



HAL
open science

Proposition d'une démarche de conception collaborative d'équipements orientée maintenance : cas de petites unités de transformation agroalimentaire au Burkina Faso

Bationo Frédéric

► **To cite this version:**

Bationo Frédéric. Proposition d'une démarche de conception collaborative d'équipements orientée maintenance : cas de petites unités de transformation agroalimentaire au Burkina Faso. Sciences de l'ingénieur [physics]. Institut National Polytechnique de Grenoble - INPG, 2007. Français. NNT : . tel-00419294

HAL Id: tel-00419294

<https://theses.hal.science/tel-00419294>

Submitted on 23 Sep 2009

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'INP Grenoble

Spécialité : Génie Industriel

Préparée au laboratoire: **Sciences pour la Conception, l'Optimisation et la Production - G-SCOP**
dans le cadre de l'Ecole Doctorale **Organisation Industrielle et Systèmes de Production - OISP**

Présentée et soutenue publiquement

par

Frédéric Bationo

Le 07 Mars 2007

**Prise en compte du réseau sociotechnique de maintenance dans la
conception d'équipements**

*Cas des petites unités de transformation agroalimentaire des Pays
d'Afrique de l'Ouest*

Directeur de thèse : Jean François BOUJUT

JURY

M. Améziane AOUSSAT,	Président,	Professeur, ENSAM de Paris,
M. Patrick MARTIN,	Rapporteur,	Professeur, ENSAM Metz,
M. Patrick TRUCHOT,	Rapporteur,	Professeur, ENSGSI Nancy,
M. Jean-François BOUJUT,	Directeur de thèse,	Professeur, INP de Grenoble,
M. François GIROUX,	Co-encadrant,	Professeur, SupAgro, Cirad, Montpellier
M. Claude MAROUZÉ,	Co-encadrant,	Chercheur, Cirad, Montpellier

À Eugénie,

Yisso, Guigui,

À mon père B.B. Célestin et ma mère K, Elisabeth,

À tous ceux qui luttent pour un monde meilleur,

Remerciements

Je remercie les membres du jury qui, ont porté une attention particulière à ce travail.

M. Améziane AOUSSAT, Professeur à l'ENSAM Paris, pour avoir présidé le jury de la thèse.

M. Patrick TRUCHOT, Professeur à l'ENSGSI Nancy et M. Patrick MARTIN, Professeur à l'ENSAM Metz, pour avoir jugé ce travail en qualité de rapporteurs.

Un travail de thèse n'est jamais un travail solitaire. Je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon comité de thèse :

M. Jean François BOUJUT, Professeur à l'INP-G, laboratoire G-SCOP de Grenoble, pour la qualité de l'encadrement, la confiance qu'il m'a accordée et pour avoir dirigé ce travail;

M. François GIROUX, Professeur à SUP-AGRO, chercheur associé CIRAD Montpellier, pour ses analyses critiques, la rigueur scientifique de ses suggestions et pour avoir partagé la responsabilité scientifique de ce travail;

M. Claude MAROUZÉ, Chercheur au CIRAD Montpellier, pour la rigueur scientifique de ses suggestions, ses encouragements et toute la détermination dont il a fait preuve pour l'aboutissement de ce travail.

Je remercie M. Yannick Frein, Professeur à l'INP-G, pour ses encouragements et pour m'avoir accueilli au sein du laboratoire G-SCOP (Ex Gilco). Je remercie tous les chercheurs, enseignants et membres du personnel du laboratoire G-Scop pour leur amitié et leur soutien pendant ces trois années de thèse.

Je remercie M. Michel Rivier pour son amitié et ses encouragements durant ses années d'études.

Je remercie tous les chercheurs et membres du personnel du Cirad-Département PERSYST (Performances des systèmes de production et de transformation tropicaux) UMR Qualisud pour leur accueil, leur amitié pendant ces trois années de thèse.

Je remercie tous les chercheurs et membres du personnel du CNRST, de l'IRSAT et du Département Mécanisation au Burkina Faso pour avoir permis le bon déroulement des travaux de thèse en Afrique. Je leur adresse toute ma gratitude pour leur soutien pendant ces trois années.

Je remercie l'INRA Bénin pour avoir permis le bon déroulement des travaux d'expérimentation.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude :

- à tous les équipementiers, transformateurs, fournisseurs qui m'ont permis de collecter les informations nécessaires à l'analyse et à l'illustration des pratiques de maintenance au Burkina Faso.
- à la Société Ouest Africaine de Fonderie (SOAF) à Bobo-Dioulasso, pour avoir permis d'expérimenter la méthode AMDEC.

Je remercie le gouvernement Français qui a financé la thèse au travers d'une bourse de l'ambassade de France au Burkina Faso. Je remercie le gouvernement Burkinabé pour m'avoir recommandé à cette bourse. Mes remerciements vont aussi à l'AUF pour son appui financier dans le cadre du Projet de Coopération Interuniversitaire IRSAT / FSA / CIRAD / INPG, au CIRAD pour un appui DESI et à l'IRSAT pour un appui logistique sur le terrain.

Sommaire

INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE I	5
PROBLÉMATIQUE DE LA MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS EN AFRIQUE DE L'OUEST	5
I. Introduction	5
II. Les entreprises de transformation agroalimentaire en Afrique de l'Ouest	6
1. Les types d'entreprises et leurs modes de gestion	6
2. Activités et moyens de production	10
III. Conception et fabrication traditionnelles des équipements en Afrique de l'Ouest ..	14
1. Les concepteurs	14
2. Equipementiers.....	16
IV. Pratiques de maintenance dans les entreprises de transformation agroalimentaire en Afrique de l'Ouest	19
1. La maintenance des équipements de production.....	19
2. L'approvisionnement en pièces de rechange	22
3. La réparation des équipements	23
V. Conclusion	24
CHAPITRE II	27
LA MAINTENANCE ET SON INTÉGRATION DANS LA CONCEPTION	27
I. Introduction	27
II. Principaux concepts de maintenance	28
1. Fiabilité et maintenabilité	29
III. L'intégration de la maintenance dans la conception : Le Design For X (DFX)	40
1. Design For Assembly (DFA)	40
2. Design For Manufacturing (DFM)	43
3. Design For Maintainability (DFMt).....	45
4. Design For Reliability (DFR).....	49
5. Design For Maintenance (DFMAIN).....	50
IV. Apports récents en intégration de la maintenance dans la conception en Afrique ..	51

1.	Conception d'Équipements dans les pays du Sud pour l'Agriculture et l'agroalimentaire, Méthode (CESAM)	51
2.	Le Cahier des Charges Disponibilité (CdCD), le Cahier des Charges Matière d'œuvre (CdCMo)	54
3.	Méta-modèle de Maintenance : extension du Modèle de Conception Distribuée (MCD) de Salau à la maintenance	56
V.	<i>Réseau d'acteurs</i>	58
1.	La structure d'une organisation sociale	58
2.	Le concept de réseau d'acteurs	60
VI.	<i>Problématique de la maintenance</i>	63
 CHAPITRE III		67
ANALYSE DES PRATIQUES DE MAINTENANCE DANS LES PETITES UNITES DE TRANSFORMATION AGROALIMENTAIRE		67
I.	<i>Introduction</i>	67
II.	<i>Caractérisation de l'environnement de la maintenance</i>	68
1.	Objectifs	68
2.	Matériel et méthode	68
3.	Résultats	72
4.	Discussion	94
III.	<i>Modèle de réseau de maintenance</i>	96
1.	Les éléments de base du modèle	97
2.	La démarche	100
3.	Présentation de différents types de réseaux : études de cas.....	102
4.	Réseau de maintenance de l'équipement en fonction de la proximité des acteurs	110
5.	Discussion	111
IV.	<i>Caractérisation des pratiques de maintenance de l'utilisateur et du réseau de maintenance</i>	113
1.	Les pratiques de maintenance de l'utilisateur	113
2.	Le réseau d'acteurs de maintenance.....	115
V.	<i>Expérimentation de la méthode AMDEC</i>	117
1.	Présentation de la méthode AMDEC.....	117
2.	Objectif de l'expérimentation.....	119
3.	Matériel et méthode	119
4.	Déroulement de l'expérience AMDEC	121
VI.	<i>Conclusion</i>	127

CHAPITRE IV.....	129
PROPOSITION ET EXPÉRIMENTATION D'UNE DÉMARCHE DE CONCEPTION ORIENTÉE MAINTENANCE.....	129
I. Introduction.....	129
II. La conception orientée maintenance pour les pays d'Afrique de l'Ouest	130
1. Le réseau de maintenance.....	132
2. Les règles de conception pour la maintenance.....	138
3. Mise en oeuvre de la démarche de conception orientée maintenance	144
III. Expérimentation de la démarche de conception orientée maintenance.....	149
1. Matériel et méthode	150
2. Résultats	153
IV. Conclusion.....	160
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	163
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	167
ANNEXES.....	175

Liste de figures

Fig. 1 : Démarche d'élaboration d'une méthode de conception orientée maintenance pour les équipements dans les PAO	3
Fig. 1.1 : Processus de conception traditionnelle (Giroux, Gueye et al., 1999).....	15
Fig. 2.1 : Taux de défaillance en fonction de l'âge : courbe en baignoire (Chapouille, 1999)	30
Fig. 2.2 : Intégration au niveau du produit (Aoussat et Le Coq, 1998).....	41
Fig. 2.3 : Intégration au niveau du composant (Allen, 1987).....	44
Fig. 2.4 : Les différentes phases de la méthode CESAM (Marouzé, 1999).....	52
Fig. 2.5 : Représentation du MCD dans le formalisme S.T.O.U (Charrel, 1993).....	56
Fig. 3.1 : Identification des acteurs lors des enquêtes	71
Fig. 3.2 : Les pratiques de maintenance en fonction du type d'entreprise et de son activité...	73
Fig. 3.3 : Pratiques assimilables aux 5 S dans les entreprises	75
Fig. 3.4 : Formation initiale des opérateurs.....	76
Fig. 3.5 : Proximité des acteurs de la maintenance et disponibilité des pièces de rechange dans les villes.....	78
Fig. 3.7 : Durée de vie (Dv) des tamis de décortiqueurs et temps d'arrêt (TA) pour la réparation.....	80
Fig. 3.8 : Durée de vie (Dv) des nervures de décortiqueurs et temps d'arrêt (TA) pour la réparation.....	81
Fig. 3.9 : Durée de vie (Dv) des roulements de presse et temps d'arrêt (TA) pour la réparation	82
Fig. 3.10 : Durée de vie des arbres de presse et temps d'arrêt (TA) pour la réparation.....	83
Fig. 3.11 : Durée de vie (Dv) des barreaux de la cage et temps d'arrêt (TA) pour la réparation	84
Fig. 3.12 : Durée de vie (Dv) des vis de presse et temps d'arrêt (TA) pour la réparation	84
Fig. 3.13 : Durée de vie (Dv) des roulements de presse et temps d'arrêt (TA) pour la réparation.....	86
Fig. 3.14 : Durée de vie (Dv) des vis de presse importée et temps d'arrêt (TA) pour la réparation.....	86
Fig. 3.15 : Appréciation de quelques critères de maintenabilité de 16 ME	90
Fig. 3.16 : L'utilisateur intervient sur l'équipement	101
Fig. 3.17 : L'utilisateur intervient souvent sur l'équipement.....	101
Fig. 3.18 : L'utilisateur s'approvisionne souvent en pièces spécifiques chez le fabricant	101
Fig. 3.19 : Assemblage des modèles	101
Fig. 3.21 : Réseau de maintenance de la presse dans la région de Bobo Dioulasso	106
Fig. 3.22 : Réseau de maintenance du séchoir atesta dans les villes de Bobo-Dioulasso et de Ouagadougou	109
Fig. 3.23 : La méthode AMDEC en quatre phases (Riout, 1994).....	118
Fig. 4.1 : Démarche de recherche d'intégration de la maintenance dans la conception	130
Fig. 4.2 : Démarche d'intégration de la maintenance dans la méthode CESAM.....	131
Fig. 4.3 : Démarche pour l'élaboration des règles de conception	138
Fig. 4.4 : Mise en oeuvre des règles de conception	145
Fig. 4.5 : Les quatre étapes pour intégrer la maintenance des équipements dans la conception	147
Fig. 4.6 : Réseau de maintenance du moulin à meules au Bénin	154
Fig. 4.7 : Schéma de principe de fonctionnement de la presse	156
Fig. 4.8 : Schéma de principe de fonctionnement du laminoir	157

Fig. 4.9 : Interaction entre le réseau de maintenance et la définition de l'équipement.....	158
Fig. 4.10 : Transformation du réseau ouvert existant de l'utilisateur en réseau fermé	160

Liste de tableaux

Tabl. 1.1 : Typologie des entreprises de transformation agroalimentaire	8
Tabl. 1.2 : Comparaison des coûts cumulés de réparation et de maintenance des tracteurs rapportés au prix d'achat dans les pays industrialisés et au Soudan.	21
Tabl. 2.1 : Pertinence des critères de maintenabilité par rapport aux PAO	48
Tabl. 2.2 : Règles de conception pour intégrer la fiabilité	49
Tabl. 2.3 : Compétences de l'équipe de conception et compétences associées d'un projet CESAM (Marouzé, 1999)	52
Tabl. 3.1 : Les unités et les moyens de production concernés par l'enquête	70
Tabl. 3.2 : Récapitulatif des indicateurs de maintenance pour les décortiqueurs Engelberg ...	82
Tabl. 3.3 : Récapitulatif des indicateurs de maintenance pour les presses localement fabriquées	85
Tabl. 3.4 : Récapitulatif des indicateurs de maintenance pour les presses à coton importées	87
Tabl. 3.5 : La disponibilité opérationnelle des équipements.....	91
Tabl. 3.6 : Calcul du coût mensuel des pièces de rechange pour le décortiqueur de céréales .	92
Tabl. 3.7 : Calcul du coût mensuel des pièces de rechange pour les presses locales.....	93
Tabl. 3.8 : Coût mensuel des défaillances pour la presse importée	93
Tabl. 3.9 : Représentation des entités.....	98
Tabl. 3.10 : Représentation des liens (échanges)	99
Tabl. 3.11 : Représentation de l'intensité (fréquence) des liens et des interventions	99
Tabl. 3.12 : Liste des acteurs enquêtés pour le modèle de réseau de maintenance.....	102
Tabl. 3.13 : Présentation de la dimension spatiale	111
Tabl. 3.14 : Capacité interne de réalisation des opérations de maintenance en fonction de la structure de l'entreprise	111
Tabl. 3.15 : Caractéristiques des pratiques de l'utilisateur dans l'entreprise.....	114
Tabl. 3.16 : Caractéristiques des pratiques de maintenance dans le réseau de maintenance .	115
Tabl. 4.1 : La matière d'oeuvre disponible dans le réseau	135
Tabl. 4.2 : Composants (y compris moteurs électriques et thermiques) disponibles dans le Réseau	136
Tabl. 4.3 : Savoir-faire disponible dans le réseau	137
Tabl. 4.4 : Les règles de conception orientées maintenance	140
Tabl. 4.5 : Défaillances rencontrées sur le moulin.....	152
Tabl. 4.6 : liste des acteurs enquêtés	153
Tabl. 4.7 : Rôles des acteurs.....	155

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les sciences de la conception ont beaucoup évolué ces dernières années et constituent aujourd'hui une discipline à part entière. Conscients de l'importance de la démarche de conception elle-même sur l'adéquation du produit conçu au besoin de l'utilisateur final, de nombreux auteurs ont cherché à analyser et comprendre les ressorts de la conception, tant au niveau de l'organisation des acteurs que du rôle individuel de ceux-ci. D'une approche séquentielle où l'on se passe, de spécialiste en spécialiste, le dossier du produit à concevoir jusqu'à sa fabrication, on est passé à une organisation concourante afin de faciliter les retours en arrière et de diminuer les temps de conception par une prise en compte le plus en amont possible des différentes contraintes : objectifs de coût, possibilité de fabrication, recyclage des matériaux, etc.

D'une façon générale, le champ de la conception s'est élargi en cherchant à intégrer de nouveaux métiers qui ne soient pas uniquement ceux rencontrés classiquement dans les bureaux d'études et bureaux des méthodes, et à prendre en compte la "voix de l'utilisateur" (Shiba, Graham et al., 1996). Différents points de vue ont été développés pour servir de fil conducteur à la conception: conception orientée sur le coût du produit (Design To Cost) (Grange, 1996), conception orientée assemblage (Design for assembly) (Boothroyd et Dewhurst, 1986). Plus récemment les impératifs de développement durable et de réutilisation au moins partielle du produit à l'issue de son usage ont également été développés en conception, sous le terme d'éco-conception.

Dans les Pays en développement, encore marqués par une forte ruralité et où l'agriculture reste la première activité économique, les justifications habituelles de l'optimisation de la conception – diminution du coût, diminution des délais de mise en marché et augmentation de la qualité perçue par l'utilisateur – ne sont pas aussi prégnantes; il est intéressant d'avoir une approche de la conception qui soit centrée sur ce qui pose le plus de difficulté lors de l'usage des nouveaux produits introduits dans le milieu. Dans ce contexte les équipements de production agricole et agroalimentaire sont maintenus soit à des coûts de maintenance élevés et difficilement supportables par les utilisateurs soit délaissés par manque

de pièces de rechange. Les problèmes de maintenance constituent donc un frein évident au développement de la mécanisation des opérations faites traditionnellement à la main, mécanisation sans laquelle les niveaux de productivité individuelle restent particulièrement bas.

Cet état de fait provient d'une trop faible prise en compte de la maintenance au moment de la conception du produit ou lors de son déploiement sur le terrain. En effet, la maintenance est liée traditionnellement à deux facteurs, l'un interne correspondant à la maintenabilité intrinsèque de l'équipement reposant sur la conception même de la machine, l'autre externe, correspondant au contexte d'usage et à la capacité technique et organisationnelle de l'utilisateur final (Monchy, 2000).

La maintenance qui peut être prise en compte au moment de la conception intègre elle-même généralement 2 facteurs, l'un lié aux lois d'usure, donc à la fiabilité des composants mis en œuvre dans l'équipement, l'autre aux facilités de montage / démontage des différents sous ensembles de l'équipement. Côté utilisateur, c'est avant tout ses capacités à réaliser des tâches de maintenance de niveau 1 voire de niveau 2 qui devraient être prise en compte. Jusqu'à présent dans les Pays d'Afrique de l'Ouest (PAO), l'intégration de la maintenance dans les phases de conception ne bénéficie que de très peu d'approche méthodologique spécifique, et même dans les pays industrialisés, le centrage de la conception sur la maintenance reste peu étudié en dehors de secteurs particuliers.

Enfin il faut noter que les concepts de la maintenance ont tous été développés dans les pays industrialisés pour la production à grande échelle de biens de consommation (automobile, électronique et télécommunication), et dans des secteurs où la fiabilité était indispensable (secteur militaire et secteur aéronautique). Le cas des petites entreprises de transformation n'a que rarement été pris en compte, ce qui se traduit par des outils souvent très lourds à mettre en œuvre dans ces contextes. Ce type d'entreprise reste pourtant la base des entreprises des Pays du Sud dans le monde agricole et agroalimentaire.

