinage, les environnements de fabrication dynamiques nécessitent une planification du processus flexible [Liu C, Li Y, Shen W ; Diana M et al], et la gamme d'usinage représente le principal document qui permet aux exécutants de fabriquer une pièce donnée avec des formes et des dimensions désirées.

La gamme d'usinage est développée à partir du dessin technique d'une pièce et énonce les différentes phases successives pour la préparation des bruts, tels que le tronçonnage, les phases d'usinage, l'ébavurage, le traitement thermique, le traitement de surface, le lavage et les phases de contrôle de la qualité. Il convient de noter que chaque pièce se caractérise par sa propre gamme d'usinage, donc il y a autant de gammes d'usinage à élaborer que de pièces à usiner. Chaque pièce suit un chemin d'usinage défini par sa gamme d'usinage selon la logistique interne de l'atelier. Par conséquent, la traçabilité interne doit retracer toutes les informations concernant la gamme d'usinage de la réception des matières premières à l'expédition de la pièce finie. Ainsi, dans un atelier de fabrication mécanique, la principale source d'information pour l'enregistrement des données de traçabilité est la gamme d'usinage de la pièce à fabriquer. Cependant, il n'en est pas moins difficile car la difficulté se situe dans le processus de mise en forme de la pièce par enlèvement de la matière. Pour la façonner, la pièce subit une ou plusieurs phases d'usinage, et à chaque phase, il y a une quantité de matière qui est arrachée dans le but d'avoir une géométrie et des dimensions qui doivent répondre à des exigences techniques requises et souvent très précises. Cela signifie qu'à partir de la réception de la pièce brute jusqu'à l'expédition de la pièce finie il devrait y avoir des points qui seront situés tout au long de la gamme d'usinage, où les données de traçabilité doivent être enregistrées: ces points sont définis dans ce travail en tant que points d'enregistrement des données de la traçabilité (PDTR Points of Data Traceability Recording). Ils doivent être choisis correctement et soigneusement. Pour chaque PDTR, on associe les informations qui

seront triées, enregistrées et codifiées. Par conséquent, dans la gamme d'usinage, chaque PDTR est prescrit avec les données à collecter.

La figure 4.1, illustre l'organigramme de la logistique interne d'un atelier de fabrication mécanique dans lequel sont définis les PDTR.

4.3 Implantation des PDTR dans la gamme d'usinage

Pour une fonction requise, un produit composé de plusieurs composants standards et pièces spécifiques est commandé par un client. Habituellement, le bureau des méthodes a pour mission de déterminer si la logistique interne de l'atelier est en mesure de fabriquer des pièces et produire le produit souhaité. C'est ce qui est connue par le terme '*faisabilité*'.

Lorsque la pièce est réalisable alors le processus commence par les étapes dites de préparation où le bureau d'études détermine d'une part les pièces à acheter, comme les composants standards ou bien les pièces à sous-traiter et d'autre part, les pièces à fabriquer. Alors, deux dossiers principaux sont tout de suite ordonnés : le dossier de fabrication pour chaque pièce et le dossier de montage du produit final. Ces deux dossiers sont caractérisés par respectivement, l'élaboration de la gamme d'usinage pour chacune des pièces et l'élaboration de la gamme de montage des pièces fabriquées et des pièces acquises par achat pour avoir le produit final. Ensuite l'ordre de travail est donné aux ateliers de fabrication mécanique.

L'exécution du projet commence alors en définissant les postes et les sections de travail pour chaque pièce selon la gamme d'usinage correspondante puis le montage des pièces pour construire le produit final.

Traditionnellement, chaque atelier apportera son savoir-faire et technique et matériel pour fabriquer des pièces à moindre coût et en temps opportun. Cependant, de nos jours comme la traçabilité est accrue [Campos JG et Miguez LR ,2011 ; Xue B et al, 2015], les exécuteurs sont obligés d'intégrer les données de fabrication sur les pièces fabriquées pour une meilleure gestion en service et retrouver son historique.

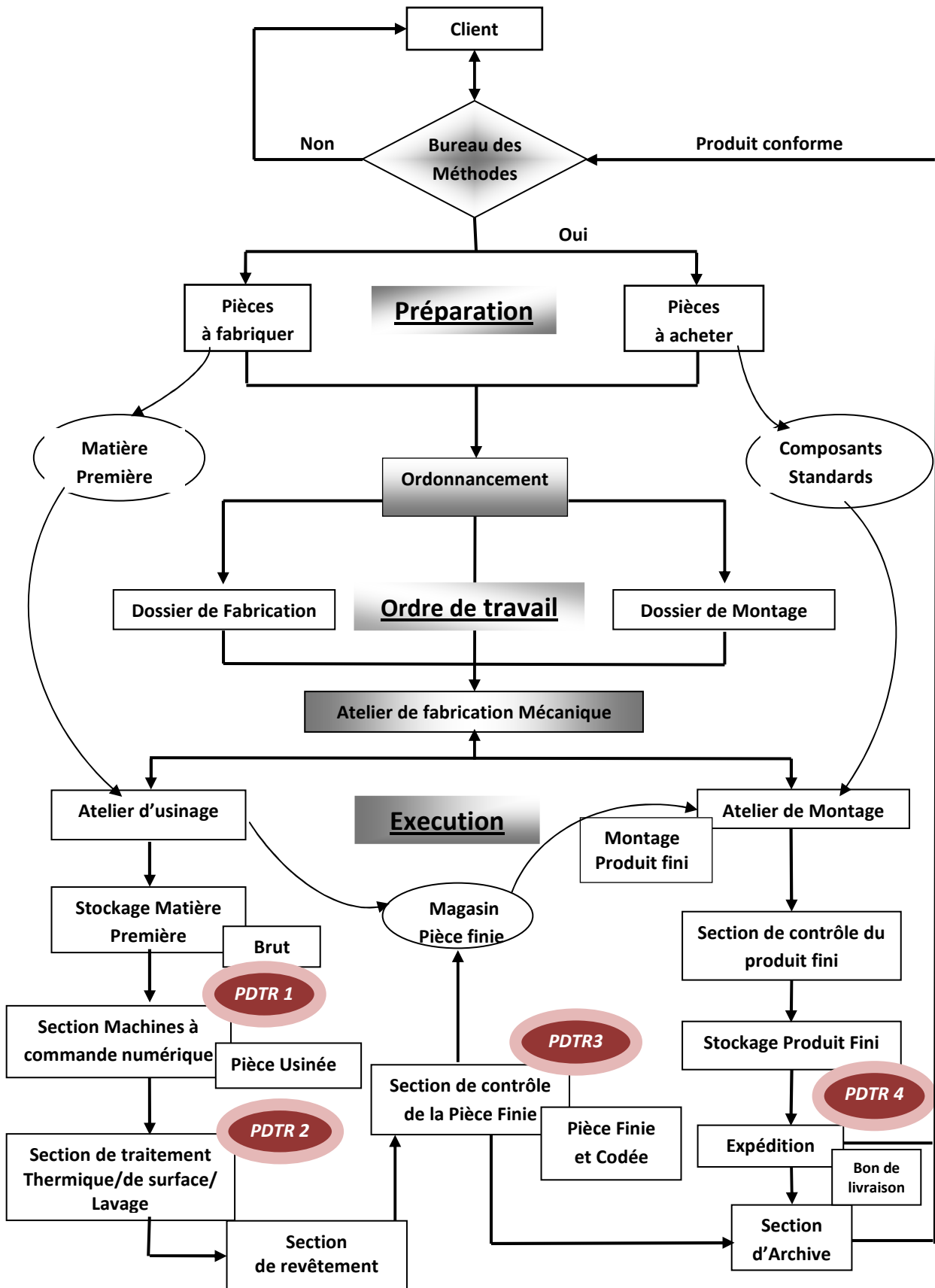


Figure 4.1 : Logistique interne d'un atelier d'usinage et localisation des points d'enregistrement des données de traçabilité (PDTR). [Rouabhia-Essalhi R et Amirat A, (2016)].

Il est donc nécessaire de recueillir des données relatives à chacune des pièces fabriquées, au niveau de chaque phase de transformation allant de la préparation de l'ébauche jusqu'à la pièce finie. Ainsi, l'objectif principal est de recueillir toute information pertinente qui formera la mémoire de la pièce qui sera identifiée une fois qu'elle est mise en service c'est-à-dire fonctionnelle dans un système mécanique. Ainsi, chaque phase dans la gamme d'usinage doit être analysée et enrichie par les informations qui doivent être cohérentes, pertinentes et structurées, enregistrées et codifiées. A chaque fois et partout où les données doivent être enregistrées, il y aura une localisation d'un point PDTR où les données sont codifiées. Les points PDTR sont illustrés dans l'étape d'exécution représentée sur la figure 4.1, et sont discutés ci-dessous.

4.3.1 : Codification du Brute (PDTR1)

La matière première est stockée dans le magasin de stockage de matière première, sous forme de barres laminées, de profilés, d'ébauches moulées, d'ébauches de forge, de tôles. Elle prend le nom de brute dès qu'elle est admise dans une gamme d'usinage, est généralement accompagnée de fiche de stock qui définit la nuance, les dimensions, la quantité, le fournisseur, les propriétés mécaniques, date d'acquisition. Donc, la codification doit démarrer à la sortie du magasin et sera fixé comme PDTR1 qui doit renseigner toutes les données sur la pièce brute. Marquer la pièce brute devient un deal puisqu'elle va subir de l'enlèvement de la matière. La façon la plus adéquate est de marquer le brute en traçant 1, 2, 3 traits selon l'ordre de passage du brute (en barre ou en lot de pièces brutes) et attribuer une couleur par opérateur qui y intervient au moyen de marqueurs permanents. Il reste que la marque doit être sur la partie qui ne subira pas d'usinage dans la mesure du possible, autrement, la pièce doit être encore une fois, identifiée quand elle passera d'un poste de travail à un autre.

Donc le point PDTR1 retracera les données suivantes :

- a. Le fournisseur de la matière première
- b. La matière première
- c. Les dimensions du brut
- d. L'opérateur
- e. L'identification du brut (barre laminée ou bien lot de pièces)

- f. Jour de commande
- g. Mois de commande
- h. Année de commande.

Il est recommandé de mettre le jour ; le mois et l'année de commande séparément pour permettre des recherches pointus.

4.3.2 : Codification de l'outillage de production (PDTR2)

Dans la section d'usinage, chaque lot de pièces à usiner doit être soigneusement acheminé d'une machine à une autre, après que chacune des pièces du lot ait subi un enlèvement de matière selon le routage d'usinage de chaque surface à usiner indiquée dans la gamme d'usinage. Afin d'éviter toute perte de traçabilité, il est judicieux de porter les marques sur la surface qui restera brute, c'est-à-dire, la surface qui ne subira pas d'usinage. Si ce n'est pas le cas, alors après chaque phase, la pièce doit être, encore une fois marquée sur une surface de référence de marquage, qui correspondra à la surface qui ne subira pas d'usinage ou bien qui subira un minimum d'opérations, comme le bout d'arbre, ou une surface plane d'une pièce prismatique. Mais il faut garder toujours le nombre de lignes ou de points et les couleurs respectives engagées sur la PDRT1, de manière à ce que l'on retrouve toujours le lot de pièces ou la barre, initialement injectées dans la production depuis le magasin. La chronologie de passage des lots de pièces brutes ou bien des barres laminées brutes, est très importante dans l'acheminement des pièces d'une machine à une autre.

Par ailleurs, pendant l'usinage, il faut retenir que le système de production va devoir être équilibré en fonction des éléments variant qui sont déterminés en utilisant le diagramme Causes à Effets (voir section 3.3. 3.1 Phase 1 Analyse du système de production). Généralement, le système d'usinage est une machine-outil qui destinée pour reproduire fidèlement l'usinage dans les tolérances de précision et de qualité de surface. Deux facteurs variant peuvent influencer la production : l'opérateur et l'usure des outils de coupe. L'opérateur doit être fréquemment sensibilisé quant à l'importance de respecter les conditions de travail et les régimes de coupe et aussi collecter et enregistrer les bonnes informations, fiables et de qualité. L'usure de l'outil doit faire obligatoire une étude de comportement pour chaque pièce, en fonction de la matière de l'outil, de matière à usiner, des dimensions de la surface à

usiner et des régimes de coupe. Ce comportement est analysé par une approche fiabiliste (voir la section : 3.3.3.3 Phase 3 Analyse fiabiliste du système de production). Cette analyse fiabiliste permet de mettre en évidence le contexte de fiabilisation de l'équipement pour assurer une production qui répond aux exigences techniques en tenant compte des opérateurs, de l'outillage de coupe, de la matière à usiner et de dimensions et forme à obtenir.

Ainsi, après chaque phase d'usinage, un point d'enregistrement des données de la traçabilité, PDTR2 doit être attribué. Donc dans, le cas où la pièce subit plus d'une phase d'usinage, le PDTR2 sera localisé à la dernière phase d'usinage. Et l'information qui doit suivre c'est le type de l'outil où bien la gamme des types des outils qui ont été utilisés. 'Il faut retenir que chaque outil impliqué dans la fabrication de la pièce doit faire l'objet d'une analyse fiabiliste pour déterminer sa durée de vie dans les conditions réelles d'industrie. Cette analyse n'est faite qu'une seule fois pour les mêmes conditions de travail et servira de référence de base.

Donc dans le PDTR2, on ajoutera l'information relative à l'outil de coupe :

- i. Nuance et Type de la plaquette d'outil

Remarque : le porte outil n'est pas nécessaire puisqu'il fait partie des éléments non-variant du système de production.