L'objectif de la thèse sera donc de proposer et de valider de nouveaux outils permettant de développer une démarche de conception orientée maintenance à partir du terrain burkinabé. La notion de maintenance n'existe pas comme en Europe et reste à être caractérisée. Il faudra également caractériser l'environnement technico-économique de la maintenance et les pratiques de maintenance des utilisateurs des PAO. Ce travail vise indirectement à renforcer un développement durable du secteur de la transformation en proposant des équipements

faciles à réparer à un coût satisfaisant pour l'utilisateur. Ceci répond également à un objectif de lutte contre la pauvreté par la création d'emploi, l'intégration sociale et la croissance de l'économie locale. Notre recherche porte sur l'intégration de la maintenance dans la conception des équipements destinés à la petite entreprise de transformation agroalimentaire en Afrique de l'ouest. La figure 1 ci-dessous résume la démarche méthodologique utilisée.

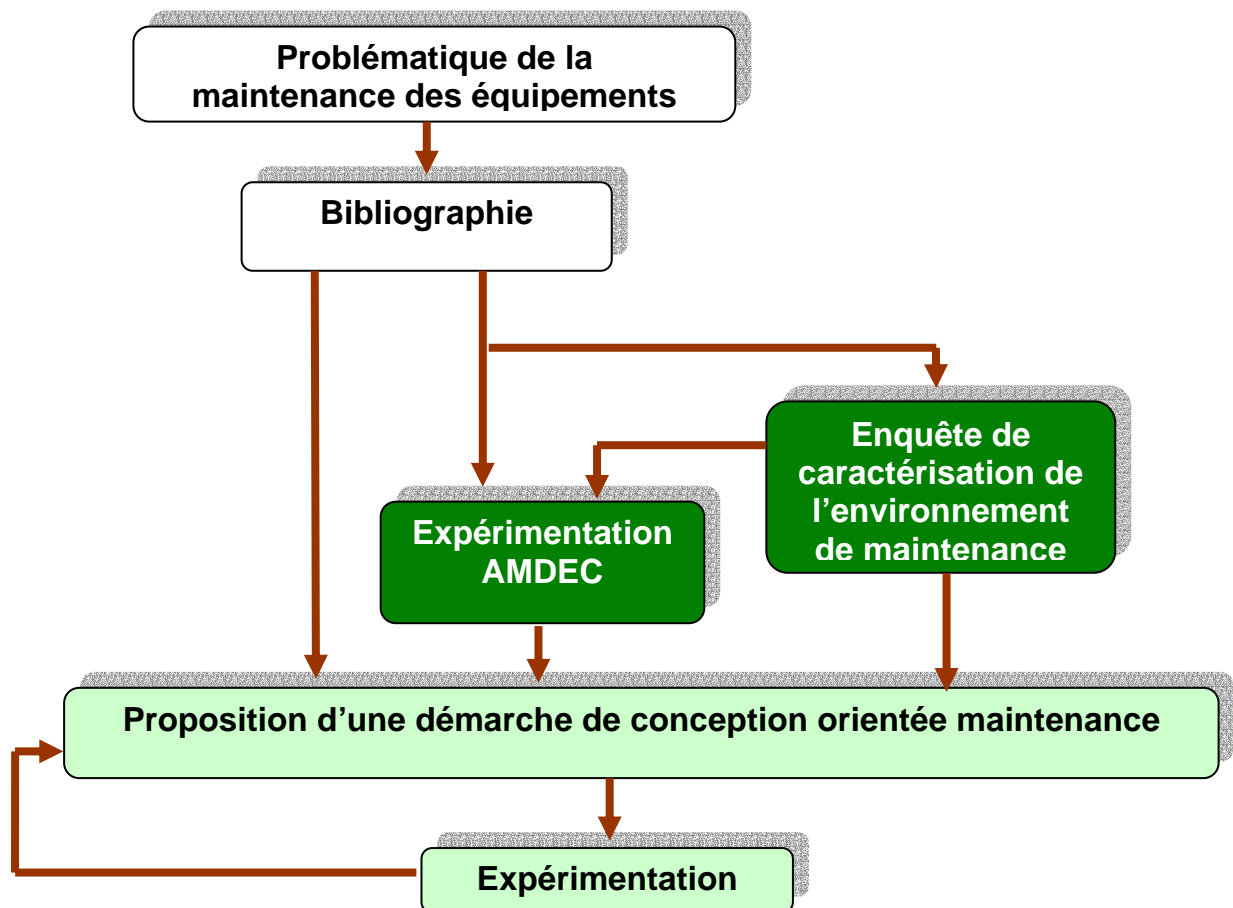


Fig. 1 : Démarche d'élaboration d'une méthode de conception orientée maintenance pour les équipements dans les PAO

Cette démarche permettra d'une part d'analyser les pratiques de maintenance dans les PAO au regard de la bibliographie et d'étudier son intégration dans la conception, et d'autre part de proposer et expérimenter une démarche de conception orientée maintenance. Le plan de la thèse se présente comme suit :

Dans le chapitre I, nous présenterons les contraintes que représente l'environnement social, technique, économique et financier vis-à-vis de la maintenance des équipements dans les petites unités de transformation.

Dans le chapitre II, nous interrogerons les concepts et outils déjà développés dans les Pays du Nord (PdN) pour intégrer la maintenance dans la conception. Ils seront positionnés par rapport au contexte des PAO. Les plus pertinents comme le DFX, le réseau d'acteurs, la méthode CESAM seront utilisés pour constituer un corpus nécessaire à l'élaboration de la proposition. Ce chapitre se terminera sur la problématique de la thèse.

Dans le chapitre III, les pratiques de maintenance dans les petites unités de transformation seront caractérisées. Un modèle d'analyse basé sur le concept de réseau d'acteurs sera proposé. Une expérimentation de la méthode AMDEC avec les acteurs d'un réseau de maintenance viendra compléter l'analyse des pratiques.

Dans le chapitre IV, nous rassemblerons toutes les connaissances notamment sur le DFX, la méthode CESAM, les résultats des travaux de terrain, le modèle de réseau de maintenance, les analyses sur les pratiques de maintenance pour proposer des outils de conception orientés maintenance tel que le réseau de maintenance, les règles de conception et une démarche de conception orientée maintenance qui fera l'objet d'une expérimentation dans un projet de conception et permettra de commencer la validation des outils proposés

Pour conclure nous ferons une synthèse de nos travaux en soulignant les contributions principales et en dégagant des perspectives dans le champ de recherche développé.

CHAPITRE I

PROBLÉMATIQUE DE LA MAINTENANCE DES EQUIPEMENTS EN AFRIQUE DE L'OUEST

I. Introduction

En Afrique de l'Ouest les problèmes posés par la maintenance du petit matériel agricole et agroalimentaire occasionnent des pertes d'argent considérables. En effet, d'après Starkey (1985) des équipements de valeur sont abandonnés pour des problèmes mineurs de maintenance. De Groot (1995) précise que les pertes d'argent liées au dysfonctionnement de la maintenance sont estimées au niveau macro-économique de 1 à 3 % du PNB et se traduisent par un besoin exagéré en pièces de rechange, un remplacement précoce d'équipements et l'importation accrue de biens dans le souci de réduire l'indisponibilité anormale des équipements. Fall (1990) justifie les difficultés de maintenance des équipements en évoquant l'insuffisance des compétences professionnelles du personnel en charge de la maintenance, le coût élevé des pièces de rechange pour l'utilisateur, la concentration dans les grandes villes de moyens lourds de maintenance. Ceci est toujours d'actualité et peut provenir d'une trop faible prise en compte dans les Pays d'Afrique de l'Ouest (PAO) de la maintenance des équipements lors de leur conception; cela peut s'expliquer lorsque la conception n'est pas faite en Afrique de l'Ouest; par contre cela devrait systématiquement se faire s'il s'agit d'une conception locale. En effet à la fin de la phase de définition d'un équipement, 65 % de son coût d'exploitation est déjà déterminé (Pimor, 2001) et c'est donc dès la conception qu'il faut intégrer la maintenance ultérieure de celui-ci. Depuis une dizaine d'années les équipes de conception de pays d'Afrique de l'Ouest ont pris conscience de la nécessité de structurer les démarches de conception mais cette vision des choses reste à développer (Giroux, 2000).

Les entreprises ne bénéficient pas d'assurance en cas d'accident ou de difficultés particulières (Marouzé, 1999; Chaze et Traoré, 2000) et cela ne permet pas de faire des prévisions budgétaires ; les «équipements subissent la maintenance ». Le contexte y est pour

beaucoup : d'une manière générale, toutes les petites entreprises de pays d'Afrique de l'Ouest connaissent un environnement économique et social contraignant dont les spécificités sont :

- Les petites entreprises sont dans le secteur informel et ne déclarent pas leurs revenus, ce qui rend difficile toute action des pouvoirs publics en leur faveur ;
- Les petites entreprises ne font pas de prévision budgétaire ;
- Le marché commercial est étroit : la dynamique du marché dépend souvent des financements extérieurs apportés par les bailleurs de fonds et les projets de développement ;
- l'accès au crédit est très limité ;
- la traçabilité des flux de gestion est absente ;
- le pouvoir d'achat est faible ;
- le suivi institutionnel des normes est très insuffisant ;
- les moyens de transport et de communication sont peu développés ;
- les coûts de l'énergie (électricité, carburant), du transport et des communications ne sont pas à la portée des petites entreprises ;
- les taxes douanières constituent une barrière à la croissance des entreprises.

Dans ce chapitre il s'agira de présenter le contexte des équipements agroalimentaires d'un point de vue utilisation, fabrication, conception et maintenance en Afrique de l'Ouest.

II. Les entreprises de transformation agroalimentaire en Afrique de l'Ouest

1. Les types d'entreprises et leurs modes de gestion

Une entreprise est définie selon Le Petit Robert comme étant une *organisation de production de biens ou de services à caractère commercial*. La réalité du terrain économique aussi bien en Afrique qu'ailleurs montre qu'il existe différents types d'entreprises allant des grandes firmes multinationales aux micro entreprises en passant par les petites et les moyennes entreprises. Le critère le plus utilisé officiellement pour la typologie des entreprises est le nombre de salariés déclarés à la caisse de sécurité nationale (Bressy et Konkuyt, 2004). Il donne une idée de la taille de l'entreprise : les micro-entreprises sans salarié, les Toutes

Petites Entreprises (T.P.E) comprennent de 1 à 9 salariés, les Petites Entreprises (P.E) emploient de 10 à 49 salariés et les Moyennes Entreprises (M.E) comptent de 50 à plusieurs centaines de salariés. Une étude réalisée par la Banque Ouest Africaine de Développement (BOAD) en 2003 dans le cadre d'une définition de politique de promotion et de financement de la petite entreprise dans l'Union Economique et Monétaire Ouest Africaine (UEMOA) propose en plus le critère du chiffre d'affaires annuel (Anon., 2003a).

Ces deux critères ne sont pas applicables pour des entreprises évoluant dans le secteur informel : les employés ne sont pas déclarés à la caisse de sécurité sociale et la seule donnée connue par le propriétaire est le nombre d'employés. Le chiffre d'affaires est difficile à apprécier parce qu'il manque d'un suivi rigoureux de la comptabilité (non déclaration des revenus et traçabilité peu rigoureuse des mouvements de trésorerie). Un autre critère souvent utilisé est la valeur immobilière qui mesure l'investissement mis en œuvre pour l'activité qui est aussi difficile à évaluer : au Burkina par exemple 65 % des entreprises de transformation agroalimentaire sont installées au sein de la concession familiale (Rivier, Medha et al., 2003) et les moyens de production peuvent provenir de dons des ONG ou de projets de développement. Les critères quantitatifs sont difficiles à apprécier dans ce contexte et ne semblent pas pertinents pour les entreprises du secteur informel. Pour cette raison, nous proposons sur la base des travaux déjà réalisés sur la caractérisation des entreprises et du contexte socioéconomique (Chaze et Traoré, 2000; Diawara, 2003), la typologie indiquée au tableau 1.1 pour caractériser l'entreprise agroalimentaire en Afrique de l'Ouest, en y ajoutant un critère relatif à la maintenance. Cette typologie ne concerne pas les grandes entreprises dont la gestion et l'organisation sont très proches de celles des grandes entreprises des pays industrialisés.

Tabl. 1.1 : Typologie des entreprises de transformation agroalimentaire

Types d'entreprises Critères	Micro Entreprises	Très Petites Entreprises (TPE)	Petites Entreprises (PE)	Moyennes Entreprises (ME)
Financier - Investissement de départ - Fonds de roulement	Pas de besoin de capital, pas de fonds de roulement	Petit fonds de roulement de départ (énergie, achat de matières premières, loyer)	Capital faible Fonds de roulement assez important (stocks, matières premières, salaires, énergie, besoin de renouvellement de petit matériel)	Capital important (local, équipement) et fonds de roulement parfois important (équipement, matières premières, énergie, salaires etc.) Souvent les ME ont un pouvoir sur les fournisseurs plus important que les PE ou TPE qui doivent payer cash leurs fournitures.
Matériel de production	Matériel manuel Exemple : ustensiles de cuisines (seau, bassine, pilon, mortier)	Equipements de production manuelle dominants, éventuellement un équipement mécanisé	Equipements de production mécanisée avec énergie externe	Equipements de production en ligne ou en chaîne spécialisée
Moyens de maintenance Compétence du personnel	Aucune compétence particulière : nettoyage	Aucune compétence particulière : nettoyage, graissage	Apprentissage sur le tas : diagnostic, remplacement de composants simples (roulements, paliers, arbres)	Niveau avancé : qualifié, spécialisé, apprentissage sur le tas : modification ou fabrication de pièces de rechange
Matériel	Matériel de nettoyage : brosses, éponges	Dispose de quelques outils de réparation, maintenance sous-traitée	Outillage de réparation élémentaire, clés... maintenance en partie sous- traitée	Matériel spécialisé : poste à souder, machines outils
Stock de pièces de rechange	Pas de stock	Pas de stock	Pas de stock	Possibilité de stock de composants : roulements, courroies, arbres, grilles

Les entreprises (Micro entreprises, TPE, PE) ont une gestion de type familial c'est à dire que les revenus de l'activité de transformation agroalimentaire servent autant à faire face aux besoins de la famille qu'à ceux de l'entreprise : cette gestion est la forme la plus répandue parmi les petites entreprises. Elles sont dotées parfois d'un statut juridique d'entreprise individuelle (enregistrées au registre du commerce et des sociétés). La gestion des ME est également de type familial mais le statut juridique varie de l'entreprise individuelle à celui de la Société à Responsabilité Limitée (SARL).

Des entreprises (TPE, PE, ME) de transformation agroalimentaire sont aussi basées sur le principe de l'économie sociale organisées en groupements « féminins », en coopératives ou en associations. Elles possèdent des référentiels juridiques clairs (récépissé de reconnaissance officielle, statut, règlement intérieur) mais en réalité, la gestion est aussi de type familial.

Les Micro entreprises, TPE, PE évoluant dans le secteur informel ont difficilement accès au crédit à cause de la complexité des procédures bancaires. Il faut avoir un statut légal et une garantie suffisante pour ne pas présenter un risque pour les institutions bancaires.

Les Institutions de Micro Finance (IMF) émergent vers 1990 dans les Pays d'Afrique de l'Ouest et proposent des micro crédits (prêts à taux relativement faible et délai de remboursement court) adaptés pour le financement du secteur de l'entreprise informelle. Au Sénégal, le plafond de crédit est de 22 500 euros pour un délai maximum de remboursement de 18 mois (Creusot, 2000). Mais le taux de pénétration des IMF reste faible au Sénégal (Barro, 2005) et même ailleurs dans d'autres Pays d'Afrique de l'Ouest. Par exemple, 5 % des petites entreprises seulement bénéficient réellement de ce financement à Madagascar (Gubert et Roubaud, 2003).

Les investissements sont souvent réalisés grâce aux tontines ou à de prêts contractés auprès d'amis ou de membres de la famille. Les tontines sont « une association rotative d'épargne et de crédit ». Les tontines jouent un rôle majeur dans la création des entreprises au Cameroun : Chaze et Traoré (2000) rapportent que la somme cotisée par des hommes d'affaires varie de 225 Euros à plusieurs milliers d'euros par mois. Au Congo, 59 % des petites entreprises de transformation de manioc ont déclaré avoir financé leur activité grâce au système des tontines (Bazabana, 1995).

Ce système de financement informel a l'avantage d'être rapide et il construit des réseaux de relations sociales propices à la survie de l'activité. Comme l'a souligné Bazabana

(1995), « *ce mode d'organisation est très ancien dans les sociétés africaines et c'est pour cela qu'il est répandu dans toutes les couches de la population* ».

2. Activités et moyens de production

Les produits issus de la transformation des produits des filières céréales, tubercules, oléagineux, fruits, viande, poisson et lait constituent la base de la consommation des populations en Afrique de l'Ouest. L'apport énergétique provient essentiellement de la consommation des céréales (73% au Mali et 71 % au Niger en 1994) pour les pays sahéliens et des tubercules (45 % au Gabon) pour les pays de la zone tropicale humide. Au Burkina Faso, la consommation moyenne de céréales par habitant et par an est estimée à 190 kilogrammes (Anon., 2001). Les autres produits (oléagineux, fruits, viande,...) viennent en complément (Anon., 2006c). La demande en produits transformés bon marché est forte à cause de la faiblesse du pouvoir d'achat des populations et suscite une prolifération de micro entreprises et l'émergence de TPE, PE, ME.

Les procédés mécanisés de transformation sont principalement le décorticage et la mouture des céréales (mil, sorgho, maïs, riz), le séchage des fruits (mangue, papaye) et légumes, l'extraction de l'huile par pressage des graines ou fruits d'oléagineux et le râpage des tubercules (manioc). Les principales opérations de transformation sont classées habituellement en plusieurs étapes : la préparation du produit (tri, nettoyage), la première transformation (décorticage, dégermage, mouture...) et la seconde transformation (élaboration de produits alimentaires spécifiques prêts à la consommation). Les opérations de première transformation sont les plus mécanisées. Chaque opération est réalisée grâce à du matériel spécifique allant des ustensiles de cuisine rudimentaires (bassines, tamis, fourneaux, seaux...) aux petits équipements simples ayant le plus souvent une seule fonction, manuels ou motorisés.

En Afrique de l'Ouest, les micro entreprises cuisinent et vendent des plats alimentaires (beignets de mil, d'arachide grillé...) dans la rue ou dans une concession familiale. Les groupements féminins (TPE, PE) fabriquent du soubala à partir de la graine de néré, du gari de manioc, des farines ou des produits roulés à base de céréales locales, du fonio précuit, du beurre de karité à partir d'amandes de karité, etc. Les opérations de décorticage, de mouture, d'extraction d'huile sont souvent réalisées par des TPE et des PE installées en milieu urbain ou semi urbain, sous forme de prestation de service : le client apporte au "meunier" la quantité de céréales correspondant au repas familial de la journée et s'acquitte du coût de la prestation.

Au Burkina, les pratiques de transformation restent majoritairement manuelles ; les principales opérations mécanisées sont le décortilage, le broyage et le séchage réalisés en prestation (Rivier, Medha et al., 2003).

Les ME utilisant des équipements de grande capacité ou plusieurs équipements de petite capacité, commercialisent leurs produits à l'échelle nationale ou sous régionale : plus d'une centaine de transformateurs de graines de coton existent aujourd'hui au Burkina et utilisent des presses motorisées. La trituration au stade semi-industriel de la graine de coton est en pleine croissance au Burkina Faso : ces entreprises peuvent transformer plus de 40 tonnes de graines de coton par jour en huile et en tourteau qui sert d'aliment pour le bétail (Ouédraogo, Yaméogo et al., 2003).

Les principaux équipements diffusés à plusieurs milliers d'exemplaires sont les décortiqueurs (voir photo. 1.1) et les moulins (Voir photo. 1.2) en Afrique sahélienne. Les râpes (Voir photo. 1.3) sont répandues dans les pays tropicaux humides à cause de la culture du manioc. Les séchoirs et les presses sont répartis dans tous les pays. Le décortiqueur introduit en Afrique de l'Ouest dans les années soixante dix (Marouzé, Kouakou et al., 1997) utilisant le principe Engelberg de friction mécanique entre un cylindre nervuré et une coquille munie d'une lame frein de détacher de la graine de l'enveloppe. Le moulin a été introduit un peu avant et permet grâce à un procédé d'écrasement et de cisaillement entre deux meules ou de projection sur une grille de broyer les graines pour produire une farine plus ou moins fine. Progressivement, depuis une vingtaine d'années, d'autres équipements ont été introduits : il existe plusieurs types de presses (Voir photo. 1.4) mais les plus répandues sont les presses à extraction d'huile par pressage mécanique à vis sans fin.



Photo. 1.1 : Burkina Faso,
Décortiqueur Engelber



Photo. 1.2 : Burkina Faso
Moulin à céréales utilisé en prestation de service



Photo. 1.3 : Bénin,
Râpe de manioc



Photo. 1.4 : Burkina Faso,
Presse à graine de coton motorisée

La râpe à manioc permet grâce à un tambour en rotation revêtu d'une tôle avec des aspérités de dilacérer les tubercules de manioc préalablement épluchés. Elle est souvent utilisée par des groupements féminins. Le séchoir à gaz est un équipement introduit au Burkina Faso par les projets de développement depuis plus d'une quinzaine d'années pour améliorer le séchage des produits agricoles, séchage qui permet de les conserver. Cet équipement a été diffusé pour le séchage des mangues, en particulier pour l'exportation. Il est aussi utilisé pour d'autres fruits, les légumes et même les produits roulés à base de céréales locales.

Les équipements motorisés enregistrent plus de pannes que les autres équipements à cause de l'usure des pièces en mouvement. Les équipements manuels s'usent moins car les efforts sur les pièces et les vitesses sont moindres, les puissances mises en jeu étant beaucoup plus faibles.

La main d'œuvre des entreprises est constituée de permanents (souvent non déclarés à la caisse de sécurité sociale), de journaliers et d'apprentis c'est-à-dire de personnel non payé en contrepartie de la formation sur le tas. Les journaliers encore appelés "saisonniers" sont souvent aussi nombreux voir plus que les permanents : ce sont des ouvriers recrutés pour répondre à une demande ou à un besoin ponctuel par exemple en période de pics de production. Ils n'ont aucune qualification professionnelle et ont un faible niveau scolaire pour accomplir des tâches qui ne nécessitent d'ailleurs aucune technicité particulière. Au Burkina Faso le nombre total de journées d'embauche par entreprise et par an, va de dix jours à cent soixante jours en fonction de la taille de l'unité de transformation ou de l'importance des commandes (Rivier, Medha et al., 2003). Le niveau de formation scolaire des opérateurs (utilisateurs d'équipements) est en moyenne très bas et va d'une totale absence de formation à celui du niveau "primaire".

III. Conception et fabrication traditionnelles des équipements en Afrique de l'Ouest

1. Les concepteurs

La conception locale des équipements est portée par des structures de recherche ou de formation. Les équipes de recherche respectives réunissent plus ou moins les disciplines suivantes; fabrication mécanique, génie des procédés, science des aliments et socio-économie mais le mécanicien est souvent le seul décideur. Les différentes compétences mobilisées ne coopèrent pas entre elles malgré l'intérêt d'une approche pluridisciplinaire, les différentes disciplines interviennent de façon successive dans le projet de conception (Bassey et Schmidt, 1990): les socio-économistes réalisent l'analyse du besoin, ensuite les mécaniciens répondent au besoin perçu en réalisant un prototype et enfin ce prototype est testé par les technologues alimentaires, puis mis en situation réelle auprès des utilisateurs potentiels. Les besoins de l'utilisateur sont confrontés aux fonctions du prototype quand les essais paraissent satisfaisants, démarche qui occasionne de nombreux retours en arrière, reposant sur une démarche de type « essai-erreur ». Au début de l'étude, les besoins identifiés par une seule personne sont souvent diffus et mal compris. Cette démarche de conception est séquentielle et peu ou pas structurée (Giroux, Gueye et al., 1999) (Fig. 1.1).

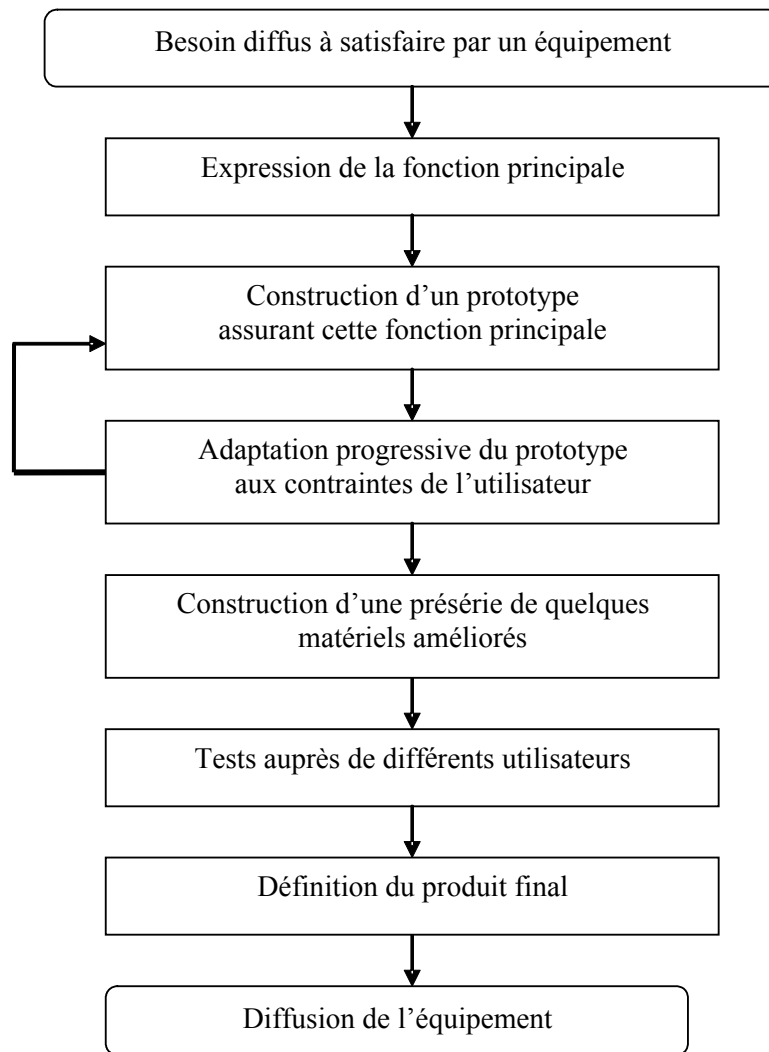


Fig. 1.1 : Processus de conception traditionnelle (Giroux, Gueye et al., 1999)

Cette démarche de conception est très longue à cause des nombreux bouclages nécessaires pour adapter les différents prototypes à la réalisation de la fonction principale puis au besoin réel des utilisateurs. Elle est donc inadaptée dans des pays ayant peu de ressources car elle est coûteuse. Lors d'une étude réalisée au Sénégal en 1999 (Giroux, Gueye et al., 1999) relative à 5 projets de conception de nouveaux équipements ayant abouti à des équipements diffusables, la durée de conception de 3 d'entre eux s'étale sur une période de 5 à 9 ans, rendant inadéquat le produit conçu par rapport au marché visé au départ de l'étude, marché ayant évolué entre temps.

Malgré la présence croissante d'outils de conception assistée par ordinateur dans les universités et dans les centres de recherche, la conception d'équipements menée dans ces institutions conduit rarement à des produits commercialisables. Ces institutions n'utilisent pas de démarche de conception structurée (simultané, pluridisciplinaire).

2. Equipementiers

On distingue plusieurs types d'équipementiers : les fabricants mécaniciens, les soudeurs et les forgerons.

2.1. Les fabricants

Il y a deux catégories de fabricants mécaniciens : les fabricants industriels et les fabricants pré-industriels. Ils utilisent les mêmes moyens de production, machines outils conventionnelles et matériels courants de chaudronnerie.

Les fabricants industriels sont des unités de fabrication industrielles, publiques ou privées, financées par la coopération internationale (Starkey, 1994; Le Thiec, 1996) et initialement créées pour diffuser du matériel agricole de traction animale et d'hydraulique villageoise (charrues, charrettes, semoirs, pompes, etc.). La production est semi-industrielle (petites séries estimées à 1000 unités / an). Ces ateliers assurent la fourniture des pièces de rechange. Ces unités peuvent parfois avoir en leur sein des équipes de conception constituées de techniciens et d'ingénieurs mécaniciens, mais la principale activité est la production d'équipements déjà vulgarisés. Selon les opportunités du marché, ils produisent d'autres équipements (moulins, décortiqueur) pour des projets spécifiques de développement ou des ONG et les pièces de rechange pour les revendeurs de composants. La matière d'œuvre utilisée est importée (Marouzé, 1999). Ils n'assurent pas eux-mêmes la réparation des éléments des équipements. Ces entreprises appartiennent au secteur formel.

Cette description correspond à la situation des années 80 mais ne reflète plus tellement la situation actuelle car le plus souvent certains fabricants n'existent plus pour des raisons économiques et d'autres se sont reconvertis pour la fabrication de produits industriels; par exemple la Société Industrielle Sahélienne de Matériel Agricole et de Représentation (SISMAR) au Sénégal fabrique aujourd'hui des bennes, des mobiliers scolaires, etc.

Les fabricants pré-industriels sont souvent issus du secteur artisanal. Ils ont souvent le statut de société (SARL) même si la gestion reste familiale ; l'activité principale consiste à fabriquer et réparer des équipements agricoles et industriels. Ils fabriquent aussi des pièces de rechange à la demande. Le matériel livré est souvent garanti quant il s'agit d'une commande groupée. Ils sont prêts sur demande à assurer l'entretien et la réparation avec déplacement chez l'utilisateur. La qualité de leur fabrication est suffisante pour leur permettre de répondre aux importants marchés de développement financés par les bailleurs de fonds (Marouzé, 1999). Ils montent systématiquement des composants neufs sur les équipements fabriqués. Cependant, le volume de production ne leur permet pas économiquement d'importer de la matière d'œuvre pour la fabrication et ils préfèrent utiliser la matière d'oeuvre achetée chez les commerçants ou de récupération beaucoup plus abordable. En Afrique de l'ouest, d'après Azouma (2005), il semblerait que le Mali et le Ghana disposent d'un marché fourni en matière d'oeuvre de récupération. Le personnel est composé de permanents et d'apprentis, la société est dirigée par un technicien ou un ingénieur mécanicien.

2.2. Les soudeurs

Chez les soudeurs ou les artisans métalliers, le promoteur est généralement un soudeur ou un mécanicien. Il est assisté par des apprentis et quelques ouvriers rémunérés (Azouma, 2005) et installé généralement en zone urbaine. Son activité principale est la fabrication de matériel de construction (portes, fenêtres, portails, panneaux d'affichage). Il fabrique aussi des équipements agricoles (charrues, charrettes, socs...) et des équipements de transformation (moulins, décortiqueurs) mais en nombre limité et à la demande. Il a généralement comme moyens de production du matériel de fabrication métallique : postes à souder, enclumes, petite perceuse...

Il répare et fabrique des pièces en mécano soudure quand il est sollicité et les travaux d'usinage sont sous-traités. Les matériaux de construction métallique (cornière, fer en U, tôle noire,...) et les matériaux de récupération sont les matières d'œuvre de base. Il assure l'entretien de tout type de petits matériels.

2.3. Les forgerons

Les forgerons fabriquent des pièces forgées avec des moyens de production constitués d'enclumes importées (65 kg), d'étau de forge à queue, de jeu de poinçons et de gabarits de découpe. Quelques uns ont un poste à soudure (Marouzé, 1999). Ils fabriquent du matériel

agricole à traction animale (charrues) et les pièces détachées (socs). Au Burkina, un millier de forgerons qualifiés formés par des centres professionnels (Centre d'Evaluation et de Formation Professionnelle) assurent la maintenance et la réparation des équipements agricoles aux paysans burkinabés avec lesquels ils entretiennent des relations de proximité (Ouattara et Ouedraogo, 1999). Ils sont généralement installés dans les zones rurales. Les forgerons possédant un poste à souder et sont qualifiés de "forgerons soudeurs" (Tchinda, 2000). Le matériel fourni est suivi d'une garantie verbale fondée sur le respect de la parole. Ils œuvrent tous dans l'informel et même si quelques associations de soudeurs sont recensées, celles-ci disposent de très peu de moyens.

La fabrication dans les Pays d'Afrique de l'Ouest est caractérisée par la mécano soudure et la forge traditionnelle. Dans les zones urbaines les pièces peuvent être usinées avec des machines outils conventionnelles (tour, perceuse, fraiseuse...). Les techniques de moulage sont maîtrisées mais peu répandues. La soudure en inox n'est pas souvent maîtrisée. La fabrication des équipements avec des matériaux et composants de récupération est économiquement intéressante mais la fiabilité des pièces est loin d'être maîtrisée. D'une manière générale en Afrique de l'Ouest, les équipements fabriqués sont des copies de modèles importés, adaptées à la fabrication locale et au pouvoir d'achat des utilisateurs. La reproduction d'équipements est fonction des matériaux, des composants et des moyens de fabrication disponibles. Les pièces fabriquées localement ne sont pas toujours interchangeables pour le matériel motorisé. La qualité des approvisionnements et du savoir faire est plus déterminante pour la performance des pièces fabriquées que les techniques de fabrication qui restent basiques (Marouzé, 1999).

IV. Pratiques de maintenance dans les entreprises de transformation agroalimentaire en Afrique de l'Ouest

1. La maintenance des équipements de production

Une étude menée au Nigeria par Adebisi, Ojediran *et al.* (2004) sur 40 grandes entreprises agroalimentaires (laiterie, abattoir, brasserie, confiserie) dénombre six principaux types de pratiques de maintenance :

La pratique de la révision avec arrêt prolongé après défaillance de la machine est la plus fréquente (24,5 %), ensuite vient la maintenance systématique (23,5 %), la maintenance palliative ou le dépannage (19,5 %), la maintenance de ronde (16,5 %), la maintenance conditionnelle (10 %) et la maintenance curative (7,5 %). La remise en état de fonctionnement après défaillance (révision, palliative et curative) représente 50 % des pratiques contribuant à la maintenance des équipements. Ceci est relativement excessif si on considère qu'un arrêt pendant la production peut détériorer la qualité des produits fabriqués et faire perdre des parts de marché. Dans ces cas le coût indirect par arrêt de la production est souvent très supérieur au coût de la réparation elle-même.

La pratique de la maintenance conditionnelle est faible à cause de l'insuffisance de l'organisation de la maintenance. La difficulté majeure face aux exigences de la maintenance des équipements réside dans l'incompétence du personnel intervenant et le manque de ressources appropriées (humaines, matérielles). C'est dans les entreprises de confiserie que l'on pratique le plus la maintenance préventive à cause de la spécificité des équipements d'un point de vue taux d'utilisation, coût d'investissement des équipements et nature du procédé de fabrication du produit alimentaire. Bien que ces entreprises ne représentent pas vraiment la situation des petites entreprises agroalimentaires d'Afrique de l'Ouest, cette étude est intéressante dans la mesure où elle souligne les lacunes de cette composante majeure de la production.

Au Togo, les transformateurs négligent la maintenance préventive et l'entretien est suivi de divers bricolages... L'utilisateur d'équipements de transformation agroalimentaire dans les Pays d'Afrique de l'Ouest considère l'organisation de la maintenance « *comme une source de dépenses supplémentaires, voire une perte d'argent et ne préfère s'occuper des défaillances et pannes que lorsqu'elles surviennent* » (Azouma, 2005).

Au Burkina Faso, les groupements villageois utilisant des moulins, décortiqueuses et broyeurs, n'assurent pas régulièrement le nettoyage des filtres, le graissage et la lubrification du moteur diesel et cela accentue l'usure des différentes pièces du moteur : vilebrequin, bielle, coussinets, roulements, meules, couteaux, tamis, tambour (DPV, 1999).

Une étude de l'ONUDI menée par Diallo (2000) au sein d'une Société d'Exploitation des Produits Alimentaires (SODEPAL) au Burkina Faso montre que les opérations de graissage des machines qui incombent aux opérateurs sont faites de mémoire à défaut de plannings préétablis.

Au Sénégal, l'utilisation de pièces ou de solutions techniques inadaptées dans les PE occasionne la déformation du rotor des moulins (N'Daw, 1998). En résumé, les équipements subissent le plus souvent une maintenance aléatoire.

Tous ces exemples montrent bien que les entreprises sont encore au stade de pratiques traditionnelles, c'est-à-dire de maintenance corrective, révision, et dépannage. Agunwamba, (2000) a montré qu'au Nigeria malgré les efforts déployés par les industries, la pratique moderne de la maintenance reste insuffisante et ceci est valable pour les autres pays en Afrique de l'Ouest.

Les opérations d'entretien se réalisent sans historique d'enregistrement et sans paramètres permettant de les quantifier. Ceci est vrai même dans d'autres secteurs (Energie, transport, etc.) censés être plus évolués : Eti, Ogaji *et al.* (2004) indiquent que dans les centrales thermiques (Fournisseurs d'électricité) au Nigeria, le coût de maintenance des équipements représente 25 à 30 % des coûts totaux de production parce que les plans de maintenance sont développés sur la base d'historiques de pannes qui ne sont jamais mis à jour. Ces dépenses sont énormes si on considère que les moyennes normales de coût de maintenance varient entre 5 et 10 % du coût de production (Monchy, 2000).