4.3.3 : Codification de la pièce usinée (PDTR3)

Après usinage, chaque pièce est caractérisée par sa forme et ses dimensions géométriques qui doivent répondre aux exigences techniques. Mais si elle n'est pas identifiée, elle perd sa traçabilité du fait qu'il y a eu arrachement de la matière tout au long de l'usinage. Fort heureusement, au point PDTR2, la pièce est codifiée et identifiée. Cette identification et codification est faite sur un lot de pièces qui est identifié par rapport au brute de départ du magasin. Néanmoins, souvent après les phases d'usinage sur machines-outils, les pièces subissent de l'ébavurage, des traitements de surfaces ou revêtement et des traitements thermiques. C'est la partie la plus sensible pour le marquage des pièces pour des fins de traçabilité. En effet, lors des traitements de surface ou de traitements thermiques, tout marquage disparaît et par conséquent, il y a une forte probabilité de perdre la trace. Donc les pièces usinées, sont contenues toujours sous forme de lot en référence au lot de départ c'est-à-dire des pièces brutes (barres laminées, ou lot d'ébauches). Donc le marquage est

porté sur le contenant du lot de pièces usinées. Ce contenant doit être facile à remplir, portant des logements dans lesquels seront déposées les pièces, même pêle-mêle, le lot sera toujours identifié par rapport au lot de départ. La contribution des opérateurs est fortement recommandée et accrue. Donc toute la réussite de la codification des pièces dépend de la discipline exemplaire des opérateurs et des moyens mis en œuvre des pièces usinées. Une automatisation de ces moyens est contribuerait certainement à la meilleure gestion des lots de pièces usinées (mise en bac, codifier les bacs à lot et méthode d'acheminement et récupération). Donc sur ce point, au lieu des pièces, ce sera les bacs à lots qui seront identifiés.

L'identification des bacs à lots de pièces usinées est faite en reportant la codification au point PDTR2 sur les bacs par marquage permanent, en gravant le code sur une tôle identifiant chaque bac à lot de pièces usinées.

Puis après les opérations de traitement thermique, ou le revêtement ou bien le lavage et l'ébavurage, les pièces peuvent encore subir un usinage de finition comme la rectification ou bien directement vers la section de contrôle. Les pièces étant contrôlées conformes doivent être codifiées.

Ainsi, les pièces finies seront gravées par le code final pour les envoyer au magasin de stockage des pièces finies. Le PDTR 3 sera localisée au dernier point de contrôle qualité juste avant d'envoyer vers le magasin. L'empreinte sera réalisée au moyen d'un graveur électronique sur les surfaces brutes restant sur la pièce finies ou bien sur les surfaces non fonctionnelles.

4.3.4 : Fiche suiveuse (PDTR4)

Dans la section de montage, le puzzle composé de pièces fabriquées et de pièces achetées et des pièces sous-traités, va être monté pour composer le produit final. Ce puzzle est réalisé en assemblant chacune de ces pièces conformément à la gamme de montage qui doit remplir une fonction donnée. Une fois le produit fini est contrôlé et approuvé, il sera stocké pour préparer l'expédition. Mais avant l'expédition, il va falloir s'assurer que toutes les données depuis la préparation jusqu'à l'expédition en passant par la fabrication et le montage, sont bien enregistrées et archivées dans les meilleures conditions. Toutes les pièces fabriquées sont bien répertoriées et codifiées et peuvent renseigner à tout moment de leur historique. A cet effet, une fiche suiveuse est élaborée retraçant toute l'histoire du

produit et de ces composants. Elle est elle-même codifiée et comporte tous les codes des pièces composant le produit final. Le dossier final du produit final, est ainsi codifié et archivé et sera consulté éventuellement sur toute demande.

En réalité, la garantie du produit final est impliquée dans sa mise en service. Un système de plombage du produit final est mis en exécution en commun accord avec le client final. Pour toute réclamation sur une défaillance du produit, l'entreprise est en droit de ne pas valider la garantie s'il se trouve que le produit a été démonté sans respect des clauses de contrat de garantie. Ce n'est pas l'objectif de ce travail puisqu'il y va des prérogatives de la juriste prudence.

Enfin, le PDTR4, est localisé dans le magasin d'expédition qui archivera la fiche suiveuse qui sera utilisée en cas de réclamation.

Conclusion

Dans ce chapitre, une méthodologie d'implantation d'un système de traçabilité dans un atelier d'usinage mécanique a été proposée. Elle est basée principalement sur l'analyse du système de production dont la gamme d'usinage de chacune des pièces fabriquées est le document indispensable. Traditionnellement dans la gamme d'usinage, sont élaborées toutes les phases de fabrication d'une pièce depuis la réception de la matière brute jusqu'à l'expédition de la pièce finie conforme aux exigences techniques. Cependant, il n'y a jamais eu de données qui peuvent traduire la traçabilité d'une pièce en service. Les données qui y figurent, concernent, la nuance de la matière à usiner, les tolérances fonctionnelles et les états de surfaces, les régimes de coupe, la cadence, les traitements thermiques. C'est en effet sur la base de ces informations que la codification des pièces a été possible. Pour y arriver, la notion de point d'enregistrement de données de traçabilité a été proposée. Ces points sont baptisés PDTR (Points of Data Traceability Recording en langue anglaise). Chacun des points a été localisé dans le processus de fabrication et comprend les informations qui seront intégrées dans le code de la pièce.

Dans un atelier d'usinage, PDTR sont utiles pour graver un code sur une pièce usinée.

- 1) PDTR1 correspond au point d'identification du code du Brut

- 2) PDTR2 correspond au point d'identification du code de l'outillage de production
- 3) PDTR3 correspond au point d'identification du code de la pièce usinée
- 4) PDTR4 correspond au point de réalisation de la fiche suiveuse de pièces codifiées.

Dans ce chapitre nous avons tenu d'expliquer le principe de la méthode d'une manière générale, et afin de le valider, une étude de cas est réalisée sur la production d'un axe de moyeu de roue de fauteuil roulant produit chez CYCMA Guelma. Les résultats sont présentés et discutés conformément aux directives du chapitre 3 et du chapitre 4 de cette présente thèse.

Chapitre 5



V ALIDATION DE LA MÉTHODOLOGIE D'IMPLANTATION DU SYSTÈME DE TRAÇABILITÉ ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Dans ce chapitre, la méthodologie proposée dans le chapitre IV est validée à travers un cas d'étude sur la fabrication d'un moyeu de roue de fauteuil roulant, produit au niveau de l'entreprise CYCMA de Guelma en Algérie. Le principe d'élaboration de ce chapitre se repose sur toute la procédure d'implantation basée sur la notion des points d'enregistrement des données de la traçabilité (PDTR), qui rappelons-le forme la principale contribution de ce travail. Cette notion ne peut pas être appliquée si le système de production n'est pas fiabilisé. Dans le chapitre 3, nous avons rapporté une méthode de fiabiliser une machine-outil automatique par l'approche fiabiliste. Dans ce chapitre nous avons étendu cette approche à tout un atelier d'usinage. Donc, les travaux de recherches de cette contribution, ont été menés en étroite collaboration avec l'entreprise publique économique des Cycles et Motocycles et Applications, dénommée par abréviation EPE. CYCMA de Guelma en Algérie, qui a exprimé le besoin d'implanter un système de traçabilité interne au sein de ses ateliers de production.

Donc, le présent chapitre est développé objectivement en relatant et discutant les résultats sur, le besoin de CYCMA pour implanter la traçabilité dans ses services de production, la procédure de fiabilisation des équipements introduite dans le chapitre 3, l'application de la notion PDTR pour implanter la traçabilité dans les ateliers de CYCMA.

5.1 Analyse du système de production

5.1.1 La traçabilité : un besoin accru

CYCMA est une société nationale qui opère depuis de nombreuses décennies dans le secteur de la construction de deux roues et dispose d'un complexe industriel sur 138.000 m² dont 38.000 m² de locaux couverts, équipés de plus de 400 machines de production. Elle est spécialisée dans la production, la commercialisation et le développement d'une gamme variée de cycles, motocycles, de fauteuils roulants et produits dérivés. La Figure 5.1 montre une photographie des produits principaux de CYCMA et une exposition de ces produits au niveau d'une foire internationale.

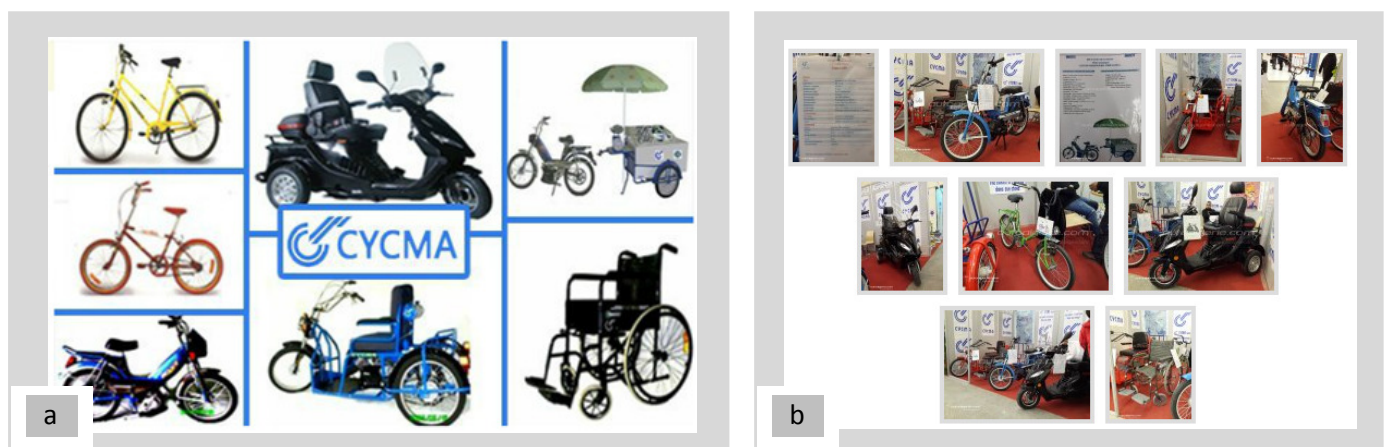


Figure 5.1 : a) Produit finis de CYCMA ; b) Exposition à une foire internationale

Une enquête au niveau des décideurs de l'entreprise montre que compte tenu de la concurrence ardue entre les différents constructeurs, CYCMA a pris conscience d'améliorer en permanence ses compétences et ses performances, et ce par l'implantation d'une organisation basée sur les meilleures pratiques, orientée vers d'une part la satisfaction des clients et d'autre part d'augmenter ses capacités de défense en cas de litige qui pourrait survenir suite à une éventuelle défaillance

imprévisible qui causerait un retour massif des produits vendus nécessitant une expertise poussée pour déterminer les raisons et les causes qui ont mené vers cette défaillance. Alors, pour connaître l'origine de ces produits retournés ainsi que les conditions de leur production et de leur distribution, l'entreprise même si, actuellement elle n'est pas dans l'obligation vis-à-vis de la réglementation, elle a pris conscience du besoin et de l'importance de mettre en place une traçabilité interne permettant de suivre les matières premières entrantes jusqu'au produit fini.

5.1.2 Analyse de la fiabilisation du système de production

La fiabilisation de l'atelier de fabrication consiste à analyser l'atelier de fabrication depuis la réception de la matière première jusqu'à l'expédition du produit fini. L'objectif est de faire ressortir les facteurs forts qui peuvent valoriser le système de production et les facteurs faibles qui peuvent nuire à la production. La fiabilisation revient à agir sur ces deux facteurs afin d'optimiser la production et donc fiabiliser le système de production. Deux principales actions doivent être faites, la première au niveau organisationnelle du système de production et la deuxième est d'étudier le comportement du système de production surtout les machines stratégiques par une approche fiabiliste.

5.1.2.1 Organisation des ateliers de fabrication

L'organisation des ateliers de fabrication de CYCMA, correspond à l'organigramme de la logistique interne d'un atelier de fabrication mécanique illustrée dans la Figure 4.1. Afin de mettre en évidence le choix des points PDTR, nous estimons qu'un bref aperçu sur les différentes sections de l'atelier de fabrication doit-être donné. L'atelier de fabrication dispose de cinq ateliers de production et de trois magasins :

5.1.2.1.1 Atelier d'usinage composé de plusieurs sections:

Section de débitage : c'est l'endroit chargé du tronçonnage des matières premières de toutes formes et nuances (barres laminées, tôles, fer carré, autres....) selon des longueurs mentionnées dans de différents dossier de fabrication.

Section semi-automatique : chargé des opérations d'usinage semi-automatique. Les machines utilisées ont une flexibilité très limitée et sont destinées pour une production en petites séries.

Section automatique : chargé des opérations d'usinage automatique. Les machines utilisées sont des tours entièrement automatiques. Elles ne sont pas flexibles et conviennent pour les grandes séries.

Section numérique : Composée de machines-outils à commande numérique pour fabriquer les pièces stratégiques de précision et d'un état de surface exigeant, comme les axes des roues. Cadence et flexibilité sont facilement assurées sur ce type de machines.

Section de soudage : Dans cette section s'effectue l'assemblage permanent des pièces par différents types de soudure.

Section de lavage : Avant toute opération de revêtement ou d'assemblage ou encore de stockage, toute pièce finie doit être automatiquement lavée. Les machines de lavage et de dégraissage industrielles sont des équipements de traitement de surface utilisées sur des pièces mécaniques (des équipements tels que : tunnel de lavage, machine de dégraissage rotative, machine de lavage en continu...)

Section de contrôle : Le service contrôle donne son acceptation pour le démarrage de la série conformément à la gamme de contrôle. Cette vérification est effectuée sur les premières pièces jugées conformes par le régleur. Les pièces transmises au service contrôle font l'objet d'un rapport d'acceptation de démarrage de la série, classé dans le dossier pièce. Le service contrôle informe le régleur de son accord sur le démarrage de la série.

5.1.2.1.2 Atelier de rectification et d'estampage :

Section de rectification : Dans cette section, les pièces de précision peuvent subir une opération de rectification pour améliorer leur état de surface.

Section d'estampage : composée de presses hydraulique, mécanique et à vis et de marteaux pilons pour la mise en forme à chaud pour fabriquer des pièces par estampage.

5.1.2.1.3 Atelier de traitement thermique et fonderie :

Section de traitement thermique pour le Recuit, Trempe, Revenu et Normalisation.

Section de fonderie : pour la production de pièces obtenues par moulage.