Les conditions de maintenance dans les Pays d'Afrique de l'Ouest occasionnent des coûts élevés de défaillance des équipements dans le secteurs de l'agroalimentaire mais également d'autres secteurs comme l'agriculture : Mahmoud, Amir *et al.* (1999) mettent en évidence les coûts de maintenance et de réparation beaucoup plus élevés des tracteurs dans les Pays d'Afrique que dans les pays du Nord. Un modèle générique de calcul des coûts de réparation et maintenance a été développé par l'ASAE (Anon., 1989), l'« *American Society of Agricultural Engineers* » dont la formule est :

- $Y = a.X^b$ [1.1] avec
- $Y = \%$ coûts moyens cumulés de réparation et de maintenance d'un tracteur par rapport à son prix d'achat
- a et b sont des constantes
- X = Nombre d'heures d'utilisation du tracteur en heures

Mahmoud *et al.* (1999) comparent (Tab. 1.2) les données obtenues au Soudan par rapport à celles mesurées dans des pays industrialisés (USA, Royaume Unis, Irlande).

Tabl. 1.2 : Comparaison des coûts cumulés de réparation et de maintenance des tracteurs rapportés au prix d'achat dans les pays industrialisés et au Soudan.

Sources des données	Y = coûts cumulés de réparation et de maintenance des tracteurs rapportés au prix d'achat en fonction du nombre d'heures de fonctionnement X	
	X1 = 4000 h	X2 = 6000 h
Bower and Hunt (1974), USA	21%	40%
Recommandations mini ASAE (1989), USA	16%	36%
Recommandations maxi ASAE (1989), USA	32%	72%
Morris (1988), Royaume Unis	21%	39%
Ward et al (1981), Irlande	34%	73%
Moyenne des cinq données pays industrialisés	25%	52%
Mahmoud et al. (1999), Soudan	112%	296%
Ratio Soudan / Pays industrialisés	4,5	5,7

Les coûts cumulés de maintenance et de réparation des tracteurs au Soudan, rapportés au prix d'achat, sont respectivement 4,5 à 5,7 fois supérieurs aux mêmes coûts dans les pays industrialisés pour des durées de fonctionnement de 4000 et 6000 heures. Les raisons qui expliquent cet écart relèvent des conditions de maintenance et sont diverses :

- Les pièces d'origines sont excessivement chères ;
- La maintenance préventive est peu pratiquée;

- La lourdeur des procédures administratives des commandes de pièces de rechange augmente l'indisponibilité des tracteurs ;
- La faible compétence des opérateurs et leur manque de motivation parce que leurs salaires sont faibles et leur formation absente ou insuffisante.

Les tracteurs constituent une base intéressante de comparaison, d'une part parce qu'il existe des données, et d'autre part parce que le produit est comparable dans les pays du Nord et du Sud. Les tracteurs du Soudan sont fabriqués dans les pays du Nord et les coûts de transport les rendent normalement plus chers dans les pays non producteurs comme les pays du Sud.

Cette étude met en exergue les surcoûts de la maintenance dans les pays du Sud mais n'est pas totalement représentative des matériels agroalimentaires, équipements souvent fabriqués localement. Les tracteurs sont des matériels spécifiques avec des pièces complexes, difficiles à copier sur place, nécessitant un réseau spécifique d'importation. Mais d'une manière générale, l'approvisionnement, le management de la maintenance et la formation des opérateurs dans les Pays d'Afrique de l'Ouest ne sont pas en phase avec la maintenance recommandée par les constructeurs.

2. L'approvisionnement en pièces de rechange

L'expérience a montré que les moyens de production constitués d'équipements agricoles et de transformation agroalimentaire importés dans les Pays d'Afrique de l'Ouest sont souvent indisponibles par manque de pièces de rechange ou d'entretien (Betzwar et Karlsson, 1987). De Groot (1990) explique que 90 % des équipements importés sont acquis sous forme de dons ou dans le cadre de projets de coopération Nord- Sud et ne prennent pas en compte le contexte d'utilisation. Selon lui les bailleurs de fonds exigent et encouragent la politique de l'appel d'offres basé sur le moins disant, ce qui contraint les fournisseurs à ne pas prendre en compte les conditions d'exploitation des matériels avec mise en place d'un service après vente, indispensable pour la maintenance des équipements. Une étude de l'ONUDI indique que 3/4 des équipements dans les pays africains sont dans un état défectueux par manque de pièces de rechange ou par manque d'entretien (Anon., 1996). Au Burkina Faso par exemple, le Ministère de l'Agriculture, de l'Hydraulique et des Ressources Halieutiques dans le cadre des politiques sectorielles, montre que l'accès aux pièces de rechange des équipements importés en cas de pannes reste difficile dans le cas des petites entreprises

utilisant des fours, des concasseurs, des torréfacteurs, des presses et des moulins : soit la pièce coûte cher pour l'utilisateur soit elle n'est pas disponible (Anon., 2003b).

Les difficultés d'approvisionnement en Afrique sont multipliées par les barrières douanières et les taxes trop élevées à l'importation (20 à 30%) (Starkey, 1994; Havard et Mazot, 1995; Spinelli, 1996). Au Burkina Faso, seul quelques importateurs (HAGE MATERIAUX, SOFRAF, SOMAC, etc.) assurent l'essentiel de l'approvisionnement en matériaux de fabrication métallique et de génie civil, l'offre en matériaux d'usinage étant faible ou souvent indisponible (Son, 2004). Malheureusement les pièces vitales des équipements de transformations sont très souvent obtenues par des procédés d'usinage. Selon Ogier (1989) ces difficultés encouragent le bricolage et l'utilisation de matière d'œuvre de récupération pour la fabrication des nouveaux équipements et des pièces de rechange. Les pièces de fabrication locale présentent l'inconvénient d'une faible résistance à l'usure par rapport aux pièces d'origine, sans qu'il soit possible d'en évaluer la fiabilité. Au Burkina Faso, une étude de la Chambre de Commerce d'Industrie et de l'Artisanat (CCIA) en 2003 souligne des pannes (usures et ruptures) trop fréquentes de pièces pour les équipements fabriqués localement, bien que ceux-ci répondent bien en termes de coût d'achat à la demande des utilisateurs (Ouédraogo, Yaméogo et al., 2003).

Localement l'approvisionnement se fait auprès de revendeurs ou de commerçants. La matière d'œuvre de récupération est composée de pièces de véhicules (lames de ressort, ressorts en spirale, paliers, roulements, etc...), de camions (arbres, tiges de vérin) ou d'équipements industriels... Dans ce cas, ces pièces sont souvent surdimensionnées au niveau de leur résistance par rapport à leur nouvelle utilisation. Sont également récupérées des pièces de construction métallique ou de génie civil (tôles, cornières, fers ronds). Les vendeurs de composants fournissent des composants neufs (roulements, paliers, boulons) ou de récupération. L'approvisionnement en pièces de rechange dépend des vendeurs et du savoir-faire du fabricant. Ces acteurs constituent le réseau de commercialisation des pièces de rechange (N'Daw, 1998; Marouzé, 1999).

3. La réparation des équipements

Les fabricants assurent la réparation des équipements industriels, agricoles ou agroalimentaires à la demande. Ils fournissent également les pièces de rechange. Ils sont concentrés dans les zones urbaines (Fall, 1990) pour se rapprocher d'avantage du marché de

l'offre constitué par d'autres secteurs de l'industrie comme les mines, le bâtiment ou même la marine dans le cas du Sénégal.

Quant aux soudeurs et les forgerons au Mali, au Burkina Faso et ailleurs en Afrique de l'Ouest ils assurent l'entretien de proximité (Ouattara, 1998) des moulins, des motopompes et des tracteurs (Le Thiec, 1996). Au Mali et au Niger des forgerons ont même été formés pour la maintenance de la batteuse VOTEX Ricefan. Ils sont dotés de motos pour leur permettre d'assurer la maintenance dans les zones isolées. La conception de cette batteuse se base sur l'interchangeabilité des pièces pour faciliter la maintenance : contre-batteur et batteur sont fabriqués sur place (Heijboer, 1990). Mais il arrive que ces artisans fassent du bricolage sur les équipements par faute de moyens adéquats de réparation.

Une autre catégorie de réparateurs concerne les électriciens qui assurent l'installation et l'entretien des moteurs électriques; le rebobinage des moteurs électriques est fréquemment rencontré dans des petits ateliers de quartier. La réparation des moteurs thermiques est assurée par des garagistes automobiles non spécialisés sur les moteurs monocylindriques que l'on trouve le plus souvent sur les petits équipements agroalimentaires (N'Daw, 1998).

V. Conclusion

Le marché des équipements reste étroit, ce qui freine la conception locale et la diffusion de nouveaux équipements. La quasi-totalité des entreprises de transformation agroalimentaire sont dans le secteur informel, il leur est donc difficile d'obtenir des financements. Il n'y a pas de prévision budgétaire, indispensable pour asseoir une politique de maintenance. Leurs moyens sont limités et les contraintes économiques sont d'autant plus fortes qu'ils doivent fournir des produits alimentaires bon marché.

La diversité des équipements importés ne facilite pas leur maintenance car le nombre d'exemplaires par modèle est faible. Il n'est pas possible d'assurer des stocks pour l'approvisionnement en pièces détachées. Depuis une ou deux décennies, beaucoup de ces modèles importés ont été copiés pour être adaptés aux conditions locales. C'est la base du développement du secteur équipementier.

En Afrique de l'Ouest, les modifications des équipements permettent une adaptation :

- Aux pratiques de maintenance traditionnelles (maintenance corrective, révisions) car les conditions d'utilisation et de maintien sont sévères ;
- A la disponibilité des composants et à la préférence des utilisateurs pour les pièces bon marché car le faible pouvoir d'achat des utilisateurs est fortement limitant ;
- Aux pièces fabriquées par des machines outils conventionnelles, chaudronnerie, usinage et parfois fonderie par moulage. Les moyens de fabrication et les savoir-faire sont peu diversifiés et ne permettent pas l'utilisation d'une grande diversité de modes de fabrication comme dans les pays du Nord ;
- Aux matériaux de récupération dont la qualité et la fiabilité ne sont pas connues. La fiabilité des pièces de récupération et leur résistance à l'usure sont aléatoires mais cette utilisation de matériaux est souvent la seule « économiquement » possible car permettant la fourniture de pièces bon marché.

Cette fabrication locale ne contribue pas à la standardisation des pièces et des composants. Chaque pays, chaque équipementier développe son propre modèle et même, les pièces d'un modèle d'un même fabricant ne sont le plus souvent pas interchangeables.

Les solutions techniques utilisées pour la fabrication des équipements évoluent en fonction de la maintenance dans cet environnement mais elles sont, le plus souvent, effectuées sans étude au préalable et cela détériore les performances techniques (rendements, qualité des produits alimentaires) des équipements. La durée de vie des composants s'en trouve réduite.

Enfin, la réparation d'un équipement et l'approvisionnement en pièces de rechange sont effectués par de nombreux acteurs : transformateurs, fabricants, soudeurs, vendeurs, forgerons, commerçants. La prise en compte de la maintenance dans la conception d'équipement impose de prendre en compte tous les acteurs impliqués dans sa future maintenance.

Ces pratiques de la maintenance des équipements donnent un aperçu de l'environnement de la maintenance. Avant de caractériser l'environnement de la maintenance et de présenter ces spécificités dans le chapitre III, nous allons d'abord présenter dans le chapitre II les bases bibliographiques de la maintenance et voir en quoi elles sont pertinentes dans le contexte des Pays d'Afrique de l'Ouest, en étudiant en particulier :

- les principaux concepts développés en maintenance et l'intégration de la maintenance dans la conception,

- le concept de réseau d'acteurs pour mieux comprendre la prise en compte de la maintenance par les acteurs dans cet environnement.

Ces concepts seront développés et analysés afin de dégager *a priori* leur pertinence dans un contexte sociotechnique radicalement différent de celui des pays industrialisés. L'objectif de la thèse consistera alors à proposer des outils d'aide aux équipes locales de conception pour intégrer dès leur conception la maintenance des équipements.

CHAPITRE II

LA MAINTENANCE ET SON INTÉGRATION DANS LA CONCEPTION

I. Introduction

Le concept actuel de maintenance dans une entreprise de biens de consommation est l'aboutissement d'une longue évolution des services d'entretien traditionnel qui commença après la seconde guerre mondiale. Jusqu'alors considéré comme une sous fonction de la production dans l'entreprise, le service d'entretien était souvent excentré et ne reposait que sur les métiers du dépannage : mécaniciens, dépanneurs électriciens, graisseurs et régleurs. Cette vision des choses n'était pas sans conséquences : conflit entre agents d'entretien et agents de production parce que les uns réparent et les autres sont là pour « *détruire* ». L'entretien consistait principalement à dépanner et à repérer après la défaillance, avec comme objectif la remise en état rapide de la machine. Les seules actions de prévention concernaient la lubrification et les rondes de surveillance (Monchy, 2000).

Mais l'enjeu des années 70 et 80, marqué par une production massive de produits de grande consommation (automobile, électronique grand public, téléphonie, etc.), une évolution rapide des techniques, un objectif de forte rentabilité, impose une nouvelle façon d'organiser l'entretien au niveau de l'entreprise : les pertes liées aux défaillances sont désormais chiffrées et analysées. La connaissance du coût de la panne et de ses conséquences économiques sur le chiffre d'affaire de l'entreprise est désormais intégrée dans la gestion globale. L'émergence de nouveaux concepts de management et d'intégration de la maintenance dans l'entreprise se développe. L'objectif principal est de maîtriser le coût de la défaillance en l'anticipant dès la conception et pendant l'utilisation de l'équipement.

Plusieurs concepts sur la maintenance et son intégration dans la conception en réponse aux effets de la mondialisation sont de nos jours utilisés. Ces effets sont entre autres le respect

de normes de qualité internationales, la concurrence au niveau de la commercialisation des produits, etc....

Les PAO, qui paraissent jusqu'à maintenant en marge des effets de cette mondialisation, ont besoin d'outils spécifiques, adaptés au contexte de petites entreprises qui ne s'inscrivent pas dans le triangle "coût-délai-qualité" imposé par une concurrence très forte sur les marchés des pays industrialisés. Il faut rappeler que ces petites entreprises, qu'elles soient dans le secteur formel ou dans le secteur informel, constituent la base du tissu économique des PAO. Dans ce chapitre, les principaux concepts de maintenance et d'intégration de la maintenance dans la conception seront présentés par rapport à la problématique de la maintenance dans le contexte des PAO. Seul l'aspect maintenance de systèmes réparables est concerné. Le concept de réseau sociotechnique sera présenté en réponse à la possibilité d'intégration de la maintenance des équipements au sein d'un réseau, car la très grande majorité des petites entreprises agroalimentaires ne sont pas autonomes en matière de maintenance et doivent avoir recours à un réseau de prestataires.

II. Principaux concepts de maintenance

L'intégration de la maintenance dans la conception d'un équipement conduit à considérer les concepts de fiabilité, de maintenabilité, disponibilité, sécurité et soutien logistique. Cette approche des choses vise à influencer les décisions pendant la conception afin de réduire le coût global de maintenance durant tout le cycle de vie de l'équipement. Les concepts globaux de Sûreté de fonctionnement (Sdf) et de Soutien logistique intégré (Sli) offrent un cadre méthodologique, pour assurer dès la conception, respectivement les facteurs de mise en sécurité, de conformité et de disponibilité du futur produit par rapport à son milieu. C'est pour cela qu'il est important de développer tous ces concepts et d'analyser leur pertinence dans le contexte des PAO où l'absence de normes et de réglementation est encore largement la règle: l'intégration d'un concept dans la conception doit être une réponse à un besoin bien fondé, spécifique à un contexte.

1. Fiabilité et maintenabilité

1.1. La fiabilité

La fiabilité a été définie pour la première fois par l' *Advisory Groupe on Reliability of Electronic Equipemnt (AGREE)* en 1957 aux Etats Unis (Chapouille, 1999) et repris en 1984 par l'AFNOR NF X 06-501, elle désigne « *la caractéristique d'un dispositif exprimée par la probabilité que ce dispositif accomplisse une fonction requise dans des conditions d'utilisation données et pour une période de temps déterminée* ». Elle traduit l'aptitude d'une entité à avoir une faible fréquence de défaillance. Elle concerne toutes les actions à entreprendre pour que le produit fonctionne sans défaillance ou avec une faible fréquence de pannes pour être accepté par l'utilisateur. La défaillance selon l'AFNOR NF X 60-11 désigne « *l'altération ou la cessation d'un bien à accomplir la fonction requise* ». La fonction requise ou fonction de service est définie en tenant compte d'un seuil d'admissibilité, au delà duquel pour cause de défaillance, la fonction n'est plus remplie. Ce seuil est fixé selon la nature du service, les exigences du client et les considérations de coût. La fiabilité est donc une caractéristique de la qualité car elle traduit un besoin à respecter dans la définition des performances de la fonction à remplir. Les concepteurs, pour intégrer la fiabilité, utilisent des indicateurs quantitatifs de fiabilité comme éléments de décision dans la conception des équipements. Ces indicateurs sont généralement le taux de défaillance (λ) et la Moyenne des Temps de Bon Fonctionnement (*MTBF*). Ils sont établis rigoureusement sur la base de fonctions de probabilité de la fiabilité ou « Reliability » $R(t)$, obtenue de deux manières :

- par la loi de survie, quand il s'agit d'avoir des précisions sur la défaillance dans le temps d'un dispositif. Elle est souvent appliquée pour tester l'endurance des composants mécaniques ou électroniques. La fiabilité $R(t)$ est le rapport du nombre d'équipements $N(t)$ qui fonctionnent encore au temps t sur le nombre N_0 d'équipements initiaux, pour une durée donnée de fonctionnement t :

$$R(t) = N(t) / N_0 \quad [2.1]$$

- par le taux de défaillance $\lambda(t)$ selon une approche probabiliste, $f(t)$ étant la densité de probabilité de défaillance :

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad [2.2]$$

Cette fonction est le complément de la fonction de répartition de défaillance, $F(t) = 1 - R(t)$ dont la dérivé $f(t)$ est la densité de probabilité des défaillances. La fonction de répartition de

défaillance est construite sur la base d'un relevé rigoureux de la traçabilité des défaillances (temps et description de l'événement) et la densité de probabilité de défaillances indique la loi de probabilité à retenir pour identifier $\lambda(t)$, indispensable pour expliquer le comportement des défaillances (Fig. 2.1) en fonction de la période de vie d'un dispositif.

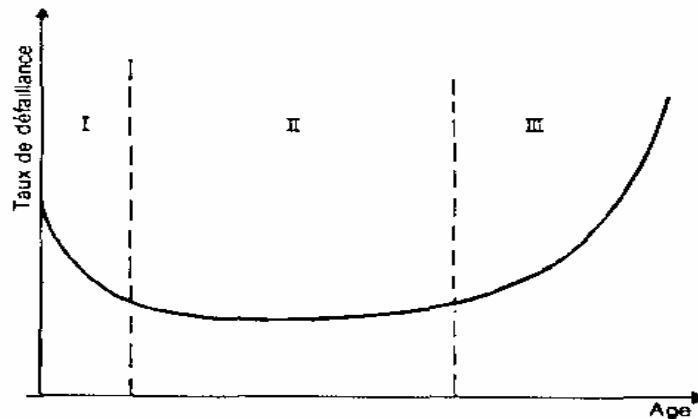


Fig. 2.1 : Taux de défaillance en fonction de l'âge : courbe en baignoire (Chapouille, 1999)

- I = période de vie de jeunesse
- II = période de vie utile
- III = période de vie de vieillesse

Le taux de défaillance $\lambda(t)$ est quasi constant (période de vie utile) si $f(t)$ est une loi exponentielle. L'utilisation de la loi de Weibull a l'avantage de couvrir toutes les périodes de vie de l'équipement : le taux de défaillance variable et décroissant, constant, variable et croissant correspondant respectivement aux périodes de vie de jeunesse (I), de vie utile (II) et de vieillesse (III). Cette loi donne également des détails sur le diagnostic de la défaillance. A la période de vieillesse il est conseillé pour des questions de rentabilité, d'effectuer des travaux de reconstruction, de rénovation ou de remplacer l'équipement. Les équipements dans le contexte des PAO sont remplacés ou délaissés par manque de pièces de rechange.

Ces lois permettent de déduire les indicateurs MTBF et $\lambda(t)$:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt \quad [2.3]$$

Ceci correspond à l'expression générale de la fiabilité.

$$\lambda(t) = \frac{1}{MTBF} \quad [2.4]$$

Cette égalité est valable si $\lambda(t) = \text{constant}$ c'est-à-dire la densité de probabilité des défaillances $f(t)$ indique un loi exponentielle.

Dans le cas ou le système à étudier est composé de plusieurs éléments, la fiabilité se détermine en tenant compte de différentes configurations :

Pour un système S de i éléments disposés en série :

$$R_s = \prod_{i=1}^i R_i(t) \quad [2.5]$$

Pour un système S de i éléments disposés en parallèle :

$$R_s = 1 - \prod_{i=1}^i [1 - R(t)] \quad [2.6]$$

En agroalimentaire les équipements sont obtenus par assemblage de composants fabriqués par d'autres fournisseurs donc la première façon d'intégrer la fiabilité dans la conception consiste à choisir des composants en fonction de leur fiabilité avec possibilité de mise en parallèle pour plus de fiabilité. Bien entendu, il faudra faire la différence entre la fiabilité d'un composant mécanique qui est plus basé sur l'âge, les sollicitations du matériaux ou plus exactement les lois d'usures et la fiabilité d'un composant électronique ou électrique qui relève plus de la qualité de la fabrication initiale.

Les systèmes mettant en série des composants exigent une bonne fiabilité de chacun d'entre eux, surtout si certains composants sont des composants de récupération, ce qui n'est pas le cas si ceux-ci sont placés en parallèle.

On pourrait recommander les systèmes en parallèle pour les équipements critiques (chaîne ou ligne de production) de ME pour lesquelles les délais de livraison des produits constituent un facteur économique important.

Par ailleurs l'étude de la fiabilité d'un composant ne tient pas compte des erreurs humaines lors de l'utilisation c'est à dire les fausses manœuvres, le mauvais emploi des équipements et l'exécution de tâches de maintenance non conformes(Monchy, 2000).

Monchy (2000) propose d'autres indicateurs moins rigoureux mais certainement plus accessibles pour évaluer la fiabilité des équipements en Afrique de l'Ouest :

- Le Nombre de défaillances N pour une période donnée ;
- Le $MTBF$ déterminé à partir d'une moyenne statistique d'un échantillon de N durées, les TBF : Temps de Bon Fonctionnement exprimés en heure de fonctionnement.

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} \quad [2.7]$$

- Le taux de défaillance moyen λ est exprimé en nombre de pannes / unité d'usage

Les analyses de défaillance prévisionnelle ou opérationnelle, réalisées en complément d'informations liées aux indicateurs aident les concepteurs à mieux intégrer la fiabilité. Ces outils d'analyses de défaillance sont l'Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités (AMDEC) (Riout, 1994; Ridoux, 1998; Monchy, 2000; Landy, 2002), le diagramme d'Ischikawa (Monchy, 2000; Schoefs, 2001) et les arbres de défaillance (Mortureux, 2001; Francastel, 2003). L'AMDEC permet de recenser les conséquences des défaillances et de les classer selon leur indice de criticité, le diagramme d'Ishikawa visualise et relie les causes et les effets des défaillances; les arbres montrent des scénarios pour mieux expliquer une situation de défaillance, d'événement ou de cause. Ces outils nécessitent la mise en place d'une équipe experte et la traçabilité des pannes. Des concepts de management par la maintenance dans l'entreprise prennent en compte l'aspect amélioration continue de la conception des équipements afin d'éviter la défaillance :

- la Total Productive Maintenance (TPM) vise le zéro panne dans l'entreprise (Nakajima, 1989) en responsabilisant les opérateurs aux tâches de maintenance. Actuellement ce concept va plus loin en intégrant dans la conception des équipements les aptitudes de l'opérateur à auto maintenir son outil de travail (Manata, 1996; Pimor, 2001).
- la Maintenance Basée sur la Fiabilité (MBF) (Monchy, 2000) identifie les équipements critiques par rapport à la production. Les maintenances systématique et conditionnelle sont prioritairement prises en compte dans la conception. Les pièces sont remplacées selon un échéancier par unité d'usage établi par le constructeur. Dans d'autres cas (loi d'usure non maîtrisée, pièces inaccessibles), des capteurs de suivi de

l'état de dégradation indiquent le remplacement en fonction d'un seuil de l'état de dégradation.

- L'Asset Management (Vanier, 2001; Hassanain, Froese et al., 2003; Nikolopoulos, Metaxiotis et al., 2003) fonde une stratégie de l'entreprise autour de la maintenance en se basant sur les effets de la défaillance. Ces effets sont évalués en chiffre d'affaires perdu et servent de justificatif pour améliorer la fiabilité des équipements. Ce concept est utilisé par des grandes entreprises aux moyens de production automatisés. Il intègre par le biais du chiffre d'affaire toutes les composantes des services de l'entreprise : des progiciels sont réalisés en fonction de la structure de l'entreprise et adaptés aux équipements pour aider à la gestion. Palmer (2002) indique que grâce à ce concept une industrie agroalimentaire, spécialisée dans la production de chips Mc Cain en Angleterre qui emploie 250 personnes et réalise un chiffre d'affaire annuel de 85 millions de Livres Sterling a fait passer la disponibilité opérationnelle moyenne des équipements de production de 87,5 à 97,4 % en améliorant leur fiabilité. Ces équipements ont été améliorés et adaptés à un progiciel de gestion intégré (ERP : Enterprise Resource Planning) basé sur la maintenance conditionnelle. Les signes prédéterminés aux défaillances sont détectés par des capteurs infrarouges, sonores, etc. Ces concepts ne sont pas transposables dans les petites unités de transformation tels qu'ils se présentent.

Considérer la fiabilité dans la conception revient à chercher à réduire le nombre probable de défaillances du futur équipement. Les besoins exprimés en terme de fiabilité varient selon les domaines et la sécurité exigée : le nucléaire, l'aéronautique et les grandes firmes de production en série de produits réclament la fiabilité maximale de leur installation. Le manque de fiabilité a souvent entraîné le dépôt de bilan dans les moyennes entreprises des PAO où ce facteur est très important. Par contre pour les TPE et PE la fiabilité est moins cruciale. La fiabilité est avant tout un critère de qualité, elle a un coût que les utilisateurs et équipementiers de PAO ne sont pas toujours prêts à assumer. Les utilisateurs ont une préférence pour les pièces bon marché car le faible pouvoir d'achat est fortement limitant. Le manque de traçabilité des défaillances dans les petites entreprises ne permet pas d'exploiter les indicateurs de fiabilité. L'idée ne consistera pas forcément à réduire les défaillances probables mais à se servir d'un indicateur de fiabilité pour la conception. Il nous appartiendra de déterminer quel est l'indicateur de fiabilité qui a un sens dans le cas des petites entreprises

des PAO, surtout pour celles, nombreuses, qui utilisent des équipements intégrant pour tout ou partie des pièces de récupération.

Une fois que cet indicateur sera défini, pourra-t-il servir de base de construction *a priori* d'une politique de maintenance pour le futur équipement et surtout est-ce que la maximisation de la fiabilité est une priorité pour les petites entreprises d'Afrique de l'Ouest où l'on admet des pannes fréquentes dès lors que leur dépannage se fait rapidement et à faible coût ?

1.2. La maintenabilité

Kapur et Lamberson (1977) définissent la maintenabilité comme étant « *la probabilité d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans des conditions données, pendant un intervalle de temps donné* ». Selon par la norme Afnor X 60-500 (1988) la maintenabilité est « *l'aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie, sur un intervalle de temps donné dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise, lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données, avec des procédures et des moyens prescrits* ». Un équipement est maintenable s'il peut être réparé rapidement. La réparation est l'ensemble des opérations élémentaires de rétablissement incluant les délais logistiques. Elle est d'autant meilleure que les tâches de maintenance sont faciles et simplifiées dès la conception. La maintenabilité fait allusion à la rapidité des tâches de réparation alors que la fiabilité s'intéresse à la réduction du nombre de défaillances.

Les indicateurs de maintenabilité sont le taux de maintenabilité $\mu(t)$, introduit de façon similaire au taux de défaillances $\lambda(t)$ et le *MTTR*, traduction de « Mean Time To Repair ». Ils sont évalués selon l'approche probabiliste, $g(t)$ étant la densité de réparation :

$$M(t) = \int_0^t g(t) dt = 1 - e^{-\int_0^t \mu(t) dt} \quad [2.8]$$

$$MTTR = \int_0^{+\infty} t g(t) dt \quad [2.9]$$

Expression générale de la MTTR

$$\mu(t) = \frac{1}{MTTR} \quad [2.10]$$

Egalité est valable si $\mu(t) = \text{constant}$ c'est-à-dire la densité de probabilité des défaillances $f(t)$ indique une loi exponentielle.

Il existe également des indicateurs moins rigoureux mais certainement plus accessibles pour évaluer le temps de réparation des équipements dans les PAO :

Le nombre de Pannes : N

Moyenne des temps de réparation $MTTR = \frac{\sum TTR}{N}$, TTR étant le temps d'une réparation

Pour la conception on parle plutôt de maintenabilité intrinsèque pour désigner *l'aptitude propre d'un bien à être rétabli en l'état dans un temps prévu* et la maintenabilité opérationnelle pour évaluer ces aptitudes sur le terrain (Monchy, 2000) en prenant en compte les moyens opérationnels disponibles dans l'entreprise. La maintenabilité intrinsèque selon la norme X 60-301 est caractérisée par quatre principaux critères pour une maintenance corrective et préventive : *l'accessibilité, la démontabilité, l'aptitude à la pose et à la dépose, l'interchangeabilité.*

Intégrer la maintenabilité en conception consiste à chercher à minimiser les temps de réparation. Il s'agit de savoir si le temps de réparation constitue une préoccupation prioritaire des petites entreprises des PAO.

1.3. La disponibilité

La fiabilité et la maintenabilité concourent à définir la notion de disponibilité opérationnelle qui selon la norme NF X 60-503 désigne *«l'aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et à un instant donné»*. Elle peut être décomposée en disponibilité intrinsèque qui fait référence au concepteur et en disponibilité opérationnelle qui fait référence à l'utilisateur (Ligeron, 1988).

La disponibilité intrinsèque est définie par :

$$D_i = \frac{\mu}{\mu + \lambda} = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad [2.11]$$

La disponibilité opérationnelle est définie par :

$$D_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR + MTL} < 1 \quad [2.12]$$

MTL = Mean Time to Logistic. Ce temps est relatif aux délais d'approvisionnement des pièces et de transport.

La disponibilité doit tendre vers 1 pour que l'équipement soit rentable pour l'entreprise. Dans les PAO le temps logistique est un facteur pénalisant de la disponibilité opérationnelle des équipements. Les équipements sont souvent abandonnés simplement par manque de pièces de rechange à cause de délais d'approvisionnement trop longs (un mois ou plus). La concentration dans les villes des fabricants allonge le temps de livraison des pièces pour les petites entreprises rurales car les moyens de transport et de communication sont peu développés, les coûts de transport et de communication ne sont pas à la portée des entreprises...Il est nécessaire de caractériser les facteurs qui influencent réellement la disponibilité des équipements pour pouvoir les intégrer dans la conception et de savoir si la disponibilité de leurs équipements constitue réellement un facteur clef de la vie quotidienne des petites entreprises.

1.4. *La Sûreté de fonctionnement Sdf*

Certifiée par l'ISO 9000, la sûreté de fonctionnement représente «l'ensemble des propriétés qui décrivent la disponibilité et les facteurs qui la conditionnent : La fiabilité, la maintenabilité, et la sécurité». Ce concept met en évidence les événements redoutés, indésirables, leurs fréquences et leurs gravités afin d'établir un diagnostic qui servira d'élément de décision sur le risque de dysfonctionnement d'un système (Mortureux, 2001). La Sdf est un état d'esprit d'abord avant d'être une méthode. Elle ajoute la composante « sécurité de l'opérateur ». La composante sécurité désigne «l'aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques et catastrophiques pour le système, son environnement et les hommes qui l'utilisent».

Par exemple les erreurs humaines sont souvent source de défaillances technologiques, quand bien même les calculs affichent une fiabilité maximale. Selon Monchy (2000) elles sont d'origines diverses : psychologique (machinale, réflexes), physique (apprentissage), cognitif (diagnostic) et se manifestent durant « *la perception, à la réflexion du cerveau puis à l'action résultante via la coordination motrice* ». Ces aspects sont liés en grande partie au management du personnel en charge de la maintenance des équipements et doivent être progressivement intégrés dans la conception (Grusenmeyer, 2002). C'est pour cela que Pimor (2001) soutient que la prise en compte du facteur humain devient « *un point capital pour la*

performance et la sécurité ». Dans les secteurs industriels où la sécurité doit être maximale on parlera plutôt de Sécurité de fonctionnement.

La protection de l'environnement contre la pollution est l'une des missions assignée à la maintenance. Le Sdf recommande de prendre en compte dès la conception, des procédures de protection de l'environnement définies par la législation en vigueur.

Plusieurs outils permettent d'avoir une approche Sdf dans la conception d'un équipement, il s'agit principalement de :

- l'APR (Analyses Préliminaires des Risques) qui repère *a priori* les risques potentiellement dangereux pour l'environnement dans son ensemble.
- de l'AMDEC pour évaluer la criticité des défaillances ;
- du diagramme d'Ishikawa, des arbres de causes, d'événements, de défaillances pour expliquer une situation donnée à éviter.

Dans le contexte des PAO les petites entreprises ne sont pas soumises à une législation pour la protection de l'environnement ou des opérateurs. Par exemple le personnel travaille sans équipements de protection particulière. Le facteur sécurité de l'équipement et de son environnement doit être traité : il faudra nécessairement caractériser les défaillances qui sont potentiellement dangereuses pour l'opérateur et son environnement.

La philosophie développée dans ce concept peut être pertinent en Afrique de l'Ouest mais encore faut-il avoir des indicateurs de fiabilité, de maintenabilité et une définition de la notion du risque dans notre contexte. La protection de l'environnement devient une question qui a une dimension mondiale et il faudra que même en Afrique de l'Ouest les concepteurs tiennent compte de cet aspect.

1.5. *Le soutien de logistique intégré (Sli)*

Pons (1993) définit le Sli comme étant «*une approche globale et itérative des activités de management et des activités techniques dès la conception et dont l'objectif est d'assurer à un système des performances aux meilleurs coûts et délais tout au long du cycle de vie*».

Les activités consistant à spécifier, définir, développer, produire et livrer en temps utile l'ensemble des produits logistiques qui constituent le sous système de soutien (Dumez, 1993).

Certifié par l'ISO 9000 le soutien de logistique intégré (Sli) de la maintenance «consiste à assurer le maintien en conditions opérationnelles d'un système, afin que ce dernier puisse assurer les missions pour lesquelles il a été conçu durant toute sa durée de vie». Ceci

nous conduit à clarifier également la notion de durabilité d'un équipement «comme étant la durée de vie ou de fonctionnement potentiel d'un bien pour une fonction qui lui a été désignée, dans des conditions d'utilisation et de maintenance donnée».

Le Sli est caractérisé par neuf (9) critères qui décrivent l'environnement social et technique de l'entreprise : La formation, le personnel, la documentation technique, le soutien informatique, les infrastructures, les approvisionnements, l'emballage ou la manutention ou le stockage ou le transport, et les équipements de soutien ou de tests. Cette approche très générale dans la conception consiste à intégrer les critères du Sli pour faciliter la maintenance de l'équipement durant son utilisation.

Dans les PAO les utilisateurs ont beaucoup de difficultés pour s'approvisionner en pièce de rechange, les formations en maintenance ne sont pas connues, les routes ne sont pas toujours accessibles dans les zones périphériques et l'outil informatique est encore au stade embryonnaire dans les pratiques. Le concept de Sli est très pertinent mais néanmoins pour l'appliquer dans la conception, il faut nécessairement choisir les éléments clefs du soutien logistique (la formation, les approvisionnements, le transport, et les équipements de soutien ou de test) car celui-ci doit se réfléchir dans un contexte de réseau de petites ou très petites entreprises et non comme dans les pays industriels dans celui d'entreprise unique capable de manager seule toutes les composantes du Sli.

1.6. *Le Life cycle Cost*

Le « Life cycle Cost » (LCC) ou coût sur le cycle de vie est défini par la norme X50 150 comme étant « le coût d'acquisition ou de possession d'un produit pendant une période déterminée de son cycle de vie.

- *Il peut comprendre le coût de développement, d'obtention, de formation des utilisateurs, de fonctionnement, de maintenance et de logistique, de retrait de service et d'élimination du produit.*
- Le cycle de vie est l'intervalle de temps qui va de la création du produit à son retrait de l'utilisation et son élimination » : Analyse du besoin, développement du produit, production, distribution, utilisation, déclassement et recyclage.

Le LCC retrace les ressources consommées par un produit sur l'ensemble de son cycle de vie et permet d'analyser les conséquences économiques d'un projet de conception sur une période allant de la conception du produit à son retrait sur le marché (Gautier, 2003).

Pour minimiser les coûts directs et indirects de défaillance il serait nécessaire de définir toutes les autres composantes du coût sur le cycle de vie du produit. Cependant on est encore confronté au manque de traçabilité des coûts et il est donc difficile d'envisager le calcul sous cette forme, d'autant que les coûts de conception sont souvent mal évalués, soit qu'il s'agisse d'un cadre non marchand de conception (projet de bailleur de fonds, ONG, Université, Centre de Recherche) soit qu'il s'agisse de la copie/adaptation d'un matériel dont les coûts de conception et de développement industriel ont déjà été assurés par ailleurs.