5.1.2.1.4 Atelier de traitement de surface :

Section de zingage ou zincage : cette section comprend tout procédé de protection qui consiste à recouvrir une tôle ou toute pièce d'acier doux d'une mince couche de zinc, par immersion dans un bain de zinc fondu (galvanisation), par dépôt électrolytique (zingage électrolytique), par chauffage dans du zinc pulvérulent (shérardisation), ou encore par pulvérisation au pistolet (métallisation).

Section de chromage : c'est l'endroit où l'opération de chromage se déroule. Elle consiste à recouvrir une pièce d'une épaisseur plus ou moins grande, de 0,5 μm (chrome décoratif) à 1/10 mm rectifié (chromage dur).

Section de peinture : ici sont appliqués les revêtements protecteurs par peinture sur les pièces finies, produits finis, accessoires et autres...).

5.1.2.1.5 Atelier de montage :

Section de pré-assemblage : un pré-montage des sous-groupes ou sous ensemble d'un produit sera lancé, une fois que toutes les pièces composantes sont finies.

Section de montage final : un montage des sous-groupes pour avoir le produit final.

Section de contrôle final : Une dernière vérification est effectuée par le service contrôle pour tous les produits prêts à l'expédition chez le client ou chez le sous-traitant.

5.1.2.1.6 Les Magasins de stockages

5.1.2.1.6.1 Magasin de stockage des matières premières et pièces achetées :

Dans ce magasin, la matière première et les pièces achetées (composants standards achetés) sont stockés dans les conditions idéales (capacité de stockage, respect de la logistique de position, et conditionnement). Cependant, il faut noter que les sources d'approvisionnement étant externes à l'entreprise, les risques de rupture de stock et les incertitudes sont grands et peuvent nuire à la production, par contre, les prévisions de consommation sont plus pratiques à faire puisque la demande est interne.

5.1.2.1.6.2 Magasin pour les pièces finies (fabriquées) ou magasin intermédiaire :

Dans ce magasin seulement les pièces finies (les encours de la production) sont stockées. La source d'approvisionnement est interne à l'entreprise; les délais de livraison sont plus contrôlables ; la demande aussi est interne (ateliers de fabrication, services de maintenance, autres magasins de la même entreprise) ; néanmoins même si les stocks circulent par flux tendus les incertitudes restent contrôlables.

5.1.2.1.6.3 Magasin pour les produits finis :

Quant à ce magasin, seuls les produits finis pour l'expédition y sont stockés. La demande est externe à l'entreprise et est le plus souvent aléatoire ; le suivi du niveau de stock demande beaucoup plus d'attention ; il y a des risques de faire du sur stockage.

5.1.2.2 Description et analyse du produit à fabriquer

Afin de rendre la méthodologie compréhensible, la description du produit se centrera autour de la fabrication de l'axe du moyeu de roue de fauteuil roulant décrit précédemment (voir rubrique 3.2.2 Cas d'études : Moyeu de roue pour fauteuil roulant). La Figure 5.2 montre le dessin de définition de l'axe du moyeu. La pièce est cylindrique avec des épaulements dont la différence maximale au diamètre est de 4 mm. Le rapport entre la longueur et le diamètre est de 7.5 indiquant que la pièce reste courte. Deux portées de roulements caractérisent la précision et l'état de surface de la pièce : le diamètre 12h6 avec un état de surface de 1.8 à 3.6. La pièce est montée dans le moyeu de roue par l'intermédiaire de deux roulements à bille, Figure 5.3.

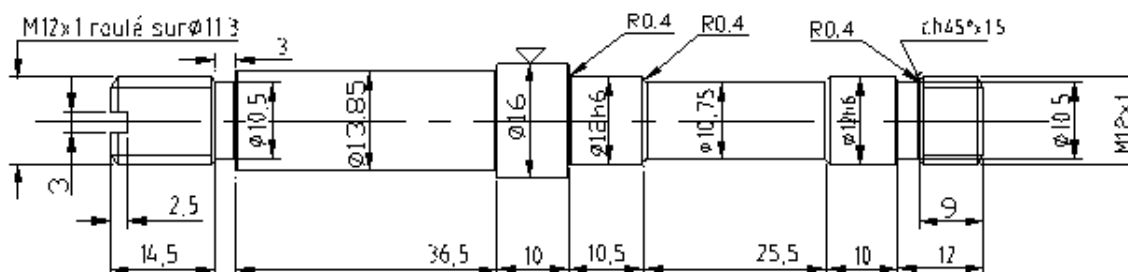


Figure 5.2 : Dessin de définition de l'axe du moyeu de roue de fauteuil roulant

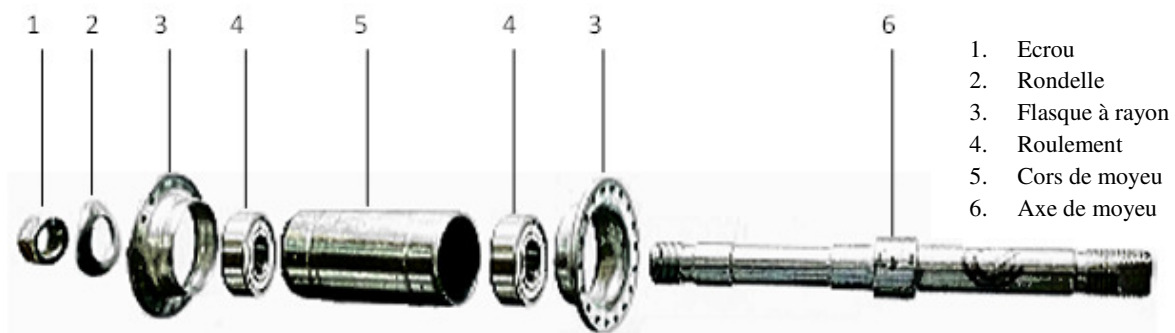


Figure 5.3 Sous-ensemble et composants d'un moyeu de roue de fauteuil roulant. [Rouabhia-Essalhi R et Amirat A, (2016)].

5.2 Analyse de la gamme d'usinage de l'axe du moyeu

La gamme d'usinage, (voir annexe A1), montre que la pièce subit 5 phases principales selon les moyens et la logistique de l'atelier : (a) la préparation des barres rondes en brut, (b) usinage de l'axe de moyeu en exécutant successivement les opérations de tournage sur un tour CNC, le filetage de l'extrémité de l'axe sur une machine à fileter, (c) le lavage, (d) le revêtement de zinc des pièces dans la section de zingage, et (e) les opérations de contrôle à différents niveaux de la gamme d'usinage.

Donc, la gamme d'usinage est intégrée au sein de la logistique interne de l'atelier (Figure 4.1). Avant le stockage de la pièce finie, un rapport de vérification est établi pour chaque pièce fabriquée confirmant soit la qualité des pièces ou révélant des anomalies ou la non-conformité de la pièce. Seules les pièces conformes sont envoyées à la section de montage.

5.3 Analyse Causes à Effets du système de production

Une des phases stratégiques dans la gamme d'usinage de l'axe de moyeu de roue de fauteuil roulant est la phase d'usinage sur le centre de tournage TORNOS BESCHLER. Le Tableau 3.2 donne les résultats de cette analyse et montre que l'élément systématiquement variant est l'usure (V_b) de l'outil qui influe directement sur la qualité de surface et la précision d'usinage. Conventionnellement, il est retenu

de changer l'outil quand V_b atteint 0.3. L'élément variant décisionnel est l'appréciation de l'opérateur pour changer l'outil. Cette partie d'étude a fait l'objet de mémoire de Magistère [Rouabhia-Essalhi R, 2009] et les principaux résultats ont été présentés et discutés dans le chapitre 3, (voir les rubriques 3.2.1 et 3.2.2).

Cependant, compte tenu que les résultats ont été appréciés par l'utilisateur principal qu'est l'usine de production CYCMA et aussi ont fait l'objet de communication internationale aux 11^{ème} congrès sur la conception et production intégrées 2011, et eu égard aux recommandations des experts industriels en fabrication mécanique, il y a eu encouragements pour explorer la piste d'implantation d'un système de traçabilité sur la base de cette analyse 5M.

Donc, il paraît utile de reprendre notre étude à partir de l'analyse 5M décrite au chapitre 3.

5.4 Effets des facteurs variant sur la production

Cette partie d'étude vient compléter, les résultats obtenus dans le Tableau 3.6 et suit toute la procédure ainsi décrite. Le complément d'étude consiste à ajouter l'implication du 3^{ème} opérateur qui au départ n'avait pas souhaité se joindre à l'étude, mais après publication des résultats préliminaires, il a été sensibilisé et a compris l'importance de ce travail.

L'étude de l'usure des outils, a été reprise et a permis d'enrichir les résultats préalablement. L'annexe A2, montre un exemple de résultat de l'évolution de l'usure dans un cas réel de production. La Figure 5.4 montre l'évolution de l'usure en fonction du nombre de pièces usinées sur décision des opérateurs de changer l'outil. L'usinage de l'axe se fait avec deux outils de chariotage droit et gauche (Annexe A3), ayant les mêmes caractéristiques suivant un programme numérique spécifique en une seule phase. Donc l'outil droit est au moins 2 fois, plus sollicité que l'outil gauche. Il en résulte que l'outil gauche subit 2 fois moins d'usure que l'outil droit. Mais dans ce processus, l'outil droit doit-être changé pendant que l'outil gauche peut encore aller au-delà de 1000 pièces, alors que l'outil droit n'arrive pas à 500 pièces.

Mais par rapport à la prise de décision, les résultats montrent bien que les 3 opérateurs divergent, pendant que le 1^{er} change l'outil après avoir réalisé plus de 300 pièces, le 2^{ème} à moins de 300 pièces et l'opérateur 3 le fait est à plus de 400 pièces.

Si le système de production est automatique alors pourquoi y va-t-il cette divergence ? Cette décision n'influe pas seulement sur la qualité de la pièce à obtenir, mais aussi sur le coût de l'outillage. Cette question n'a trouvé de réponses qu'après avoir couplé ces résultats avec une approche fiabiliste sous Phimeca Soft.

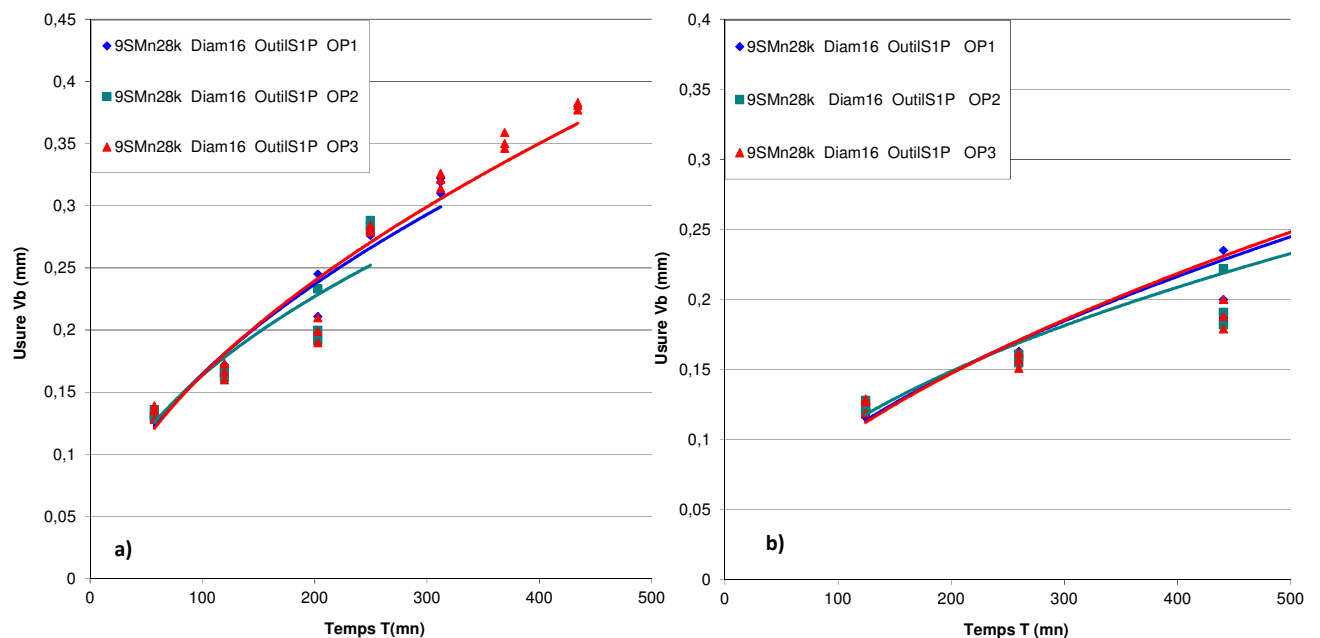


Figure 5.4 : Evolution de l'usure sur prise de décision des opérateurs
a) Outil droit ; b) Outil gauche

5.5 Analyse fiabiliste du système de production

Une fois les paramètres variables ont été identifiés, et que l'effet des facteurs variant est mis en évidence, l'approche fiabiliste est connu aujourd'hui comme une approche qui peut fournir des résultats réalistes. Dans des conditions réelles, les outils de fiabilité, sont aujourd'hui bien établies pour déterminer la probabilité de défaillance du processus car ils prennent en compte les incertitudes des variables en introduisant leur fonction de probabilité pour répondre à une fonction d'état limite.

Le modèle mécanique impliquerait tous les paramètres variables obtenus à partir des analyses du diagramme d'Ishikawa qui se traduisent par deux facteurs principaux affectant le processus d'usinage: (I) l'usure des outils et (ii) l'opérateur du poste de travail. L'usure de l'outil dépend du matériau de l'outil de coupe, le matériau de la pièce et les paramètres de coupe.

En général, tous ces paramètres sont rapportés dans la gamme d'usinage de la pièce. Le terme opérateur est attribué au poste de travail composé de tous les opérateurs impliqués dans la fabrication des pièces qui doivent être également signalés dans la gamme d'usinage. Le but de l'analyse de la fiabilité est donc d'obtenir l'indice de fiabilité β et de la sensibilité des variables.

Les résultats ci présents sont complémentaires et complètent l'étude antécédente [Rouabhia-Essalhi. R, 2009]. Le principe est bien expliqué dans le chapitre 3 et ici nous discutons les résultats en fonction de la nouvelle donnée qui implique le 3ème opérateur.

Le modèle mécanique est développé sur la base des résultats du comportement à l'usure. Ainsi le Tableau 5.1 présente les modèles d'usure qui impliquent 3 opérateurs.

Tableau 5.1 : Modèles d'usure en impliquant 3 opérateurs

N°	Matière	Diamètre	Outil	Modèles Mécaniques	Numéro de l'équation
1	9SMn28k	18	S1P	$Vb_1=0,0094 *Tk^{0,6325}$	(1)
2			P25	$Vb_2=0,0102 *Tk^{0,5813}$	(2)
3			GC415	$Vb_3=0,0078 *Tk^{0,5929}$	(3)
4		16	S1P	$Vb_4=0,0224 *Tk^{0,4286}$	(4)
5			P25	$Vb_5=0,015 *Tk^{0,4757}$	(5)
6			GC415	$Vb_6=0,0077 *Tk^{0,5377}$	(6)
7	C45	16	S1P	$Vb_7=0,0153 *Tk^{0,6622}$	(7)
8			P25	$Vb_8=0,0194 *Tk^{0,5341}$	(8)
9			GC415	$Vb_9=0,0114 *Tk^{0,5492}$	(9)

L'étude fiabiliste a été réalisée en respectant les modèles probabilistes décrits dans le Tableau 3.5 et pour la même fonction d'état limite définissant le passage de la sûreté à la défaillance donnée par l'équation (3.3):

La figure 5.5 montre l'évolution de l'indice de fiabilité β en fonction du nombre de pièces réalisées sur site de production. Elle intègre des barres en 9SMn28k diamètre 16mm et 3 matériaux d'outils de coupe S1P, P25 et GC415. Il convient de rappeler que la fonction de l'état limite est liée à l'usure de l'outil

critique. Le modèle mécanique comprenait également les incertitudes en raison de la décision des trois opérateurs. Le système de production est considéré comme défaillant lorsque l'indice de fiabilité β est inférieur à la valeur de 3,72 qui est utilisé pour la construction générale.

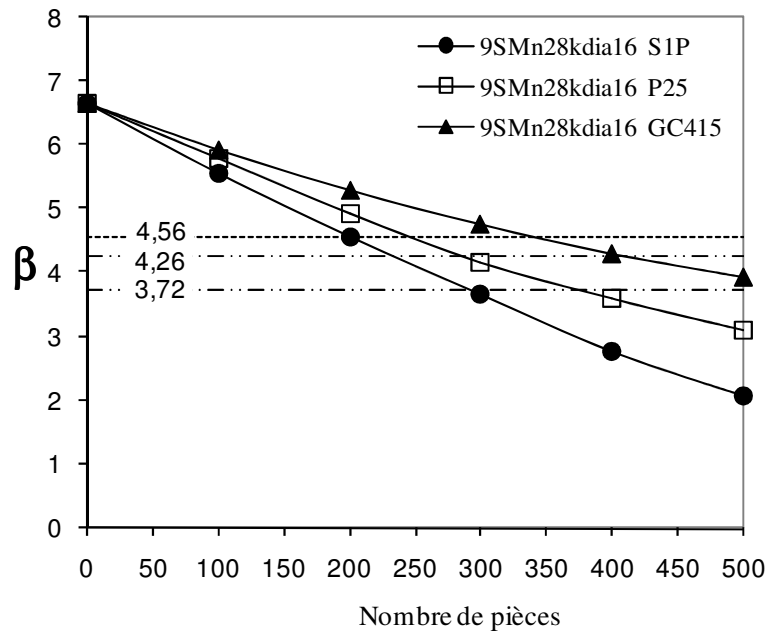


Figure 5.5 : Evolution de l'indice de fiabilité β en fonction du nombre de pièces usinées. [Rouabhia-Essalhi R et Amirat A, (2016)].

L'enquête nous a conduits à des outils de décision qui ont permis de définir le nombre exact de pièces avant de changer les outils de coupe. Le Tableau 5.2 montre les résultats des analyses de fiabilité sur la fabrication de l'axe de moyeu réalisé sur un Tour automatique Tornos Beschler équipé d'un ravitailleur automatique. Les résultats ci-présents viennent surmonter la sous-estimation du remplacement de l'outil de coupe basé sur les observations de l'état de surface à l'œil nu et le choix des conditions de coupe. Ainsi, le nombre de pièces usinées avant de changer l'outil est donné par les analyses de la fiabilité exprimées par les résultats de Phimeca. Nous signalons ici que dans le présent travail nous avons pris les résultats obtenus par [Rouabhia-Essalhi R (2009)] dans son travail de Magistère et nous les avons compléter avec un autre élément qui est le 3ème opérateur qui a rejoint le groupe de travail.

Les résultats donnés dans le Tableau 5.2 sont très indicatifs et réalistes. En effet, si on regarde le couple outil-matière à usiner, le modèle mécanique différent

d'un type d'outil à une nuance de matière à usiner et de plus les dimensions apportent aussi des modifications. De plus, la décision des opérateurs quant au changement de l'outil à cause de l'usure est très aléatoire et peut prendre des valeurs vraiment contradictoires qui peuvent nuire la production et la productivité. Remplacer l'outil avant que l'usure admissible ne soit atteinte augmenterait les coûts des outils, et remplacer l'outil après que l'usure admissible ait été dépassée résulterait dans la perte de production et l'augmentation des pièces rebutées.

Cependant, l'approche fiabiliste a permis d'optimiser les résultats quand on respecte le paramétrage de la machine-outil et les conditions de travail. Alors, l'opérateur est appelé à remplacer l'outil en fonction des résultats données par l'outil de fiabilité. La contribution de l'opérateur reste indispensable dans la détection de toutes anomalies.

Tableau 5.2: Fiabilisation de la production des axes de moyeux sur le Tour TORNOS Beshler. [Rouabhia-Essalhi R et Amirat A, (2016)].

N°	Type d'outil	Matière à Usiner	Diamètre Ebauche	Nombre de pièce avant changement d'outil			Résultats Phimeca	Variation en %		
				Opérateur1 X	Opérateur2 Y	Opérateur3 Z	PHI	PHI/X	PHI/Y	PHI/Z
1	GC415(G)	9SMn28k(A)	16	660	610	680	530	0.80	0.87	0.78
2	P25(P)		16	460	420	475	382	0.83	0.91	0.80
3	S1P(S)		16	340	335	350	294	0.86	0.88	0.84
4	GC415(G)	9SMn28k(A)	18	615	585	620	515	0.84	0.88	0.83
5	P25(P)		18	390	350	370	299	0.77	0.85	0.81
6	S1P(S)		18	300	275	280	241	0.80	0.88	0.86
7	GC415(G)	C45(B)	16	300	290	310	255	0.85	0.88	0.82
8	P25(P)		16	190	170	205	155	0.82	0.91	0.76
9	S1P(S)		16	140	130	145	122	0.87	0.94	0.84

5.6 Analyse de la mise en œuvre de la traçabilité

La méthodologie de mise en œuvre d'un système de traçabilité dans un atelier d'usinage nécessite une bonne organisation interne et de gestion des moyens de production et des personnes. La pièce subit plusieurs transformations de la matière première à la pièce finie selon une gamme d'usinage précédemment préparée. Les principales données d'entrée pour préparer une gamme d'usinage sont le dessin technique de la pièce qui comprend la forme, les dimensions, les tolérances et les

nuances des matériaux ainsi que la quantité de production. La préparation d'ébauches doit être examinée avec soin. En fait, les bruts seront soumis à l'enlèvement de matière qui rend le marquage des ébauches difficile, parce que lorsque la pièce est usinée à une forme finale, elle doit être reconnue afin de la situer dans sa barre brute d'origine. Il n'est pas admis que chacune des pièces doit être codifiée, mais c'est le lot de pièces issues de la même barre brute qui peut être identifié.

L'identification de la traçabilité est alors faite sur des lots composés de plusieurs pièces. La codification suit la gamme d'usinage permettant l'obtention de la pièce finie. Quatre principes fondamentaux sont utilisés:

- i) Identification de la pièce grâce à sa gamme d'usinage,
- ii) Rendre le système de production fiable (voir rubrique 5.5),
- iii) Identification du point d'enregistrement des données de traçabilité (voir chapitre 4)
- iv) Codifier les pièces, lot par lot.

Le principe de codification se base sur la notion de points d'enregistrement des données de traçabilité (PDTR) dont la procédure est déployée dans le chapitre 4. Nous présentons ci-après les résultats de la présente investigation.

5.6.1 Analyse de la codification au PDTR1 :

Le PDTR1 est localisé à la sortie du magasin de stockage de la matière brute (Figure 4.1). Pour l'axe du moyeu de roue, le brut est une barre laminée de diamètre 16mm, mais il se trouve quand il y a rupture de stocks, le diamètre 18 peut être utilisé, mais il faut savoir qu'il n'y aura pas seulement de perte de la matière, mais aussi une perte de temps d'usinage. La nuance de la matière peut aussi changer à cause de rupture de stock et donc être remplacée par une nuance de construction comme l'acier 9SMn28k et l'acier C45. Dans ces conditions, il faut peser les avantages et les inconvénients, mais quand il y a un rappel de production, il sera pratiquement impossible de retrouver l'historique du produit sans un système de traçabilité adéquat. Les barres laminées sont généralement utilisées comme matière première pour la fabrication de pièces cylindriques, et elles sont stockées dans le magasin de matière première. Les barres laminées sont ordonnées selon un dossier de fabrication (Voir Annexe 4) (la gamme d'usinage). Elles sont identifiées dans une

fiche de suivi (Figure 5.6) qui indique le fournisseur, le matériau, le diamètre, la longueur de la barre et la date d'achat.

Chaque barre doit être ensuite découpée en longueurs pour former les ébauches définies par la gamme d'usinage. A ce stade, les bruts doivent être identifiés en vue de les situer dans leur barre d'origine; autrement, au moment où ils sont conduits à la section d'usinage, ils se mélangent et il sera impossible de les localiser par rapport à leur barre d'origine.

Date d'emission:.....		Contrôle Final/ Marque/ Stockage		Désignation de la Pièce :..... Numéro de la Pièce:.....			
phase N°...	Poste de Marquage	description de la phase		Outils de Marquage		Observations	
		<p align="center">Marquage</p> Fournisseur MP : 1 ou 2 Nuance Matière : A ou B Diamètre : Ø16 x 3000 ou Ø18 x 3000 Opérateur : X ou y ou z N° de barre N1 ou N2 ou N3 Outil : G ou P ou S Date : 14/12/2014					
Controleur	pièces bonnes	Date/ visa	Opérateur/Marquage	Pièces Bonnes	Date/visa	Nouv .stok	Gestion stocks

Figure 5.6 Fiche suiveuse du brut

La Figure 5.7 montre la codification de la barre brute à la sortie du magasin. A chaque case est associée une information.

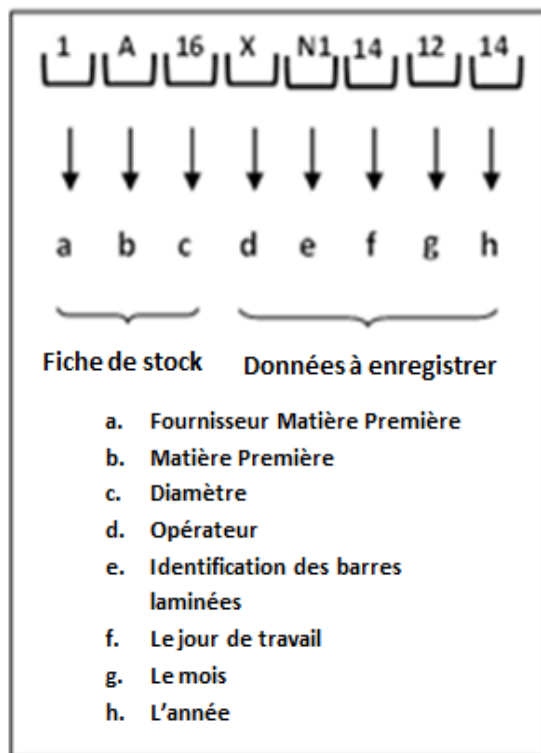


Figure 5.7 : Codification de la barre brute au PDTR1

Tableau 5.3 : Méthode de marquage des barres au point PDTR1. [Rouabhia-Essalhi R et Amirat A, (2016)].

Opérateur	Nbre de Ligne		
	N1 : Une ligne	N2 : Deux lignes	N3 : Trois lignes
Opérateur 1 Couleur Rouge			
Opérateur 2 Couleur Bleue			
Opérateur 3 Couleur Jaune			

Le code est clair mais comment le porter sur la barre brute ? Marquer la pièce brute devient un deal puisqu'elle va subir de l'enlèvement de la matière. La façon la plus adéquate est de marquer le brute en traçant 1, 2, 3 traits selon l'ordre de passage du brute (en barre ou en lot de pièces brutes) et attribuer une couleur par opérateur qui y intervient au moyen de marqueurs permanents. Il reste que la marque doit être sur la partie qui ne subira pas d'usinage dans la mesure du possible, autrement, la pièce doit être encore une fois, identifiée quand elle passera d'un poste de travail à un autre. Le Tableau 5.3 illustre la manière de marquer les barres laminées pour les identifier après sortie du Magasin au PDTR1.

5.6.2 Analyse de la codification au PDTR2 :

Dans la section d'usinage, chaque lot d'ébauches doit être soigneusement acheminé d'une machine à une autre, tandis que chaque pièce est soumise à l'enlèvement de matière selon la gamme d'usinage. Afin d'éviter toute perte de traçabilité, si la surface brute de la pièce doit être enlevée le long de toute la pièce, alors la pièce devrait être marquée à nouveau. Les marques seront transférées sur les surfaces des extrémités de l'arbre en traçant le nombre de lignes en couleur respectivement aux données notées au point PDTR1, de manière à retrouver la barre brute d'origine, à partir de laquelle les bruts ont été coupés. Le Tableau 5.4 montre le transfert des marques de la barre laminée vers les pièces usinées.