On pourra envisager de calculer le LCC sur la base du coût de fonctionnement, de maintenance et de possession. Il sera comparé au prix d'achat de l'équipement. Cet indicateur montre clairement 2 voies extrêmes de stratégie de conception: soit le coût d'acquisition est élevé, privilégiant une bonne fiabilité des composants, et le coût de maintenance est faible, soit le coût d'acquisition est bas mais les coûts de maintenance sont élevés, assurés par les revenus assurés par l'utilisation de l'équipement. Ce rapport qualité (fiabilité) prix est pertinent dans une démarche d'intégration de la maintenance notamment dans le choix des constituants disponibles dans les PAO. Car intégrer la maintenance dans la conception c'est également se fixer un coût prévisionnel de maintenance du futur équipement en fonction du pouvoir d'achat de l'utilisateur, sachant que celui-ci fixe son choix avant tout sur le prix d'acquisition, sans vision prévisionnelle sur les coûts ultérieurs de maintenance.

La durée de vie d'usage de l'équipement doit également être précisée dans notre contexte. A ce sujet il serait intéressant d'interroger les utilisateurs sur leur vision en ce qui concerne les différentes étapes du cycle de vie et sur la durée d'usage d'un équipement. Il semble que dans les PAO le cycle de vie n'est pas borné dans le temps, une récupération étant toujours envisageable, même dans le cadre d'un changement d'usage fonctionnel. Le rapport entre opérateur et équipement n'est pas forcément le même partout : l'équipement est-il le compagnon de tous les jours qui dépanne quand on en a besoin, ou est-il juste un instrument économique qui après un temps d'utilisation doit être remplacé parce qu'il n'est plus rentable ? Ces informations serviront de base pour définir le contenu du concept de LCC mais appliqué dans un contexte différent.

III. L'intégration de la maintenance dans la conception : Le Design For X (DFX)

La littérature propose une approche de conception pour l'intégration de la maintenance dans la ligné des outils de type DFX « Design For X » (Kuo, Huang et al., 2001). Ce concept du DFX c'est « concevoir pour le métier X » et n'est autre qu'une généralisation des outils du «*Design For Assembly*» (DFA) (Boothroyd et Alting, 1992) / «*Design For Manufacturing* » (DFM) (Stoll, 1988; Corbett, 1991). L'expertise métier est formalisée en règles de conception pour participer à la prise de décision dans la conception. Ces règles sont portées par les acteurs de la conception. Le DFX est appliqué dans une optique de reconception du produit, dans le sens d'une analyse *a posteriori* de la solution proposée.

Le DFA et le DFM intègrent la fabrication dans la conception alors que l'intégration de la maintenance est portée par le «*Design For Maintainability*» (DFMt), «*Design For Reliability* » (DFR), ou encore le «*Design For Maintenance*» (DFMAIN) (Kuo, Huang et al., 2001; Chen et Cai, 2003).

Nous nous appuyons sur le développement des concepts DFA, DFM, DFMt, DFR et le DFMAIN (Kuo, Huang et al., 2001; Chen et Cai, 2003) pour expliquer la démarche du DFX. Il est important pour nous de voir si ces concepts sont pertinents dans le contexte des PAO.

1. *Design For Assembly (DFA)*

Dans les années 60 pour la première fois des industries développent des règles de fabrication qui sont prises en compte dès la conception. Mais c'est à partir des années 70 que le concept de *Design for assembly (DFA)* se développe grâce à une série de travaux sur les contraintes d'assemblage. Son objectif est de réduire le temps et le coût d'assemblage et de permettre une robotisation progressive de ces opérations.

Intégrer l'assemblage dans la conception implique une intégration au niveau du produit (Fig. 2.2). Ce niveau d'intégration (Aoussat et Le Coq, 1998) considère le produit en tant qu'ensemble de composants élémentaires et l'analyse se rapporte aux 3 couples du tripôle (produit-processus, processus-moyens, produit-moyens). Le problème de montage du produit, l'installation et l'organisation de l'atelier de montage sont le résultat d'une interaction construite dans le tripôle.

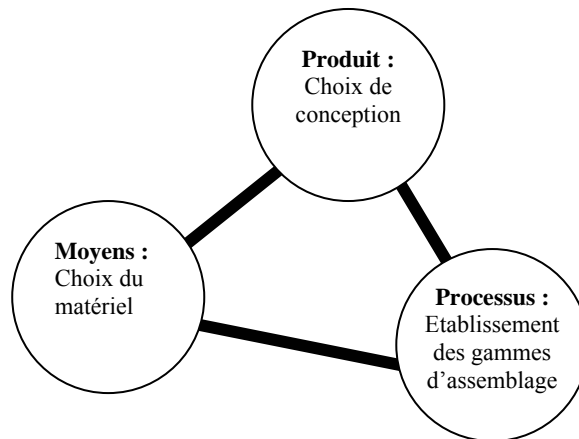


Fig. 2.2 : Intégration au niveau du produit (Aoussat et Le Coq, 1998)

Nous nous appuyerons sur les travaux de Boothroyd et Dewhurst (1986) pour expliquer le *Design for assembly* (DFA). Il s'agit de l'intégration au niveau du produit-process. Le principe du DFA est basé sur la réduction du nombre de pièces et la facilité à manœuvrer les pièces à assembler mais en tenant compte des contraintes de conception (les caractéristiques fonctionnelles) du produit. Son application permet de réaliser des gains sur l'assemblage et de faire face aux exigences d'une production en série dans laquelle le respect des délais de livraison est de rigueur.

Le choix du mode d'assemblage est déterminant dans la conception du produit selon que l'assemblage est manuel, utilise des machines spécifiques ou fait appel à la commande robotisée; la définition du produit sera alors différente. Boothroyd et Dewhurst (1986) indiquent que la facilité d'assemblage des composants est basée sur leur aptitude à être facilement manipulés et insérés. Des outils logiciels de simulation des assemblages de composants dès la conception ont été développés, qui optimisent le produit conçu en minimisant le nombre de pièces à assembler.

Le concepteur, grâce à une série de questions relatives à la rapidité, la symétrie, la taille et l'angle d'insertion des pièces à assembler, apporte des modifications sur une solution existante. Le temps et l'efficacité d'assemblage servent d'indicateurs quantitatifs d'assemblage pour évaluer la facilité d'assemblage de la solution existante et apporter des actions correctives. Ces actions sont réalisées grâce à l'utilisation d'une série de règles de conception qui modélisent les connaissances du métier d'assembleur. Les règles du DFA sont :

- Réduire le nombre des pièces et les points de liaison, les variantes de conception des pièces, les gestes et directions d'assemblage ;

- Prévoir des chanfreins, des alignements automatiques, des accès faciles par des surfaces localisées, des symétries ou asymétries, des éléments facilitant la manœuvrabilité et le transport des pièces, des pokayokés ou « détrompeurs » (Nakajima, 1989; Lavina, 1996) ;
- Eviter l'obstruction visuelle, les opérations simultanées d'ajustage, l'entremêlement des connexions, les ajustements qui peuvent gêner l'ajustement prioritaire et les possibilités d'erreurs d'assemblage.

La démarche du DFA défini par Boothroyd et Dewhurst (1991) consiste à :

- La définition d'une méthode d'assemblage en fonction de la politique et du volume de production.
- La recherche des possibilités pour supprimer les pièces non indispensables ou à combiner avec d'autres pièces. Les pièces retenues donnent le nombre minimum théorique de pièces.
- L'estimation de la durée totale d'assemblage réel des composants en utilisant des bases de données standards (abaques sur les formes des pièces) relatifs à ce type de produit.
- La détermination de l'index du DFA le « *Manual Design Efficiency* » (MDE) qui est obtenu en faisant le rapport entre le délai d'assemblage minimum théorique sur le délai total d'assemblage réel obtenu par des bases de données. Ces bases peuvent être des abaques de temps d'assemblage du produit ou d'un produit similaire. Le modèle de l'index du DFA :

$$MDE = \frac{3 \times \textit{Theoretical Minimum Number of Parts}}{\textit{Total Manual Assembly Time}} \quad [2. 13]$$

3 = temps théorique de prise du composant en seconde: (1,5 s) + temps théorique d'insertion du composant (1,5 s).

- Identifier les difficultés d'assemblage qui peuvent mener à définir les contraintes de fabrication et de qualité du produit. Les règles de conception vont servir à ce niveau dans la conception du produit mais en relation avec son processus de fabrication.

Le concept de DFA est pertinent pour les PAO, non pour gagner du temps à l'assemblage car le facteur temps n'est pas limitant, mais pour une autre raison : réduire la complexité de montage en intégrant les tâches de maintenance que peut raisonnablement effectuer l'utilisateur lorsqu'il aura à effectuer le démontage puis le remontage de son

équipement en cas de défaillance. On sait que les utilisateurs d'équipements des petites entreprises de PAO n'ont pas une connaissance technique suffisante pour assurer des opérations de maintenance de niveau 3, 2 ou bien sûr 1. Ces entreprises emploient des journaliers et des apprentis souvent analphabètes ; le guide d'entretien, écrit, parfois fourni par le constructeur, n'est donc pas adéquat et aucune formation à la maintenance n'est prévue. Il est important dans ce cas de minimiser les tâches de maintenance car les opérations de montage et de démontage sont fréquentes à cause du nombre élevé de défaillances.

La règle sur la réduction du nombre de pièces lors de la conception doit être appliquée avec beaucoup de prudence parce que les fabricants des PAO ne disposent pas d'une grande diversité de modes de fabrication comme dans les pays du Nord. Plusieurs pièces simples à fabriquer sont préférables à une pièce complexe. Un autre facteur limitant est le coût. Une pièce complexe risque de ne pas être bon marché : la détermination d'un coût maximum supportable par l'utilisateur pourrait être envisagé pour les différents sous-ensembles.

L'indice du DFA peut aider à réduire la complexité de montage dès la conception mais il est lourd à manipuler. Il n'est pas nécessaire de l'utiliser dans le cas d'équipements simples. Le DFA a également l'avantage d'intégrer plusieurs critères de maintenabilité : l'accessibilité, la démontabilité, la modularité et la détection. Ces critères sont définis dans le paragraphe *design for maintainability*.

2. Design For Manufacturing (DFM)

Le concept du DFM « *conception pour la fabrication* » vise à minimiser le coût de fabrication d'un produit en recherchant la meilleure solution de conception répondant le mieux aux besoins des clients et facilitant la réalisation. Le concept apparaît aux Etats Unis et au Japon, dans les années 1980 et découle de l'extension des travaux sur les contraintes d'assemblage. C'est une méthodologie globale permettant de couvrir le cycle de production de la pièce. Il se base sur la meilleure possibilité de fabriquer économiquement une pièce tout en respectant ses fonctionnalités. Il aide le concepteur à affiner la définition d'une pièce mécanique sachant que la matière et le procédé sont déjà imposés (Marouzé, 1999), ceci grâce à une analyse de faisabilité et de comparaison de coût.

L'intégrer de la fabrication ce fait au niveau du composant élémentaire. L'intégration à ce niveau est historiquement la première à avoir été prise en compte dans la fabrication du composant. Allen (1987) définit les trois domaines à intégrer au niveau du composant, il s'agit de la géométrie, du matériau et du processus (Fig. 2.3).

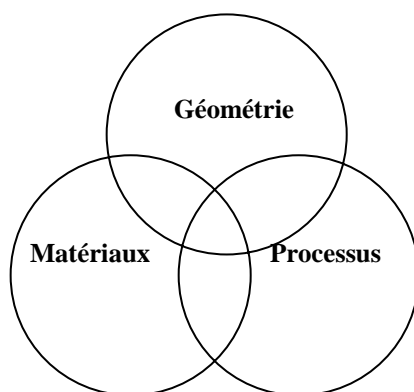


Fig. 2.3 : Intégration au niveau du composant (Allen, 1987)

C'est la fonction que doit remplir le composant qui pilote l'imbrication entre ces trois domaines (Bréchet, 1990). Ces domaines sont interdépendants car il est impossible de choisir un procédé de fabrication sans connaître le matériaux ou les formes. Ce niveau d'intégration d'assemblage au niveau du composant s'appuie sur le DFM qui est un prolongement du concept du DFA.

Il s'agit d'estimer la fonction coût de fabrication d'une pièce durant sa phase de définition. Des outils d'aide (logiciels) sont utilisés à cet effet. Kirkland (1988) propose les facteurs qui influencent la conception pour la fabrication d'une pièce :

- la sélection de la matière d'œuvre,
- le processus de fabrication économique,
- l'utilisation de composants standard,
- la conception de pièces à usage multiples,
- la réduction des attaches multiples.

La prise en compte de ces facteurs nécessite l'utilisation d'outils d'analyses (expression du besoin, des priorités et des contraintes), de communication autour du projet, et de validation (évaluation à chaque niveau d'une solution).

On pourrait s'appuyer sur ces facteurs pour construire des règles qui tiendront compte du mode peu diversifié de la fabrication des pièces de rechange et la sélection de la matière d'œuvre de récupération. Les composants standard dans les PAO ne sont pas toujours disponibles sur place ou ne sont pas à la portée des utilisateurs. A ce niveau il faudra préciser le concept de « *composant standard* » dans ce contexte. En effet les pièces commercialisées

ou couramment utilisées constituent la seule alternative pour les concepteurs et les fabricants locaux.

3. Design For Maintainability (DFMt)

L'objectif du « *Design for maintainability* » est d'assurer au produit l'aptitude d'être maintenu à travers son cycle de vie utile à un coût raisonnable et sans difficulté. Les besoins spécifiques de la maintenabilité sont qualitatifs et quantitatifs. Plusieurs critères sont à intégrer en fonction de la spécificité de l'équipement. Chaque critère peut être considéré dans le concept du DFX comme le « X » élément à intégrer. En plus des quatre critères définis par la norme X 60-301, l'Institut de Sécurité Fonctionnement (ISDF) en propose 11, relatifs aux opérations de maintenance (Blanchon, 1999) : accessibilité, modularité, connectique, démontabilité, détectabilité, visibilité, manutentionnalité, nettoyabilité, réparabilité, identification et repérage, interchangeabilité. Nous présenterons l'intérêt potentiel de quelques uns de ces critères selon leur importance par rapport à notre problématique.

3.1. L'accessibilité

L'accessibilité est caractérisée par la rapidité avec laquelle un élément peut être atteint. Il définit une trajectoire, un espace de dégagement ou une hauteur tout en s'appuyant sur des règles de sécurité et d'ergonomie. Le concepteur veille par exemple aux respects de données anthropométriques des individus (passage des membres, etc.).

3.2. La démontabilité

La démontabilité désigne la possibilité de fractionner, un ensemble en sous-ensembles ou en éléments constitutifs. Elle est fonction des aptitudes du personnel (qualification et compétences) en charge de la maintenance, des exigences de la conception liées aux performances, de la complexité technologique, du nombre d'outillage, de la documentation et du soutien logistique intégré. Pour analyser les aptitudes des opérateurs et les moyens ou méthodes à développer à l'occasion de la démontabilité il est nécessaire de connaître :

- les ressources humaines engagées,
- les outillages nécessaires au démontage,
- le temps mis effectivement pour le démontage et le remontage,
- les pièces d'usure fréquente qui nécessitent ce type d'opération,
- les difficultés physiques et psychologiques des opérateurs faces à ce type d'opération.

3.3. *L'aptitude à la pose et à la dépose*

L'aptitude à la pose et à la dépose caractérise l'ensemble des opérations nécessaires à la suppression et au rétablissement des liaisons entre un élément et l'ensemble dont il fait partie afin de pouvoir en disposer isolément en vue d'assurer sa maintenance. Elle détermine la rapidité et la simplicité d'un module, un ensemble ou un élément, à être démonté et remonté avec un minimum d'opérations élémentaires. Ce sont les types d'attaches tel que le positionnement par des pokayokés, les crochets qui sont utilisés et qui ne nécessitent pas le plus souvent d'utilisation d'outillage spécifique pour le démontage. Le démontage peut s'effectuer par exemple sans avoir besoin de clés ou de tournevis mais cela demande une certaine habilité de la part de l'opérateur.

3.4. *L'interchangeabilité*

L'interchangeabilité est caractérisée par la possibilité de remplacement d'un élément, sous-ensemble de l'équipement par un autre élément pouvant provenir d'un stock, du bien lui-même, d'un autre bien du même type ou différent.

Elle s'exécute en se référant à l'identité fonctionnelle, dimensionnelle, et à l'accessibilité présente sur l'ensemble. Cette opération est soutenue par une documentation établie par le constructeur ou par des normes. Elle concerne toutes les pièces de rechange et elle est recommandée surtout dans le cas où l'on veut faire du dépannage ou de l'adaptation : on peut disposer des pièces de rechange similaires chez des revendeurs surtout si la pièce d'origine n'est pas disponible. Elle contribue à la rapidité des opérations de maintenance. Il n'est pas rare de voir monter la pièce d'un matériel différent sur un autre.

3.5. *La modularité*

La conception par module ou « encapsulation » a initialement pour but de *simplifier la fabrication des équipements complexes* (automobile, aéronautique). L'idée de la pièce unitaire de rechange est substituée par un module constitué d'un sous-ensemble de composants. Le découpage par module est fait selon la fonction de l'équipement, la discipline (électronique, pneumatique, hydraulique etc.) ou le regroupement de pièces d'usure en fonction de la complexité technique. Assimilé à l'interchangeabilité (Monchy, 2000) elle permet une rapidité et simplicité dans le remplacement des modules défectueux. Le coût d'un module est nettement supérieur à celui de la pièce unitaire mais il est supposé être amorti dans les Pays du Nord (PdN) par la réduction des temps d'intervention de maintenance (corrective, préventive), le coût d'indisponibilité et une économie sur le nombre de références stockées.

Les coûts en terme d'occupation (durée de diagnostic et de réparation) sont minimisés et le risque d'avoir des défaillances en cascades le sont également (Pimor, 2001).

3.6. La standardisation

La standardisation permet d'unifier l'utilisation et la fabrication d'un bien ou d'assurer son interchangeabilité. Elle utilise la normalisation comme outil support, mais également la certification ou la qualification attestée par une collectivité ou un groupe. En maintenance elle permet de gagner en temps de réparation, facilite le transfert de technologie et la commercialisation des pièces de rechange. Elle présente spécifiquement les avantages (Monchy, 2000) suivants :

- facilite la maintenance de plusieurs équipements de même origine,
- réduit le nombre d'outils de maintenance à maîtriser par l'opérateur,
- facilite la commercialisation ou la fabrication des composants mécaniques élémentaires par des fournisseurs différents.
- L'utilisation de pièces standard permet réduire les stocks important.

3.7. La détectabilité

C'est le critère relatif au temps de localisation et de diagnostic d'une défaillance. En effet de nos jours, des logiciels ou outils de diagnostic de causes de défaillance existent; dans le domaine de l'électricité par exemple le repérage de câbles défectueux par des voyants ou des points de mesures fournies par des appareils facilitent le diagnostic. Mais la notion de base consiste à rendre visible pour faciliter la détection de la défaillance. Le tableau 2.1 indique la pertinence a priori de ces critères dans notre contexte d'étude.