Tableau 5.4 : Transfert des marques de PDTR1 vers PDTR2

Nbre de Ligne Matière brute / Usinée	N1 : Une ligne Un point	N2 : Deux lignes Deux points	N3 : Trois lignes Trois points
Matière Brute			
Pièce			

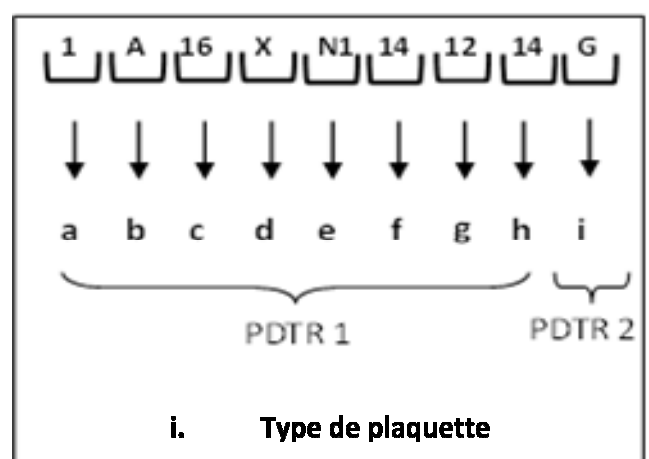


Figure 5.8 : Codification de la barre brute au PDTR2. [Rouabhia-Essalhi R et Amirat A, (2016)].

La codification des pièces usinées doit refléter les résultats des analyses de la fiabilité qui a inclus les incertitudes associées aux paramètres d'analyse. En conséquence, la PDTR 2 est localisé à la fin de la dernière phase d'usinage et la seule information à rajouter dans la codification est le type de la plaquette utilisée pour l'usinage de la pièce. La Figure 5.8 montre le complément d'information pour identifier et codifier la pièce après usinage. Il faut retenir que la fiche suiveuse est complétée au fur et à mesure que nous avançons dans la gamme d'usinage.

5.6.3 Analyse de la codification au PDTR3 :

Le point PDTR 3 est le point le plus sensible dans le marquage des pièces parce que les couleurs qui ont clairement identifié les pièces vont disparaître après le traitement thermique, le revêtement et le lavage. Donc marquer le lot de pièces à traiter ou à revêtir va se faire d'une manière indirecte. Les marques seront portées sur des bacs spécialement conçu pour contenir un ou 2 lots de pièces qui viennent de l'usinage. A cet effet, la contribution de l'opérateur est d'une grande importance et une grande attention devrait être accordée et même obligatoire lors du placement des pièces dans le bac à lot de pièces. Afin d'éviter toute blessure des pièces, spécifiquement les extrémités filetées et la perte de traçabilité, des plateaux contenant des logements, Figure. 5.9, dans lesquels les pièces usinées sont placées, sont utilisés pour transporter des lots de pièces d'un poste de travail à un autre.

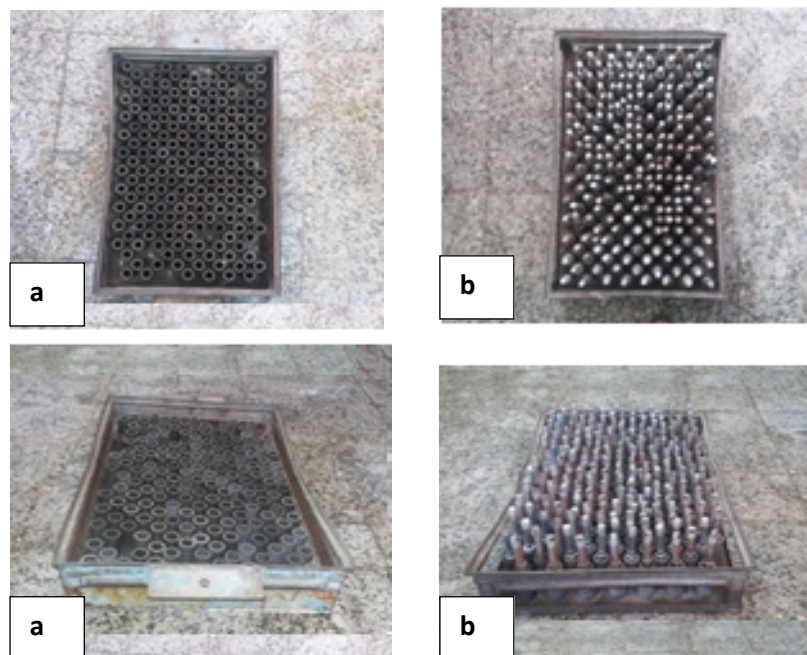


Figure 5.9 : Bac à logements pour le transfert de lot de pièces : a) vide ; b) rempli

Le marquage se fait par gravure sur une plaque métallique qui sera accrochée sur le bac à logements (Annexe5). La couleur est inscrite avec le nombre d'apparitions. La Figure 5.10 montre l'organisation des bacs à logements pour transférer des lots de pièces d'un poste de travail à un autre particulièrement dans le poste de traitements thermiques, de revêtement et de lavage.



Figure 5.10 : Identification des lots de pièces pour de fins de transfert d'un poste de traitement à un autre

A la section de contrôle, chaque pièce est soigneusement vérifiée, puis gravée avec des lettres et numéros, Figure 5.11 qui reproduisent les données de la traçabilité correspondant au lot de pièces finies. Dans ce travail, le code a été gravé avec des poinçons à lettre en attendant d'équiper la machine avec un graveur électronique. Une fois que le processus d'identification est terminé, les pièces finies codées sont envoyées au magasin de stockage des pièces finies. Ainsi, le PDTR 3 sera situé au dernier point de contrôle de la pièce finie.

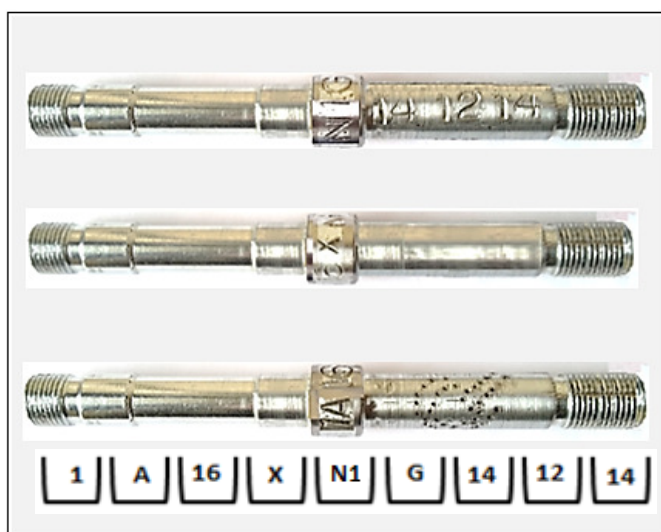


Figure 5.11 : Codification de la pièce finie

5.6.4 Analyse de la codification au PDTR4

Au point PDTR4, les fiches suiveuses sont finalisées et archivées. Le PDTR4 sert de point de communication localisé dans le magasin d'expédition. C'est à ce niveau que l'on peut décoder le code attribué à la pièce finie même après les années de service équivalent aux nombre d'années inscrit dans la garantie du contrat entre le constructeur et le client. Pour arriver au code final, chaque étape est caractérisée par une action de collecte d'information à identifier et à codifier et une action d'enregistrement. Les PDTR doivent impérativement apparaître dans la gamme d'usinage. La Figure 5.13, illustre l'intégration des PDTR dans la gamme d'usinage avec les informations à inscrire associées au code de la pièce. Une simple lecture du code doit retracer la mémoire de la pièce.



Tracking Sheet of the Shaft

Date of emission: _____		Final control/Marking/Qualification/Storage: _____		Designation of workshop: _____	
Number of phase	Marking/qualification post	Description of phase	Marking/qualification tools	Number of workpiece: _____	
		Marking Supplier Raw Material: Source of material: Diameter: Operator: Number of rolled bars: Tool: Marking date:			
Controller	Good parts	Date/Sha	Operator/Marking/qualification	Good parts	Date/Sha New stock Stock management

Code of the Hub Shaft

1	A	16	X	N1	G	14	12	14
---	---	----	---	----	---	----	----	----

Figure 5.12 : Chemin de codification de l'axe de roue de fauteuil roulant, depuis la pièce brute jusqu'à la mise en service. [Rouabhia-Essalhi R et Amirat A, (2016)].

Chapitre V Validation de la méthode d'implantation de la traçabilité et discussions des résultats

Date d'élaboration:					Quantité:		Délai:		N° de commande:				
pour phase n°	pour section n°	Magasin	Quantité	Unité	Designation de la pièce: Axe de Moyeu		Quantité		stock		cout		
							à livrer	livrée					
60	40	20	216	8	N° de la pièce	Nuance et Dimensions					unitaire	total	
					10-1056	9 SMn28k Ø16x3000							
N° PHASE	Poste de travail		Gamme d'usinage/ description des phases				Outils de production	Temps pour		Quant Pièces		Délai	
								equip	100 pièces	bonnes	Total	Début	fin
90	Magasin MP		Identifier les lots de M P (PDTR1)					10	10				
70	40	1625	Marquez les barres laminées de: 1,2 et 3 traits aux couleurs: Rouge, Jaune et bleue					30	90				
60	40	1625	Tourner suivant dessin (PDTR2)				GC415 (G) P25 (P) SIP (S)	360	150				
50	50	22113	Dégrossier					10	1,5				
40	39	3301	Roules filets M12x1 (1 ^{er} coté) ; lg=14.5mm					20	21				
30	39	3301	Roules filets M12x1 (2 ^{ème} coté) ; lg=9mm					20	21				
20	50	22113	Dégrossier					10	1,5				
10	29	222	- Trier les pièces à 1,2 et 3 traits de la même couleur et les placer dans leurs bacs spécifiques à chaque lot de pièces.					5	15				
			- Zinguer puis remettre les pièces dans leurs bacs spécifiques à chaque lot.					10	11,6				
0	79		- Contrôler à 100%, coder selon les informations indiquées sur la fiche suiveuse (PDTR3)					10	1000				
			- livrer Mag. Interm (10).										
								pièces livrées					
Elaboré par :						1-pièce	4-mm	7-m ³					
						2-kg	5-litre	8-gr					
						3-m	6-m ²						

Figure 5.13 : Intégration des PDTR dans la gamme d'usinage pour des fins de traçabilité.

Conclusion

La validation de la méthodologie d'implantation d'un système de traçabilité dans une entreprise de fabrication mécanique est réalisée en étroite collaboration avec l'entreprise de développement et de fabrication des cycles et cyclomoteurs CYCMA de Guelma en Algérie. Elle suit une stratégie bien définie qui se répartie en 4 phases principales. La première consiste à analyser le procédé de fabrication pour mettre en évidence ses facteurs forts et ses facteurs faibles. Puis dans la deuxième, il convient d'étudier le système de production. Dans le cas d'usinage, l'analyse 5M montre que l'usure de l'outillage et la décision des opérateurs pour changer les outils sont les facteurs les plus variant. Dans la troisième phase, une analyse de la fiabilité du système s'impose pour associées les incertitudes et les aléas dans les paramètres de contrôle du système de production. La fiabilisation de la production consiste en l'optimisation du nombre de pièces de qualité à produire dans les mêmes conditions d'usinage quel que soit l'opérateur impliqué. Et enfin la quatrième phase peut-être entamée par l'intégration de la notion des points d'enregistrements des données de traçabilités (PDTR). Chaque PDTR doit être localisé en supportant les données de production. Une organisation rationnelle doit-être imposée pour valoriser le système de traçabilité. Dans le cas d'usinage, les PDTR sont localisés par rapport à la gamme d'usinage. Dans ce travail, pour l'usinage des pièces types axes de roues, 4 PDTR sont déterminés ; 1) à la sortie du magasin de stockage des pièces brutes, 2) à la sortie de la pièce de la dernière phase d'usinage ; 3) à la fin du dernier contrôle pour stocker avant de stocker la pièce finie et enfin 4) à la sortie de magasin d'expédition du produit final.

Le code de la pièce implique une lecture de la mémoire de la pièce à travers un système de traçabilité, qui a été intégré dans la gamme d'usinage.

Conclusion Générale et Perspectives de recherche

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES DE RECHERCHE

Le présent travail est une contribution à la mise en œuvre d'un système de traçabilité interne au sein d'un atelier d'usinage. Les principales conclusions retenues sont présentées ci-dessous :

Dans le domaine de fabrication mécanique, l'implantation d'un système de traçabilité est très complexe étant donné que le produit à fabriquer subit des transformations depuis le brut jusqu'à la pièce finie par enlèvement de la matière selon une gamme d'usinage élaborée.

La codification s'appuie sur la norme ISO 8402 incorporée en 1987 et ISO 9001:2000 des procédures de qualité et a suivi une méthodologie développée dans ce présent travail.

La première étape consistait à analyser la fiabilité du système de production. Ceci a été réalisé auparavant en déterminant par la méthode 5M ou le diagramme cause à effets les paramètres qui influent sur le système de production.

Une analyse par approche fiabiliste a permis de déterminer sur une machine semi-automatique en l'occurrence un Tour Tornos Beschler, le nombre exact de pièces à usiner avant de changer les outils de coupe qui dépendait étroitement de l'évolution de l'usure et de la décision des opérateurs pour changer les outils de coupe.

Une fois que le système est réglé avec soin, la mise en œuvre de la traçabilité peut alors être réalisée.

La méthodologie actuelle suggère la localisation dans la gamme d'usinage d'une pièce donnée les points d'enregistrement des données de traçabilité. (PDTR) tout au long de la production de la chaîne d'approvisionnement et le cycle de vie du produit.

La méthodologie repose donc sur quatre grands principes:

- i) L'identification de la pièce grâce à son dessin de définition et sa gamme d'usinage,
- ii) L'analyse des causes aux effets du système de production afin de le rendre fiable,
- iii) Déterminer les points d'enregistrement des données de traçabilité,
- iv) Codifier pour identifier les pièces dans l'atelier d'usinage ; Il est utile d'identifier des lots de pièces issues de la même barre laminée ou bien du même lot de bruts forgés ou bien de la même coulée de bruts moulés.

La présente contribution émane d'une demande d'une société industrielle qui a proposé de nous fournir ses moyens de production pour étudier la faisabilité de mettre en œuvre un système de traçabilité dans ses ateliers de production.

Les résultats étant convaincants, la prochaine étape est d'intégrer cette technique de traçabilité d'une manière systématique et semi-automatique, d'équiper la machine d'un marqueur permanent au niveau de son ravitailleur automatique et d'équiper la machine manuelle de gravure par un graveur électronique, mais cela demande un fonds d'investissement.

Ce travail a un caractère exploratoire de la problématique pour appuyer l'importance d'implanter un système de traçabilité dans toute entreprise manufacturière.



Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

A

- AFNOR, (1988). Guides de l'utilisateur : Contrats de maintenance, 2^e édition.
- AFNOR, (1998). Eurocode 1 : Base du calcul et Action sur les structures et document d'application Nationale . Technical Report XP ENV 1991- 1.
- Almudever C G, Rubio A, (2015), Variability and reliability analysis of CNFET technology: Impact of manufacturing imperfections. Reliability, Volume 55, Issue 2, pp 358-366.
- Amirat A, Mohamed-Chateauneuf A, Chaoui K (2006). «Reliability assessment of underground pipelines under the combined effect of active corrosion and residual stress», International Journal of Pressure Vessels and Piping 83 107–117.
- Ayyub B et Mccuen R, (1997). *Probability, Statistics & Reliability for engineers*. CRC Press New York.

B

- Ballin N Z, (2010). Authentication of meat and meat products . Meat Science, 86 (3), pp.577-587.
- Baïna S, (2006). Une Approche Orientée Produit pour l'interopérabilité des Systèmes d'entreprise. L'Université Henri Poincaré, Nancy I. Centre de Recherche en Automatique de Nancy. Ph D. Docteur de l'Université Henri Poincaré. Gérard Morel et Hervé Panetto. 07/12/2006. Nancy.
- Bazovzky I, (1961). "Reliability Theory and Practice, Prentice Hall", Inc., Englewood Cliffs, N.J.
- Ben Ahmed W, Mekhilef M, Yannou B et Bigand M, (2008). "Evaluation Framework for the Design of an Engineering Model» submitted to AI EDAM: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing.
- Bendaoud M, (2008). Contributions méthodologiques et conceptuelles à la conception, la gestion et à l'amélioration des systèmes de traçabilité alimentaire : application à l'industrie d'abattage et de transformation de la volaille, thèse de doctorat en génie industriel, Ecole Centrale des arts et manufactures.
- Bendjoudi Y, Becker E, Bigot R, Amirat A, (2016). Contribution in the evaluation of a performance index of hot forging dies. Int J Adv Manuf Technol. Doi :10.1007/s00170-016-8829-4, pp 1–15.
- Bendriss S, (2009). «Contribution à l'analyse et la conception d'un système d'information pour la gestion de la traçabilité des marchandises dans un contexte de transport multimodal » thèse de doctorat, en Génie Informatique-Automatique, Université du HAVRE.
- Birolini A, (1997). Quality and reliability of technical systems. Ed Springer.
- Bon J. L, (1995). *Fiabilité des systèmes: méthodes mathématiques*. Ed Masson.
- Bourland K E, Powell S G & Pyke D F, (1996). Exploiting timely demand information to reduce inventories. European Journal of Operational Research, vol.92, n°2, pp.239-253.

C

- Cai L, Zhang Z, Cheng Q, Liu Z, Gu P, Qi Y, (2016). An approach to optimize the machining accuracy retainability of multi-axis NC machine tool based on robust design. Precision Engineering, Volume 43, Pages 370-386
- Campos J G et Miguez L R, (2011). Standard process monitoring and traceability programming in collaborative CAD/ CAM/ CNC manufacturing scenarios. Comput Ind 62(3):311–322
- Colin J, (2005). « Le supply chain management existe-t-il réellement ? », Revue Française de Gestion, Vol. 3, n 156, pp. 135-149.
- Committee on Reliability of Offshore Structures ASCE, (1983). Application of

reliability methods in design and analysis of offshore platforms. *J. Struc. Eng.*, 109(10):2265-2291.

D

- Davim J P, (2005). A note on the determination of optimal cutting conditions for Surface finish obtained in turning using design of experiments. *J Mater Process Technol* 2001; 116: 305 – 308. 326 Y. Sahin, A. R. Motorcu/ *Materials and Design* 26 321–326.
- Deng L, Ghosn M et Shao S, (2005). Development of a Shredding Genetic Algorithm for Structural reliability. *Structural Safety*, v. 27, pp. 113-131.
- Devictor N et Lemaire M (Directeur de thèse), (1996). *Travaux Universitaires- Thèse nouveau doctorat 1996 [Note(s): [235 p.]] (bibl.: 126 ref.), (No: 96 CLF2 1863)*
- Diana M et al, (2016) Towards industrial internet of things: Crankshaft monitoring, traceability and tracking using RFID, *Manufacturing*. Volume:66–77
- Dimitrov D (a), Karachorova V(b), Szecsi T(c), (2013). System for Controlling the Accuracy and Reliability of Machining Operations on Machining Centres. *The Manufacturing Engineering Society International Conference, MESIC*. (a,b) University of Rouse, Department of Manufacturing Engineering, 8 Studentska str., Rouse, Bulgaria; (c) Dublin City University, School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Dublin 9, Ireland.
- Dupuy C, (2004). Analyse et conception d'outils pour la traçabilité de produits agroalimentaires afin d'optimiser la dispersion des lots de fabrication. *Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Informatique et Information pour la Société (EDIIS) – Spécialité Productique. Ph. D. Grade de Docteur. Lyon.*

E

- Elegbede C, (2005). Structural reliability assessment based on particles swarm optimization. *Structural Safety*, 27:171-186.
- Elhewy A H, Mesbahi E and Pu Y, (2006). Reliability analysis of structures using neural network method, *Probabilistic Engineering Mechanics*, 21 (1) 44-53.
- Enevoldsen I et Sorensen J D, (1993). Reliability-based Optimization of Series Systems and Parallel Systems. *Journal of Structural Engineering*, v. 119, pp. 1069-1084.
- Evgrafov A, Patriksson M et Petersson J, (2002). Stochastic Structural Topology Optimization: Existence of Solutions and Sensitivity Analyses. *ZAMM · Z. angew. Math. Mech.* 00 0, pp1–15.

F

Fabbe-Costes, N. (1998), « Tracking and tracing : status in the logistics management and strategic stakes for companies », 8th World Conference on Transport Research (WCTR), Antwerpen, Belgium.

Fabbe-Costes N et Lemaire Ch. (2001), « La traçabilité totale d'une supply chain :

- principes, obstacles et perspectives de mise en oeuvre », *Revue Française de Gestion Industrielle*, Vol. 20, n° 3, pp. 23-52.
- Fabbe-Costes N, (2006), Traçabilité et logistique : les interactions, *Encyclopédie «Techniques de l'Ingénieur », traité « Traçabilité », Ref. Doc. TR 300*, Ed. Techniques de L'Ingénieur, Paris, Ed. 11-2006.
- Fabbe-Costes N & Lemaire C, (2010). L'évolution d'un système de traçabilité totale dans une chaîne logistique : analyse des facteurs d'influence à partir d'une étude longitudinale dans le secteur du fromage pré-emballé *Économie et Sociétés, Série Systèmes agroalimentaires, AG, n° 32*, pp. 9-10.
- Faraggi B, (2006). *Traçabilité : Réglementation, Normes, Technologies, Mise en OEuvre*, Dunod 2006 215p.
- Feng Y S et Moses F, (1986). A method of structural optimization based on structural system reliability. *J. Struct. Mech.* 14, 437-453.
- Fernandes V, (2007), « Le rôle de la traçabilité dans la relation client– prestataire de services logistiques », *XVIème Conférence Internationale de Management Stratégique*, Montréal.
- Frangopol D M, (1985). Structural Optimization Using Reliability Concept. *Journal of Engineering Structures, ASCE*, v. 111, pp. 2288-2301.
- Frangopol D M et Recek S, (2003). «Reliability of fiber-reinforced composite laminate plates », *Probabilistic Engineering Mechanics* 18 119–137.
- Fritz M & Schiefer G, (2009). “Tracking, Tracing, and Business Process Interests in Food Commodities: A multi-level decision complexity”, *International Journal of Production Economics*, vol.117, n° 2, pp.317-329.

G

- Galliano D & Orozco L, (2011). Les déterminants industriels et spatiaux du processus d'adoption de technologies : le cas de la traçabilité dans les firmes industrielles françaises, *Géographie, économie et sociétés, Série Géographie*, vol.13, n° 2, pp.135- 163.
- Garetti M, Macchi M, Van den berg R, Digitally supported engineering of industrial systems in the globally scaled manufacturing, *IMS-NoE SIG 1 White Paper*, Milano, 2003.
- GENCOD EAN France (2001) : « La traçabilité dans les chaînes d'approvisionnement : de la stratégie a la pratique ». Gencod Editions, 98p.
- Golan E, Krissoff B, Kuchler F, Calvin L, Nelson K et Price G, (2004) *Traceability in the U.S. Food Supply: Economic Theory and Industries Studies*, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Agriculture Economic Report n°830, mars 2004.
- Goyet J, Jacob B, Lemaire M, and Mathieu H, (1998). Fiabilité des constructions. *Revue française de Génie Civil*, 2(5) :529-610. ISSN 1279-5119.
- Grady J O, (1993). *Système Requirements Analysis*, Ed McGraw-Hill.
- Gu C, He Y, Han X, (2016). Reliability - oriented complexity analysis of

manufacturing systems based on fuzzy axiomatic domain mapping. The 10th International Conference on Axiomatic Design, ICAD.

Gunasekaran A & Ngai E W T, (2004). Information systems in supply chain integration and management. *European Journal of Operational Research*, 159 (2), pp.269-295.

H

Husejnagić D, Sluga A (2015) A conceptual framework for a ubiquitous autonomous work system in the engineer-to-order environment. *Int J Adv Manuf Technol* 78(9):1971–1988.

Haldar A et Mahadevan S, (2000). *Probability, Reliability and Statistical Methods in Engineering Design*. John Wiley & Sons, New York.

Haldar A et Mahadevan S, (2000a). *Reliability Assessment Using Stochastic Finite Element Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.

Hassi D F, (1965). “Advanced Concepts in Fault Tree Analysis System Safety Symposium”, University of Washington Library, Seattle.

Hasofer A.M. and Lind N.C, (1974). Exact and invariant second moment code format. *Journ. Eng. Mechanics Div.*, vol 100:111-12.

Health and Safety Executive, (1978). “Canevey : An Investigation of Potential Hazards from Operations in the Caveney Island Thurock Area”, Londres, Her Majesty’s Stationary Office.

Helander M. G., Jiao J., (2002). Research on e-product development (ePD) for mass customization. *Technovation* 22, 717-724. Pergamon. 2002.

Henley J et Kumamoto H, (1981). “Reliability engineering and risk assessment” Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N, J.

Hoang P, (2003). *Handbook of reliability engineering*. Ed Springer.

Hurtdo J E et Alvarez D A, (2001). “Neural-network-based reliability analysis: a Comparative study”. *Comput. Methods Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*,191 113-132.

I

ISO 8402:1994 (1994) *Quality management and quality assurance— vocabulary*. ISO TC 76/SC 2, Geneva.

ISO 9001: 2000 (2004) *Quality management systems - requirements*.

J

Jansen-Vullers MH, Dorp CA, Beulens AJM (2003). Managing traceability information in manufacture. *Int J Inf Manag* 23(5): 395–413.

Jerome D et Denis T, (2008). A tolerancing framework to support geometric specifications traceability. *Int J Adv Manuf Technol* 369:894–907.

K

Karâa M & Morana J, (2008). Le poids et l'enjeu de la traçabilité en Tunisie: Le cas de la filière dattes et huile d'olive, *Revue Française de Gestion Industrielle*, vol.27, n°1, pp.71-86.

Kärkkäinen M, (2002). RFID in the grocery supply chain – a remedy for logistics problems or mere hype? , Disponible sur: www.ecracademics.org/

Kärkkäinen M, Framling K & Ala-Ri M, (2003). Integrating material and information flows using a distributed peer-to-peer information system . In *Collaborative System for Production Management*. Kuwer Academic Publishers, Boston, USA. pp.305–319.

Kärkkäinen M, Ala-Risku T & Främling K, (2004). Efficient tracking for short-term multi-company networks , *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol.34, n°7, pp.545-564.

Kelle P et Akbulut A, (2005). The role of ERP tools in the supply chain information sharing, cooperation, and cost optimization . *International Journal of Production Economics*, vol.93-94, pp.41-52.

Kemeny J G, (1969). “Report of the President’s commission on the accident at Three Mile Island”.

Khelif R, Chateaufneuf A, Chaoui K, (2007). «Reliability-based assessment of polyethylene pipe creep lifetime», *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 84 697–707.

Kim H M, (1999). Representation and reasoning about quality using enterprise models. *Enterprise integration laboratory*, Department of Mechanical and industrial engineering. Toronto, University of Toronto. Ph D.

Kim, H. M., Fox M S. et Gruninger M, (1995). An Ontology of Quality for Enterprise Modelling. In, *Proceedings of The Fourth Workshop on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises*. IEEE Computer Society Press. pp. 105-116.

Krause F L, Kimura F, Kjelberg T et Lu S, (1993). Product modelling. *CIRP Ann* 42/2:149–152.

Kumar S & Schmitz, S, (2011). Managing Recalls in Consumer Products Supply Chain: Root Cause Analysis and Measures to Mitigate Risks, *International Journal of Production Research*, vol.49, n°1, pp.235-253.

L

Lafraia, J. R. B. *Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobras, 2001.