Tabl. 2.1 : Pertinence des critères de maintenabilité par rapport aux PAO

Critères	Pertinence par rapport au contexte des PAO
Accessibilité	Très utile pour faciliter les tâches de maintenance surtout pour un personnel non spécialisé.
Démontabilité	Utile parce que : <ul style="list-style-type: none"> - les opérateurs ne sont pas formés pour le montage et démontage. - les entreprises ne disposent pas toujours de tous les outillages pour le démontage. Ce critère doit permettre de définir le nombre minimal d'outils en fonction des défaillances fréquentes. Il sera moins important pour les équipements manuels des TPE.
Aptitude à la pose et à la dépose	Très pertinent surtout dans le cas des petites entreprises (PTE, PE) disposant de peu d'outillage et dont le personnel est formé sur le tas.
Interchangeabilité (pièces spécifiques, composants)	Très pertinent parce que la diversité des équipements importés ne facilite pas leur maintenance car le nombre d'exemplaires par modèle est faible et les pièces d'un modèle d'un même fabricant ne sont le plus souvent pas interchangeables. Le temps d'approvisionnement s'allonge dans ce cas. Ce critère, certes très pertinent, qui touche tout un secteur économique, sera sans doute difficile à mettre en œuvre car le secteur est peu organisé (absence de syndicats professionnels ou d'associations ayant un réel pouvoir sur leurs adhérents)
Standardisation	Très proche du critère précédent, il est pertinent mais il faut le redéfinir dans un contexte où la standardisation peut vouloir dire pièces "commercialisées" ou simplement disponibles. De plus la fabrication locale ne contribue pas à la standardisation des pièces et des composants pour conserver le monopole de la fabrication.
Modularité	Non pertinent parce que les modules ne seront pas financièrement à la portée des utilisateurs et que la fabrication en petite série ne permet pas d'amortir le surcoût économique.
Déteçtabilité	Très pertinent parce qu'il facilitera le diagnostic exécuté par un personnel peu ou pas formé.

L'analyse de nombre de ces critères montre bien leur pertinence. Nzie (2006) propose leur intégration progressive en fonction des différentes phases d'un processus de conception. Concevoir pour la maintenabilité, c'est à dire réduire le temps de réparation est une priorité pour des moyens de production en grande série mais cette priorité est certainement moindre dans le cas d'une production locale telle que la pratiquent les petites entreprises agroalimentaires. Cependant elle est nécessaire pour faciliter les tâches de maintenance.

4. Design For Reliability (DFR)

Ireson et Coombs (1988) proposent les règles de conception pour intégrer la fiabilité (tabl. 2.2):

Tabl. 2.2 : Règles de conception pour intégrer la fiabilité

Règles	Pertinence
Simplicité de la fonction d'usage (manipulation)	Pertinent pour simplifier les tâches de maintenance de l'équipement. Plus la fonction d'usage est simplifiée moins il y a d'éléments à maintenir.
Simplicité des caractéristiques physiques des matériaux	Pertinent pour simplifier la fabrication des pièces, la prise en compte de la matière d'œuvre
Utilisation de préférence dans la conception de pièces déjà éprouvées ou redondantes	Pertinent car les informations venant de l'usage des pièces sont les seules sources disponibles pour caractériser la fiabilité d'une pièce. Ex : Il y a des roulements qui seront reconnus plus fiables que d'autres sur la base de l'usage.
Evaluation des tolérances	Pertinent parce que dans les PAO les tolérances précises sont difficiles à réaliser par les fabricants. Les concepteurs pourront éviter d'avoir des tolérances de l'ordre du micron par exemple car cela peut représenter une contrainte de fabrication.
Prise en compte de l'environnement local	Pertinent mais les normes en matière de sécurité ne sont pas en générale mises en œuvre dans les PTE, PE et ME.
Prévision de systèmes de relais en cas de défaillance d'un système critique	Ils ne sont pas pertinents pour des équipements simples de petites unités de transformation de PAO. Les systèmes en parallèle sont coûteux et complexifie un équipement.
Evaluation des erreurs humaines possibles : les activités humaines et la limitation des erreurs humaines sont importantes dans l'étude de la fiabilité. Il s'agit de maîtriser l'interface homme-machines.	Prendre en compte les erreurs humaines sur la base d'accident déjà rencontré peu être pertinent dans un contexte où il n'existe pas de données capitalisées et exploitables par rapport à la sécurité. Mais il n'est pas un point majeur si l'équipement est simple comme c'est le cas des petites unités de PAO.
Identification et élimination des modes de défaillances critiques	Pertinent, mais pour cela il faut déterminer le sens de la criticité dans le contexte de PAO.
Détection des défaillances	Très pertinent parce que dans les PAO <i>a priori</i> c'est la

prévisibles	maintenance curative qui est appliquée. Ceci permettra de songer à une maintenance prédéterminée à un signe avant coureur en privilégiant les indicateurs d'usure dans la conception.
Entretien préventif	Très pertinent car l'entretien est souvent négligé au niveau des petites unités de transformation. Il sera important de définir une politique préventive de maintenance dès la conception d'un équipement mais basée sur l'expérience des acteurs qui ont habituellement la charge de la maintenance des équipements.

Dans notre contexte on pourra se poser la question si la fiabilité est prioritaire dans le cas des PAO. Cependant les règles sur la simplicité de la fonction d'usage (service), l'utilisation de pièces déjà éprouvées, la prise en compte des erreurs humaines sont pertinentes dans le contexte de PAO où plusieurs acteurs participent à la maintenance des équipements.

5. Design For Maintenance (DFMAIN)

C'est une conception qui prend prioritairement en compte la maintenance globale de l'équipement et les actions de réparation suite aux défaillances (Chen et Cai, 2003) avec pour objectif de :

- préserver la durée de vie des systèmes de production,
- réduire le coût des interventions,
- réduire les temps d'arrêts en prévenant les défaillances,
- réduire les temps d'arrêts réguliers en diminuant les tâches de maintenance spécifique.

Ce concept s'appuie sur des règles et indicateurs du DFMT, DFR et du DFA. Le concept en lui-même est pertinent parce qu'on pourra l'adapter dans notre contexte en proposant des règles et indicateurs pour apporter une réponse à la problématique de la maintenance dans les PAO. Dans ces pays les équipements sont constamment adaptés et modifiés par les utilisateurs, souvent sans aucun respect des lois physiques de résistance des matériaux, l'approvisionnement en pièces non disponibles sur place est une contrainte forte, les modes de fabrication sont peu diversifiés (usinage par machines conventionnelles, mécano-soudure), plusieurs acteurs sont impliqués dans la maintenance, production et maintenance sont faites sans prévisions budgétaire... En conséquence les objectifs, les règles et les indicateurs sont à redéfinir dans cet environnement.

Dans le DFX il y a des indicateurs qui permettent d'évaluer la solution à reconcevoir et des règles de conception pour apporter les actions correctives. Il s'agira pour nous de rechercher les indicateurs pertinents puis d'établir des règles de conception, porteurs de savoir-faire et de pratiques spécifiques à ce contexte. A cet effet une caractérisation de l'environnement de la maintenance et de l'utilisateur lui-même est indispensable. La philosophie du concept de DFX peut être utilisée pour intégrer la maintenance de PAO.

IV. Apports récents en intégration de la maintenance dans la conception en Afrique

Plusieurs outils en réponse à la problématique de l'intégration la maintenance dans la conception d'équipements en Afrique de l'Ouest ont été proposés par des travaux récents, s'appuyant sur la réalité du contexte sociotechnique et socio-économique africain.

1. Conception d'Équipements dans les pays du Sud pour l'Agriculture et l'agroalimentaire, Méthode (CESAM)

La méthode CESAM (Marouzé, 1999) est une méthode de conception multidisciplinaire, conduite par une équipe de 4 à 5 personnes, centrée sur l'utilisateur et conduite selon les principes de l'ingénierie concourante et de la conception à coût objectif (CCO). Son fonctionnement nécessite l'utilisation d'outils dont le CdC2E (Cahiers des Charges Environnement Equipement) qui contribue au choix des principes (phases 3), des solutions techniques (phases 4) et aide à la définition du produit (phases 5). Le CdC2E regroupe les contraintes relatives aux approvisionnements, à la fabrication et à la maintenance des équipements sous forme de check-lists. Il traite aussi bien des aspects matériels (matière, outils, machines, coûts) qu'immatériels (savoir-faire, relation entre les acteurs). Il vise à constituer une banque de données sur la maintenance. Une liste de savoir faire locaux dans la zone d'utilisation est dressée : fonderie de fonte ou d'aluminium, mécano-soudure, aciers, inox, mécanique, plasturgie, etc. Les sources d'approvisionnement local en matière d'ouvre, de composant neufs ou de récupération sont également identifiées. Le CdC2E constitue une première approche d'intégration de la maintenance mais sans proposer d'outil ou de démarche spécifique. Les différentes phases de la méthode (Fig. 2.4) sont réalisées grâce à une équipe de conception pluridisciplinaires (Tab. 1.3) :

Tabl. 2.3 : Compétences de l'équipe de conception et compétences associées d'un projet CESAM (Marouzé, 1999)

Compétences de l'équipe		Compétences associées
Compétences	Type de structure	
Génie mécanique et fabrication	Universitaire/Recherche	Fabricant
Génie des procédés, produit	Universitaire/Recherche	Economiste
Socioéconomique	Recherche ou développement	Utilisateur
« Connaissance du terrain »	Société de développement	

On observe que le métier « maintenance » n'apparaît pas en tant que tel dans le tableau proposé.

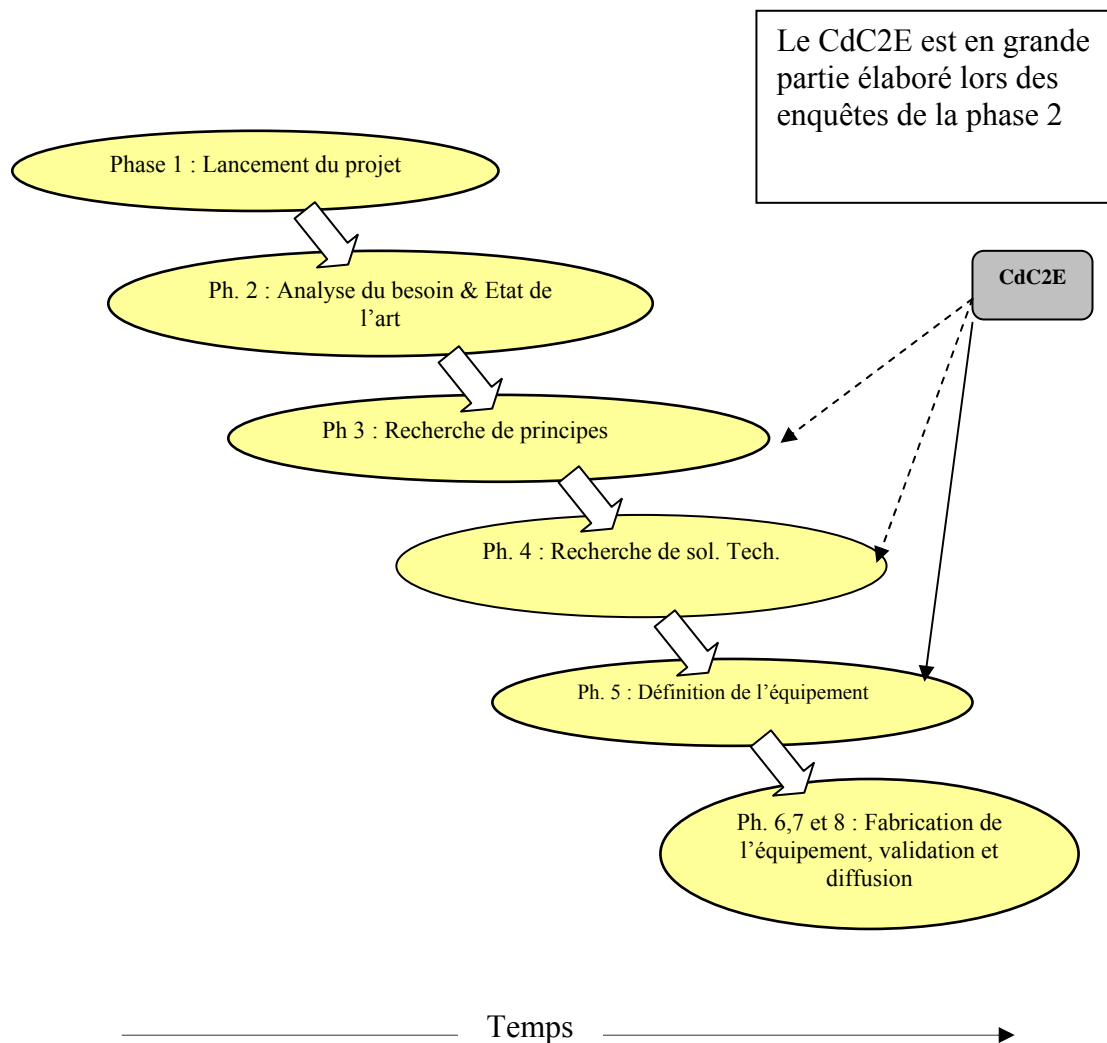


Fig. 2.4 : Les différentes phases de la méthode CESAM (Marouzé, 1999)

La phase 1 : Lancement du projet

Elle vise à proposer les objectifs globaux du projet de conception. Il s'agit de la délimitation du problème à résoudre, la constitution d'une équipe de conception, la programmation des moyens et activités.

La phase 2 : Analyse du besoin et état de l'art

C'est une phase importante (20 à 30 % de la durée totale) car c'est à ce niveau que le diagnostic du problème à résoudre est réalisé. Il s'agit d'identifier les utilisateurs et leurs attentes par rapport au futur équipement en réalisant principalement une enquête de terrain et une Analyse Fonctionnelle (AF). Le CdC2E (Cahier de Charge Environnement de l'Équipement) est construit à ce niveau lors des enquêtes.

La phase 3 : Recherche de principes

L'opération unitaire de transformation en agroalimentaire détermine le principe mécanique, physique ou biologique, utilisé pour remplir une fonction de l'équipement. C'est à cette phase que les lois et principes de ces opérations élémentaires de transformation sont approfondis. Les informations du Cd2E aideront les concepteurs à éviter le choix de principes difficiles à réaliser localement. Les outils d'analyse fonctionnelle comme le Bloc Diagramme Fonctionnel (BDF) et les maquettes fonctionnelles sont utilisés par l'équipe de conception pour tester la faisabilité du principe. Ils permettent également d'avoir une représentation des fonctions de service et offrent la possibilité de valider les choix avec des utilisateurs associés à l'équipe de conception.

La phase 4 : Définition des solutions techniques

Il s'agit de définir les surfaces fonctionnelles et les mécanismes qui permettent la réalisation des principes mécaniques. Les spécifications techniques des composants et des sous-ensembles sont définis à cette phase qui nécessite des informations précises : connaître les composants disponibles ou accessibles. Les modes de fabrication correspondants à aucun savoir-faire local identifié dans le CdC2E doivent être évitées.

La phase 5 : Définition de l'équipement

Le futur équipement est défini de façon précise à cette phase. L'environnement de la maintenance et de la fabrication décrit dans le CdC2E est intégré au fur et à mesure que l'équipement est défini. Concevoir des pièces en inox par exemple peut être proscrit si

localement il n'existe pas de savoir-faire capable de maîtriser le travail de cette matière d'oeuvre.

La phase 6 : La fabrication

Un équipementier est associé à cette phase de réalisation du prototype pour la fabrication de l'équipement.

Les phases 7 et 8 : Validation technique, économique et sociale puis diffusion

Cette phase de validation est réalisée avec un (ou plusieurs) utilisateur(s) qui confirmera si les performances de l'équipement répondent au cahier des charges initial. L'épreuve d'endurance permettra de déceler les défaillances majeures à corriger avant la diffusion.

L'idée de constituer une banque de données montre bien l'intérêt de la méthode pour les questions liées à la maintenance. L'intérêt de la méthode CESAM est de servir de base de réflexion pour proposer et positionner des outils d'intégration dès le départ de la prise en compte de la maintenance future de l'équipement qui sera conçu. Elle offre un cadre méthodologique.

2. Le Cahier des Charges Disponibilité (CdCD), le Cahier des Charges Matière d'œuvre (CdCMo)

Azouma (2005) propose dans une dynamique très proche des outils pour intégrer la maintenance dans la conception, le CdCD, le CdCMo et des recommandations.

a. Le Cahier des Charges Disponibilité

Il fournit une liste d'informations pour définir les critères de fiabilité et de maintenabilité du futur équipement :

Pour la fiabilité il s'agit de connaître la résistance à l'usure et à la rupture des pièces et sous ensembles, le mode de fonctionnement, la charge de travail, la fréquence des pannes.

- Pour la maintenabilité il propose de recenser les composants et pièces qui sont standardisés, la durée moyenne de réparation, les tâches de maintenance, les compétences en maintenance. Il n'évoque pas le cas des pièces de récupération.

b. Le Cahier des Charges Matière d'œuvre (CdCMo)

Comme son nom l'indique c'est un inventaire des matériaux disponibles pour la construction des équipements : aciers, bois, matériaux de récupération... Cette vision permet d'avoir une classification des matériaux disponibles en fonction de leurs caractéristiques physiques apparentes. Le concepteur est orienté sur le choix de la matière d'œuvre. Le CdCMo est surtout intéressant pour intégrer la fabrication en conception plus que pour la maintenance.

c. Recommandations sur les contraintes de maintenance

Azouma (2005) définit les règles suivantes :

- choisir les systèmes de fixation de pièces parmi la gamme de systèmes locaux vulgarisés,
- choisir la durée d'usage de l'équipement en se referant à la durée de vie d'équipements similaires existant,
- réduire l'usure des pièces en choisissant rigoureusement le couple moteur par rapport au couple résistant,
- utiliser des matériaux résistant aux conditions agro climatiques pour améliorer la fiabilité,
- réduire le nombre de systèmes de fixation afin de diminuer le temps de montage et de démontage,
- intégrer le critère de portabilité en vue de faciliter la manutention des équipements.

Ces recommandations sont pertinentes mais difficiles à mettre en oeuvre. Le CdCD et le CdCMo sont des banques de données concernant les ressources disponibles localement. Ces outils sont alimentés au départ par des enquêtes de terrain auprès des utilisateurs et des équipementiers mais ne prennent pas suffisamment en compte la répartition spatiale, les difficultés de communication, les distances, l'intensité des relations entre l'utilisateur et les autres acteurs participant potentiellement à la maintenance de son équipement. Ils ne permettent pas non plus aux concepteurs d'intégrer systématiquement les connaissances métier (fabricants, maintenanciers, soudeurs) spécifiques aux PAO dans le produit.