- Lazzeri J & Fabbe-Costes N, (2012). La traçabilité totale des Supply Chains : état de l'art et cadrage conceptuel, 9^{ème} Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique, HEC Montréal. pp.1-21.
- Lazzeri J, (2014). Vers une traçabilité totale des supply chains, Le cas de l'agroalimentaire en France, thèse de doctorat en sciences économiques et de gestion, soutenue le 28 août 2014, École doctorale 372, Centre de Recherche sur le Transport et la Logistique. (CRET-LOG) – EA 881, Aix-Marseille Université.
- Laudon, K.C., & Laudon, J.P. (2007). Essentials of management information systems 8th ed., New Jersey: Pearson International Edition.
- Lecomte, C., Ta, C.D., & Vergote, M.-H. (2006). Analyser et améliorer la traçabilité dans les industries agroalimentaires, AFNOR Edition. 246p.
- Lee J O, Yang T S, Rang W S, (2002). A Comparative Study on Reliability-index and Target-performance-based Probabilistic Structural Design Optimization. Computers and Structures, v. 80, pp. 257-267.
- Lees F P, (1980). "Loss Prevention in the Process Industries", Butterworks.
- Lemaire M, (1997). Reliability and mechanical design. Reliab Eng Syst Saf 55(2):163–170.
- Lemaire M, (2001). Cours de «Fiabilité des Structures Mécaniques : Couplage Mécano Fiabiliste Statique». LARMA, Université de Blaise Pascal-Clermont II, France.
- Lemaire M, (2005). Fiabilité des structures - Couplage mécano-fiabiliste statique. Hermes Science.
- Li H Z, Low B K, (2010). «Reliability analysis of circular tunnel under hydrostatic stress field», Computers and Geotechnics 37 50–58th.
- Li Y, Wan L et Xiong T, (2011). Product data model for PLM system. Int J Adv Manuf Technol 55(9):1149–1158.
- Lievens C, (1976). "Sécurité des systems", Cepadues, Edition 1976.
- Ligeron J.C, Delage A et Nef M, (1984). «La Fiabilité en exploitation : Organisation et traitement des données». Technique et Documentation, Ed LAVOISIER, Paris.
- Liu C, Li Y, Shen W(2014) Integrated manufacturing process planning and control based on intelligent agents and multi-dimension features. Int J Adv Manuf Technol 75(9):1457–1471.

M

- [Manuel de Traçabilité de la Filière Boisson, Programme d'appui au PME/PMI et à la maîtrise des technologies d'information et de communication, (PME II)].
- Marinescu R et Dechter R, (2005). And/or branch-and-bound for graphical models, International Joint Conference on Artificial Intelligence, IJCAI'05.

- Marucheck A, Greis N, Mena C & Cai L, (2011). Product Safety and Security in The Global Supply Chain: Issues, Challenges and Research Opportunities Journal of Operations Management, vol.29, n°7-8, pp. 707-720.
- Meelchers R E, (1987). "Structural Reliability; Analysis and Prediction". Ellis Horwood Ltd., West Sussex, England.
- Melchers R E et M Ahammed A, (2004). Fast Approximate Method for Parameter Sensitivity Estimation in Monte Carlo Structural Reliability, Computers and Structures, v. 82, pp. 55-61.
- Melissa E, (2015). International business, Volkswagen to Recall 8.5 Million Vehicles in Europe, The New York Times 2015-10-15 (<http://www.nytimes.com>).
- Millet O, Collard D & Buchaillet L, (2003). Fiabilité des microstructures en polysilicium : Institut d'Electronique, de Microélectronique et de Nanotechnologie IEMN, UMR CNRS 8520.
- Moe T, (1998). "Perspectives on traceability in food manufacture." Trends in Food Science & Technology 9(5): 211-214.
- Moody Daniel L, (1998). Metrics for Evaluating the Quality of Entity Relationship Models. In: T.W. Ling, S. Ram et M.L. Lee, Proceedings of The Seventeenth International Conference on Conceptual Modelling (ER '98), Singapore, November 16-19. Elsevier Lecture Notes in Computer Science.
- Moody Daniel L, (2003). Measuring the Quality of Data Models: An Empirical Evaluation of the Use of Quality Metrics in Practice. The 11th European Conference on Information Systems Naples – Italy.
- Muzeau J P and Lemaire M, (1997). Probabilistic Methods for Structural Design, volume 56, chapter Reliability analysis with implicit formulations, pages 141-160. Kluwer Academic. ISBN 0 7923 4670 X.

N

- Nurmilakso J M, (2008). Adoption of e-business functions and migration from EDI based to XML based e-business frameworks in supply chain integration. International Journal of Production Economics, vol.113, n°2, pp.721-733.

O

- Obadage A S and Harnpornchai N, (2006). Determination of point of maximum likelihood in failure domain using genetic algorithms. International Journal of Pressure Vessels and Piping 83:276-282.

P

- Pagès A et Gondran M, (1980). «Fiabilité des systèmes» Préface de Maurice Magnien. Ed EYROLLES, Paris.
- Papadrakakis M et Lagaros N D, (2002). Reliability-based structural optimization

using neural networks and Monte Carlo simulation, *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.*, 191, 32, 3491-3507.

Pellaton A et Viruega J L, (2007). « L'utilisation de la traçabilité pour la sécurité sanitaire : analyse par la théorie de la traduction », 1ère journée de recherche Relations entre Industrie et Grande Distribution Alimentaire, Avignon.

PHIMECA Engineering, (2002). PHIMECA-reliability-based design and analysis. Users' manual, version 1.6, Aubière, France.

Pillet M, (2004). Six sigma comment l'appliquer. Editions d'Organisation.

Procaccia H, Piepszownik L et Clarotti C, (1992). Fiabilité des équipements et théorie de la décision statistique fréquentielle et bayésienne. Ed Eyrolles.

Pujo P, Broissin N and Bertrand J C, (1995). Une nouvelle approche de l'ordonnement de Systèmes Automatisés de Production Flexibles par la mise en concurrence des ressources. 1er congrès international de génie industriel, Montréal, 18-20 octobre 1995.

R

Reactor Safety, (1975). "An assessment of accident risks in US commercial nuclear power plant", Wash-1400, NUREG 74/014, US/NRC.

Rizzi A et Zamboni R, (1999). Efficiency improvement in manual warehouses through ERP systems implementation and redesign of the logistics processes. *Logist Inf Manag* 12(5):367-377.

Romeyer C, (2000). « Le rôle de la traçabilité de l'activité dans la gestion de la Chaîne logistique intra-organisationnelle », Les 3èmes Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique, Trois-Rivières, Québec.

Romeyer C, (2001). Système d'information fondé sur une traçabilité des activités : intérêt et difficultés de mise en œuvre dans les hôpitaux, thèse de doctorat en sciences de gestion, Université de la Méditerranée, Aix-Marseille II.

Romeyer. C. (2004). Obstacles à la mise en œuvre d'un système de traçabilité dans une supply chain : apports de l'expérience hospitalière. Actes des 5ème Rencontres Internationales de la Recherche en Logistique (RIRL'04), Fortaleza, Brésil.

Rouabhia-Essalhi R, (2009). Etude fiabiliste de l'usure des outils de coupe pour l'usinage des axes de moyeux sur tour à décolleter à CN. Mémoire de Magistère. Université du 8 Mai 1945 Guelma.

Rouabhia - Essalhi R et Amirat A, (2016). An approach to implement internal traceability in machining workshops. *Int J Adv Manuf Technol*. Doi: 10.1007/s00170-016-8814-y, pp 1-11.

S

Salançon A, (2009). Innovation informationnelle et changements organisationnels : l'exemple de la traçabilité agroalimentaire informatisée. *Études de*

communication, vol.33, pp.153-169.

Schuëller G I, (2000). "Recent Software Developments for Structural Reliability Assessment". *PSAM 5 - Probabilistic Safety Assessment and Management - Proceedings*, S. Kondo & K. Furuta, eds., Universal Academy Press, Tokyo, Japan, pp. 1229-1234.

Schwob M, Peyrache G, (1968). "Traité de fiabilité", Masson et Cie Editeurs 1968.

Shinghal R, (1992). *Formal Concepts in Artificial Intelligence Fundamentals*, Ed Chapman & Hall Computing.

Simon TAMAYO GIRALDO, (2011). *Exploitation des informations de traçabilité Pour l'optimisation des choix en production et en logistique*, thèse de doctorat en Automatique. Université Paul Verlaine – Metz Ecole doctorale IAEM – Lorraine, Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique et Laboratoire de Génie Industriel et de Production de Metz, LGIPM.

Smith D J, (2005). "Reliability, Maintainability and Risk: Practical Methods for Engineers including Reliability Centred Maintenance and Safty-Related Systems", 7th Edition, Elsevier / Butterworth - Heinemann, ISBN: 0750666943.

Subramanya K N & Sharma S C, (2008). *Simulation Modeling of Information Flow in a 3stage efficient Supply Chain Network*. *International Journal of Computer Science*, 8(11), pp. 335-342.

T

Ta C D, (2004). *Démarche de traçabilité globale*, *Logistique & Management*, Vol. 12 – N°1, pp.35-40.

Talon D, (2011). «Gestion des risques dans une stérilisation centrale d'un Etablissement hospitalier : apport de la traçabilité à l'instrument». Thèse de doctorat, disponible sur <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00680977>.

Terzi S, (2005). *Elements of Product Lifecycle Management: Definitions, Open Issues and Reference Models*. Université Henri Poincare Nancy I / Politecnico di Milano. Doctoral dissertation. MOREL Gérard. Nancy.

Toyota (2009). *Toyota announces details of remedy to address potential accelerator pedal entrapment*. Press Release 2009-12-21.

Toyota USA Newsroom, (2010). *Toyota begins interim notification to owners regarding future voluntary safety recall related to floor mats* Press release 2010-02-13.

Töyrylä I, (1999). *Realising the Potential of Traceability –A Case Study Research on Usage and Impacts of Product Traceability*. *Acta Polytechnica Scandinavia, Mathematics, Computing and Management in Engineering*, Helsinki University of Technology, Doctorial thesis n°97.

V

- Van den nieuwenhof B, (2003). Stochastic Finite Elements for Elastodynamics: Random Field and Shape Uncertainty Modeling Using Direct and Modal Perturbation - based Approaches. Doctoral Thesis, Université Catholique De Louvain, Louvain-la-Neuve, Belgique.
- Van Dorp K J, (2002). Tracking and tracing: a structure for development and contemporary practices. *Logist Inf Manag* 15(1):24–33.
- Villemeur A, (1988). “Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels”. Edition Eyrolles.
- Villemus, P, (2001). L’entreprise audacieuse à la conquête des marchés de demain », Edition d’organisation 2001.
- Viruega, J.-L. (2004), Traçabilité : Outils, méthodes et pratiques, Ed. d’Organisation.
- Viruega, J., L. (2005), Traçabilité, Outils, méthodes et pratiques, Edition d’organisation, 237 pages.

W

- Wall B (1994) Quality management at golden wonder. *Ind Manag Data Syst* (7):24–28.
- Welker, G. A., Vaart, T. V. D., & van Donk, D. P. (2008). The influence of business conditions on supply chain information sharing mechanisms: A study among supply chain links of SMEs. *International Journal of Production Economics*, vol.113, n°2, pp.706-720.
- Wilkinson G, Dale BG (2002) An examination of the ISO 9001: 2000 standard and its influence on the integration of management systems. *Prod Plan Control* 13(3):284–297.

X

- Xu W, Shao L, Yao B, Zhou Z, Truong Pham D, (2016). Perception data driven optimization of manufacturing equipment service scheduling in sustainable manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, Volume 41, Pages 86-101.
- Xue B et al (2015), Model study on the traceability of the accuracy of an industrial manipulator to an external measurement system based on the Banach fixed-point theorem. *Mech Mach Theory* 92:51–63.

Annexe A2: Influences de la dureté de la matière à usiner sur l'usure VB des outils de coupe. [Rouabhia-Essalhi R, 2009]

Les trois nuances d'outils ont usiné deux matières de différentes nuances (9SMn28K et C45) mais de même diamètre de brut ($\varnothing 16$). Figure A2.a et Figure A2.b.

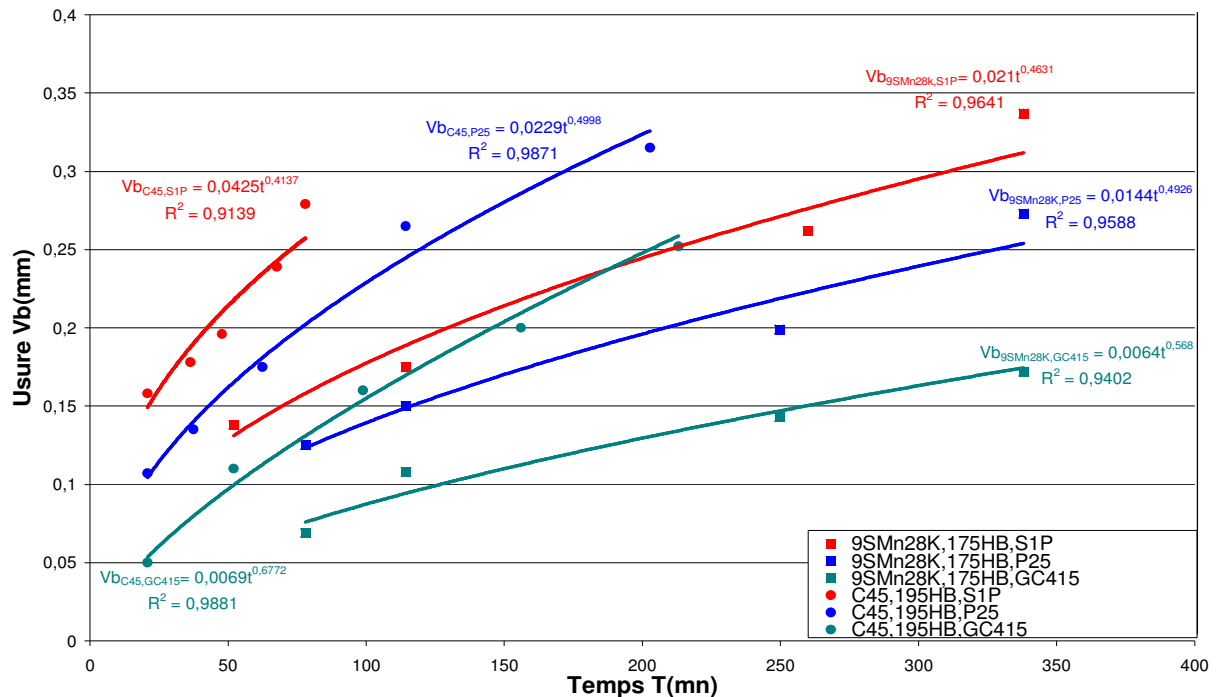


Figure A2.a Evolution de l'usure de trois nuances d'outils GC415, P25, S1P, pour l'usinage du 9SMn28K $\varnothing 16$ et du C45 $\varnothing 16$. (Côté droit)

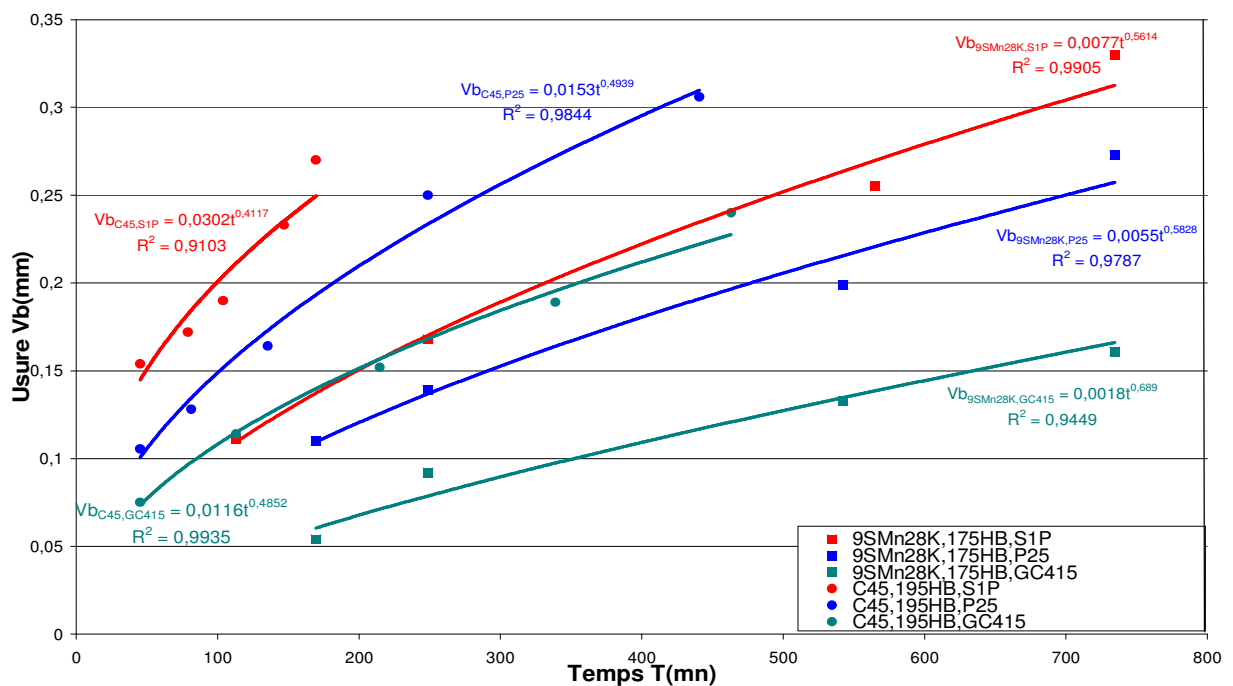


Figure A2.b Evolution de l'usure de trois nuances d'outils GC415, P25, S1P, pour l'usinage du 9SMn28K $\varnothing 16$ et du C45 $\varnothing 16$. (Côté gauche).

Annexe A3 : Présentation des outils de coupe, droit et gauche pour l'usinage de l'axe.

- a) Chariotage des diamètres : $\varnothing 11.3$, $\varnothing 10.5$, $\varnothing 12h6$, $\varnothing 10.75$, et $\varnothing 12h6$ en une seule passe (côté droit). [Rouabhia-Essalhi R, 2009]

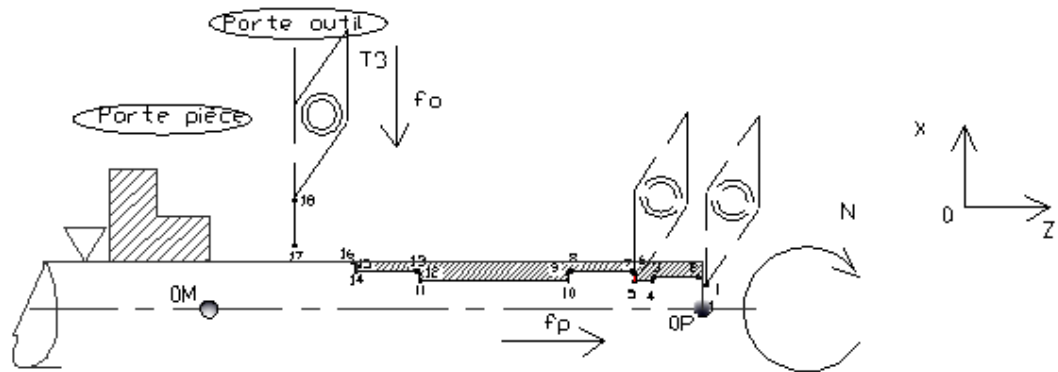


Figure A3.a Chariotage du côté droit de l'axe

- b) Chariotage des diamètres : $\varnothing 13.85$, 14(ébauche), $\varnothing 11.3$, $\varnothing 9.3$, $\varnothing 10.5$ (finition) en deux sens (Côté gauche). Figure 3.b.1 et Figure 3.b.2

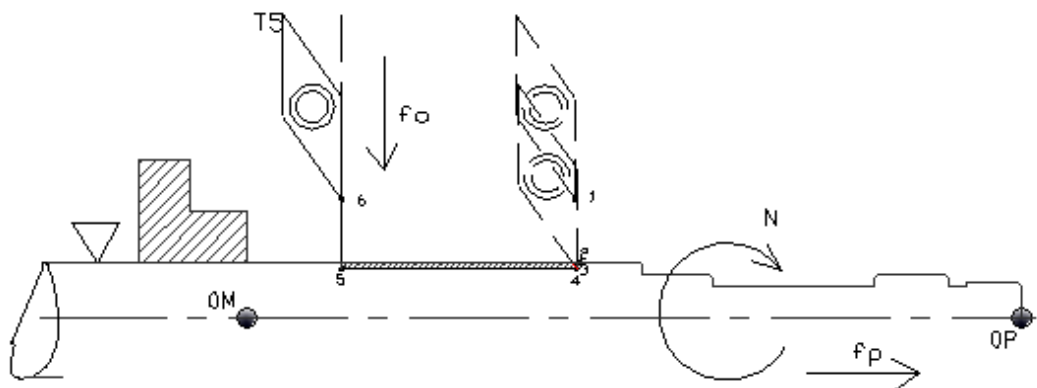


Figure A3.b.1 Chariotage du côté gauche de l'axe dans le sens droit

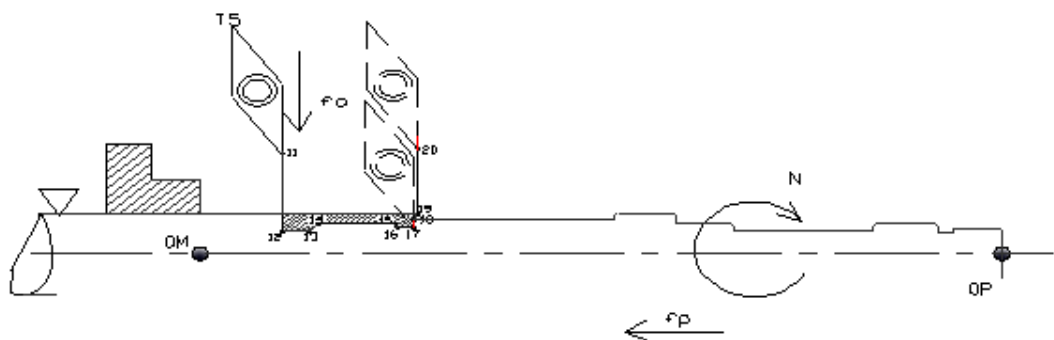


Figure A3.b.2 Chariotage du côté gauche de l'axe dans le sens gauche.

Annexe A 4 : Dossier de fabrication de l'axe

Parmi tous les documents susceptibles de se trouver dans un dossier de fabrication, on peut citer :

- *Fiche de matière (FM : Liste de retrait) - appelée aussi liste à servir, destinée au magasin MP,*

Date d'émission				Quantité			Délai		N° de COMMANDE		
FICHE MATIERE				Modification	Quant, Minim	Temps de pass		Pièce N°			
				1			No . De fiche Matière			Désignation	
pour ph.N°	Pour section	magasin	quantité	Unité	Désignation Matière ,pièce brute ou pièce de groupe	Dimension,N°.pièce brute ou N°.pièce de groupe	Quantité		Stock	Cout	
							à livrée	Livrée		Unitaire	total
70	40	20	216	8							
Date et signature magasin				Date et signature Gestion des stocks		Date et signature Comptabilité analytique		1-pièce	4-mm	7-m ³	
Feuille blanche				Feuille rose		Feuille jaune		2-kg	5-litre	8-gr	
								3-m	6-m ²		

Figure A4.1 FM Blanche pour le magasin.

Date d'émission				Quantité			Délai		N° de COMMANDE		
FICHE MATIERE				Modification	Quant, Minim	Temps de pass		Pièce N°			
				2			No . De fiche Matière			Désignation	
pour ph.N°	Pour section	magasin	quantité	Unité	Désignation Matière ,pièce brute ou pièce de groupe	Dimension,N°.pièce brute ou N°.pièce de groupe	Quantité		Stock	Cout	
							à livrée	Livrée		Unitaire	total
Date et signature magasin				Date et signature Gestion des stocks		Date et signature Comptabilité analytique		1-pièce	4-mm	7-m ³	
Feuille blanche				Feuille rose		Feuille jaune		2-kg	5-litre	8-gr	
								3-m	6-m ²		

Figure A4.2 FM Rose pour la gestion de stock.

Date d'émission				Quantité			Délai		N° de COMMANDE		
FICHE MATIERE				Modification	Quant, Minim	Temps de pass		Pièce N°			
				3			No . De fiche Matière			Désignation	
pour ph.N°	Pour section	magasin	quantité	Unité	Désignation Matière ,pièce brute ou pièce de groupe	Dimension,N°.pièce brute ou N°.pièce de groupe	Quantité		Stock	Cout	
							à livrée	Livrée		Unitaire	total
Date et signature magasin				Date et signature Gestion des stocks		Date et signature Comptabilité analytique		1-pièce	4-mm	7-m ³	
Feuille blanche				Feuille rose		Feuille jaune		2-kg	5-litre	8-gr	
								3-m	6-m ²		

Figure A4.3 FM Jaune pour la comptabilité Analytique.

- *Fiche délai (contenant la gamme)- décrit la suite des opérations et sera utilisée pour suivre la réalisation du lot. (Suivi de la production)*

DATE D'EMISSION:					Quantité:		Délai:		N° de COMMANDE:				
FICHE DELAI					Modifie:	Quant, Mini	Temps de pass:		Pièces N°:				
					Délai					Désignation			
ligne	pour ph.N°	Pour section	magasin	quantité	**	Désignation matière pièce brute ou pièces de groupe		Début	fin	Quantité		Disposition de matière	
										à livrée	Livrée	DATE	Signature
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
						1-pièce		4-mm		7-m ³			
						2-kg		5-litre		8-gr			
						3-m		6-m ²					

Figure A4.4 Fiche Délai.

- *Fiches d'accompagnement (copie de la fiche délai) qui accompagnera le lot de pièce à fabriquer d'un poste à l'autre.*

DATE D'EMISSION:					Quantité:		Délai:		N° de COMMANDE:				
FICHE D'ACCOMPAGNEMENT					Modifie:	Quant, Minim	Temps de pass:		Pièces N°:				
					Délai					Désignation			
ligne	pour ph.N°	Pour section	magasin	quantité	**	Désignation matière pièce brute ou pièces de groupe		Début	fin	Quantité		Disposition de matière	
										à livrée	Livrée	DATE	Signature
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
						1-pièce		4-mm		7-m ³			
						2-kg		5-litre		8-gr			
						3-m		6-m ²					

Figure A4.5 Fiche d'accompagnement.

- *Fiche de travail (machine et main d'œuvre) - elle permettra la saisie des temps par opération,*

FICHE DE TRAVAIL	modific	Quant ,minim	Temps de pass	Pièces No					
				Désignation					
Phase N0	Poste de travail	Description de la phase	Outils de production	Temps pour		Quant Pièces		Délai	
				equip	100 pièces	bonnes	Total	Début	fin
Nbre de pièces réalisées	Opérateur	visa	date du début de travail	date de fin de travail		Controleur/section		visa	

Figure A4.6 Fiche de travail.

- *Fiche de contrôle final de la pièce finie (stockage des encours)*

DATE D'émission:		Quantité		délai		No de commande		
controle final et livraison au magasin Interim	modific	Quant ,minim	Temps de pass	Pièces No				
				Désignation				
phase No	Poste de travail	description de la phase		Outils de production	Observations			
Pièces bonnes	controleur	visa	date d'entrée	magasin	visa	Nouv .stosk	Gestion stocks	

Figure A4.7 Fiche de contrôle final.

Annexe A5 : Identifications des bacs à la même identification des pièces finies à transférer.



Figure A5.1 Bacs pour pièces identifiées de 1,2 et 3 traits jaunes



Figure A5.2 Bacs pour pièces identifiées de 1,2 et 3 traits bleus.