3. Méta-modèle de Maintenance : extension du Modèle de Conception Distribuée (MCD) de Salaü à la maintenance

Nzie (2006) s'appuie sur le Modèle de Conception Distribuée (MCD) de Salaü (1995) pour proposer un modèle d'intégration de la maintenance dans la conception. Le MCD est basé sur le principe de connexionnisme et d'émergence. Les unités élémentaires peuvent être connectées ensemble et former un réseau. Dans le MCD suivant le formalisme « *System, Tool, Object, User* » (S.T.O.U) (Fig. 2.5) seul les aspects fonctionnels, structurels et fabrication d'un système sont considérés par les concepteurs qui ont plus le souci de fiabiliser et de rendre fabricable le produit que d'analyser son mode de détérioration. Il est basé sur le concept d'intégration de points de vue et de corrélation entre 4 entités : l'Utilisateur (U), l'outil utilisé (T), l'objet conçu (O) et le système (S) qui inclut les trois premiers composants. Le corrélateur est la description des liens entre les points de vue.

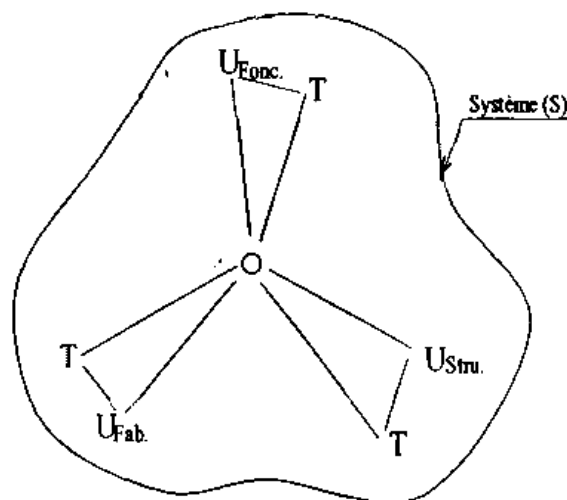


Fig. 2.5 : Représentation du MCD dans le formalisme S.T.O.U (Charrel, 1993)

- le module fonctionnel permet de proposer un cahier des charges en relation avec les besoins du client,
- le module structurel réalise le choix des composants qui répondent le mieux possible à la réalisation et aux performances des fonctions de services retenues,
- le module de fabrication a pour rôle d'utiliser au mieux le potentiel de fabrication de l'entreprise.

Un formalisme algébrique à partir des données manipulées par chaque module permet d'avoir un compromis qui fera émerger le produit final. Ce MDC a été étendu en proposant un module supplémentaire permettant de prendre en compte la maintenance, sous forme d'un méta-modèle.

Pour ce faire, ce méta modèle considère les trois sous-modèles suivants :

- Le modèle fonctionnel de maintenance basé sur le principe qu'une fonction de service du produit se dégrade. Il consiste à visualiser les « *features* » ou caractéristiques se rapportant aux surfaces fonctionnelles qui peuvent être à la base de la détérioration d'une fonction du produit.
- Le modèle structurel de maintenance : il permet de rétablir facilement les fonctions dégradées ou perdues par des actions sur le produit réel lors de son exploitation. Ce modèle permet à l'acteur maintenance de visualiser les constituants du produit qui peuvent détériorer une fonction du produit.
- Le modèle comportemental de maintenance : le modèle permet de représenter le mécanisme de détérioration du produit ou d'un de ses constituants.

Ces informations permettent aux concepteurs d'intégrer des critères de maintenabilité. Nzie (2006) propose une chronologie d'intégration des critères de maintenabilité dans le processus d'émergence du produit : une prise en compte de la connectique, la modularité, la détectabilité, l'interchangeabilité, la réparabilité, la testabilité au niveau du produit modèle fonctionnel et de prendre l'accessibilité, la démontabilité, la visibilité, la manutentionnalité, la nettoyabilité au niveau du produit modèle structurel.

Ce méta-modèle d'après Nzie (2006) est fastidieux à élaborer car chaque ensemble doit faire l'objet de plusieurs sous modèles et avec des langages différents.

Les interactions restent théoriques et n'intègrent pas à ce stade du travail, les points de vues d'une équipe pluridisciplinaire. L'aspect maintenabilité est très bien pris en compte mais pas les aspects de soutien logistique au niveau des réseaux de maintenance tels qu'ils existent en Afrique de l'Ouest. L'aspect économique n'est pas non plus pris en compte alors qu'il est essentiel. L'intérêt de la méthode réside dans la possibilité de modéliser la maintenance en se basant sur le maintien, le rétablissement de chacune des fonctions et de chaque constituant du produit. Les aspects liés au contexte spécifique de la maintenance de PAO n'ont pas été suffisamment pris en compte par cet outil qui peut se révéler très intéressant pour des équipements appartenant aux PE et ME. Par ailleurs, Nzie ne propose dans ses travaux qu'une validation très partielle des concepts qu'il propose.

V. Réseau d'acteurs

Nous savons que la maintenance des équipements dans notre contexte est mobilisatrice d'acteurs en réseau sociotechnique. Comme nous l'avons souvent dit l'intégration de la maintenance dans la conception ne peut se faire sans intégrer ce réseau. Il semble que le réseau d'acteurs formé autour de la maintenance soit un système, une forme de gestion et de prise en charge de la maintenance. Dans les PAO la maintenance en particulier et la vie en général ont particulièrement une dimension sociale. Un ensemble de concepts permet d'expliquer leur structure organisationnelle, comment ces réseaux se construisent et fonctionnent. Il est également intéressant d'étudier la trajectoire appropriative des utilisateurs par rapport à la maintenance. Le concept de réseau d'acteurs sera développé ici et servira de modèle d'analyse dans la suite de cette thèse.

1. La structure d'une organisation sociale

La structure interne d'une organisation sociale est régie par des règles ou conventions explicites ou implicites entre les acteurs. Ces conventions ou règles résultant d'un commun accord, tacite ou explicite, définissent les relations entre les acteurs. Elles justifient l'existence même de l'organisation dans l'environnement. Les personnes disposent également d'un ensemble d'appuis conventionnels. Ces appuis conventionnels (Norman, 1993) peuvent être etc. et sont produites dans le processus d'échange entre les acteurs. Dodier (1993) les définit comme étant « *l'ensemble des ressources qui permettent d'élaborer une communauté, même minimale, de perspectives pour coordonner des actions. Ils sont ancrés à la fois dans les personnes et dans les supports externes sous forme d'objets et de repères. Ils sont conventionnels, au sens où leur existence témoigne d'un travail antérieur pour constituer, entre les personnes, ou entre les personnes et leur environnement, les préalables d'une orientation commune* ».

Les appuis conventionnels résultent donc d'ajustements incessants entre les acteurs dans le cours de leurs actions concrètes. Selon le type d'appuis conventionnels fréquemment utilisés on distinguera deux formes d'organisation (Reynaud, 1988) :

- une organisation formelle, c'est à dire officielle, qui a valeur juridique et qui fait allusion à des règles explicites écrites par l'organisation. Ces règles pourraient permettre de situer les responsabilités en cas de fautes.

- une organisation informelle car non reconnue officiellement, en partie tacite, et fait allusion à un ensemble de règles qui apparaissent seulement après entretien avec les intéressés.

Les conventions dans les PAO se fondent sur la relation de confiance. Les organisations se forment autour de relations déjà existantes dans le milieu. L'entrepreneur fait appel à la proximité sociale c'est-à-dire utilise les relations familiales, amicales ou claniques. Le choix des acteurs qui participent à la maintenance est également soumis à ces règles.

D'autre part, les méthodes de travail, l'accès aux postes, la promotion, les salaires, l'adoption d'une nouvelle technique et le partage de responsabilités dans l'entreprise sont le résultat de différentes formes de régulations observées :

- les régulations autonomes sont des règles produites à la base par les exécutants : elles désignent un ensemble de normes sociales.
- Les régulations de contrôle sont des règles fixées par la direction d'une entreprise. Elles pèsent de l'extérieur sur la régulation d'un groupe social.

Les régulations autonomes peuvent s'opposer aux régulations de contrôle et les contrecarrer et

Donc, de ce fait, les enjeux de pouvoir dans les organisations sont liés à la rencontre de ces deux régulations (Jouët, 2000). La négociation des règles de travail par exemple entre les représentants du personnel et les représentants des syndicats aboutissent à la régulation conjointe.

Dans notre cas, le régime de régulation principal est un régime autonome entre les acteurs de la maintenance. Chaque acteur, en fonction de ses intérêts, construit un réseau de relations pour la maintenance des équipements. La régulation est cependant contrôlée dans le cas de la maintenance des équipements diffusés par des ONG.

L'utilisateur des équipements vulgarisés, comme nous l'avons vu dans le premier chapitre, n'est plus un simple utilisateur passif du produit qui lui est offert¹ par les équipementiers même s'il garde bien évidemment sa qualité de transformateur agroalimentaire, il devient un acteur de la maintenance (Jouët, 2000). Il construit sa « stratégie de maintenance » selon ses sources d'intérêt jusqu'à pénétrer dans le périmètre de multiples micro adaptations empiriques. L'appropriation se construit dans la relation avec les équipements maintenus et met en jeu des processus d'acquisition de savoirs (découvertes de la

¹ On peut discuter sur le terme « offert » car l'objectif principal des fabricants est de vendre les équipements, mais dans beaucoup de cas encore, ce sont des équipements fournis par les ONG ou les programmes gouvernementaux. Il n'y a donc pas d'échange financier à proprement parler. Ceci est d'ailleurs certainement un facteur de difficulté d'appropriation des équipements eux-mêmes.

logique et des fonctionnalités de l'objet, mode opératoire de la machine..., et d'habiletés pratiques).

Callon (1985) explique le comportement des acteurs en fonction des intérêts partagés. En effet, dans tout type d'organisation il y a plusieurs attitudes qui définissent la position des acteurs face à un problème à résoudre. L'intéressement est perçu comme étant l'ensemble des actions par lesquelles une entité s'efforce d'imposer et de stabiliser l'identité des autres acteurs qu'elle a définie par sa problématisation. L'intéressement réussi permet d'introduire le processus d' enrôlement qui explique le « *mécanisme par lequel un rôle est défini et attribué à un acteur qui l'accepte* ». En cas de non réussite, il y a controverse dans les relations c'est-à-dire "*manifestations qui visent à remettre en cause, discuter, négocier ou bafouer l'ordre établi par l'organisation*".

Comme cela a été soulevé dans la problématique de la maintenance des équipements en Afrique de l'Ouest, l'intégration de la maintenance ne peut se faire sans la prise en compte des acteurs qui participent à la maintenance des équipements. Il y a ici une relation d'interdépendance entre les acteurs. Par exemple, pour changer un roulement, l'utilisateur fait appel à plusieurs acteurs, à plusieurs compétences... A ce niveau il y a forcément un mode de coordination qui rend compte de l'articulation et de la dépendance de savoir-faire, des compétences qu'un acteur ne peut réaliser seul (Malone, 1994). Les dispositifs de coordination tels que les objets, règles, conventions, outils... permettent aux acteurs de construire « *un espace commun en manifestant des capacités d'intercompréhension* » (Grenier, 2003).

2. Le concept de réseau d'acteurs

L'approche réseau est une méthode de description et de modélisation inductive d'une structure relationnelle entre un ensemble d'acteurs. Elle est souvent utilisée pour caractériser empiriquement un environnement social. Le réseau social désigne « *un ensemble de relations d'un type spécifique (par exemple de collaboration, de soutien, de conseil, de contrôle ou d'influence) entre un ensemble d'acteurs* » (Lazega, 1995). Son analyse met en évidence les types de relations répétitives qui régissent la structure d'une organisation sociale.

Cette analyse des réseaux passe par une description de la structure relationnelle de l'ensemble des acteurs concernés. L'association de l'environnement technique dans les relations lui donne une configuration de réseau sociotechnique qui devient un ensemble structuré d'entités (actants ou acteurs), humaines ou non humaines connectées par des liens

(relations, échanges) (Vinck, 1999). La structure du réseau sociotechnique se présente comme suit :

- Les entités d'acteurs humains et non humains, ou toutes autres entités susceptibles de jouer un rôle dans les négociations, participent à la configuration du réseau. Les entités sont également caractérisées par leur densité. Elles participent à la délimitation de la taille du réseau.
- Le lien entre les acteurs dans un réseau désigne les échanges ou relations entre acteurs. Il traduit une forme d'interaction marquée entre les acteurs. On pourra dans certain cas estimer qualitativement la fréquence des relations entre les nœuds formés par les acteurs. Son identification permet de ressortir les stratégies développées dans la structure. La nature des liens détermine les activités du réseau et plusieurs dimensions (sociale, technique,...) peuvent être distinguées.
- Le positionnement des acteurs dans la structure : pouvoir, centralité, autonomie, prestige). Le pouvoir est une relation d'autorité que possède un acteur sur la distribution inégale des ressources c'est à dire qu'il détient le « *contrôle des ressources pertinentes qui permet de mettre l'autre en situation d'incertitude* » (Lazega, 1995). Quant à la centralité, elle indique une position de celui qui maintient une dépendance. Dans le cas de degré de centralité élevé, il sera dit *réseau fédéré ou polarisé*. L'autonomie n'est autre que la capacité d'un acteur à se passer de l'aide des autres. La position de prestige est souvent occupée par des acteurs ayant une importance culturelle, sociale ou historique. Sur ce dernier point on pourra parler de position stratégique ou de pouvoir spécifique.
- L'association entre position et comportement des acteurs notamment les processus d'enrôlement qui se nouent.
- La délimitation du réseau peut être décrite : par exemple une frontière peut être de type mouvante (Vinck, 1999) dans lequel les limites ne sont pas clairement identifiées. Toutefois, il y a toujours une délimitation d'un point de vue territorial, historique, scientifique...

Parmi les réseaux sociaux il y a principalement le réseau diffusionniste (Bardini, 1996) et celui de l'acteur réseau.

Le réseau diffusionniste se focalise sur l'analyse des flux de communications et les interactions comportementales dans une organisation d'acteurs. Les liens de connexion (les relations) sont rigidement définis à cause de l'analyse quantitative des flux de communication. De ce fait, il ne permet pas de décrire la dynamique sociale mise en œuvre dans le réseau.

L'acteur réseau, à la différence du premier, privilégie l'analyse des interactions dynamiques entre acteurs. Il se focalise sur les ajustements ou négociations développés au cours des interactions (Callon, 1986). Ce type de réseau est riche en informations parce qu'il montre les multiples facettes (dimensions) du réseau créée par des jeux d'enrôlements ou d'intérêts. Il est donc recommandé pour la description de la dynamique entre acteurs du réseau sociotechnique à partir de l'analyse des négociations.

Parmi les réseaux étudiés on peut citer le réseau de coopération scientifique (Vinck, 1999) qui montre que les objets et les représentations participent de façon significative à la structuration d'un réseau. En Afrique, une étude menée sur les petites entreprises de transformation de manioc montre l'existence de plusieurs réseaux sociaux fondés sur la nature des relations (Bazabana, 1995) : il s'agit des réseaux de relations régionales, villageoises, ethniques, familiales. Ces réseaux informels ou réseaux cachés selon Bazabana (1995) sont composés d'acteurs divers, mouvants, difficiles à repérer, entretenant d'incertaines relations fluctuantes au contenu mal cernées, relation épisodiques, sans objectif unique, clair et permanent; ils ont quelque chose d'aléatoire. Les acteurs de la maintenance et plus largement les acteurs impliqués dans la fabrication, l'exploitation et la maintenance d'un équipement, constituent typiquement un réseau informel.

Comme autre exemple, il y a également les réseaux de médecins pour les soins de personnes âgées étudiés par Grenier (2003) et caractérisés comme étant « *une articulation dynamique, supportée en tout ou partie par des systèmes d'information et de communication, de cinq briques réticulaires différentes mais complémentaires dont les fonctionnalités sont : sociabilité, organisation et management (tâches, rôles, décision), information et connaissance, outils de gestion et esprit et enjeux* ». Les briques font ressortir le caractère multidimensionnel du réseau.

Le réseau d'acteurs formé autour de la maintenance des équipements est une forme et un mode particulier de gestion des savoir-faire entre les acteurs (Pesqueux, 2002). Chaque acteur dépend à la fois de son propre apprentissage et de celui des autres. Dans le contexte africain, les réseaux ont pour but de minimiser les coûts de transaction ou d'organisation tant dans l'émergence que dans le fonctionnement des petites entreprises. Il permet de résoudre les conflits et de maintenir l'unité du réseau. Dans le réseau il y a déjà la confiance entre les acteurs et cela facilite le dialogue, la communication, l'entraide qui est un mode de comportement encré dans la culture africaine. Il peut aussi encourager le laxisme dans l'entreprise comme souvent c'est le cas pour la gestion des finances. Il y a donc suffisamment de raisons pour que le concept de réseau convienne pour analyser l'environnement de la

maintenance qui ne se réduit pas uniquement à une somme de techniques et de facteurs économiques mais intègre également une dimension sociale. La notion de réseau interviendra dans cette thèse comme un outil conceptuel qui cherche à expliciter la dynamique relationnelle des acteurs de la maintenance.

VI. Problématique de la maintenance

Les sciences de la conception de produits ont beaucoup évolué depuis ces dernières années dans les pays industrialisés au bénéfice de la qualité dans la production à grande échelle parce que les entreprises sont constamment en quête d'innovation à cause des effets de la mondialisation (concurrence, compétitivité, etc.). De la conception séquentielle on est passé à de nouvelles formes d'organisations telles que la conception simultanée (Sohlenius, 1992; Smith, 1997), intégrée (Tichkiewitch, 1998) ou distribuée (Brissaud, 1998). Dans la première approche de la conception de type séquentiel, la connaissance créée dans la conception est séquentielle et le temps d'exécution d'un projet de conception est long. En revanche, les nouvelles approches de l'organisation de la conception offrent l'avantage d'intégrer le plus tôt possible les contraintes de la phase de conception suivante durant la réalisation d'une phase donnée. Elle permettent aussi à des équipes pluridisciplinaires d'intégrer plusieurs points de vues dans le cycle de vie du produit : ainsi le temps d'exécution du projet de conception se trouve réduit et la communication entre les équipes de conception améliorée. On retrouve également la pratique de l'ingénierie collaborative (Boujut et Laureillard, 2002; Boujut, 2003) qui offre l'avantage à ces équipes grâce à l'instrumentation du processus de coopération, une meilleure gestion et utilisation de la connaissance ou des savoir-faire pour intégrer les métiers dans le cycle de vie du produit. Avec la mise en place des organisations concourantes le champ de la conception s'est élargi en cherchant à intégrer de nouveaux métiers qui ne soient pas uniquement ceux rencontrés classiquement dans les bureaux d'études.

Ces travaux sur la conception ont été mobilisés pour construire une méthode de conception collaborative originale « Conception d'Equipements dans les pays du Sud pour l'Agriculture et l'agroalimentaire, Méthode » (CESAM) (Marouzé, 1999). Cette méthode vient apporter une réponse aux équipes de conception des pays en développement dont les

démarches de conception ne sont pas structurées et ne prennent pas assez en compte les besoins de l'utilisateur dans son contexte sociotechnique et économique. Elle permet dans sa mise en œuvre de tenir compte du contexte local des équipes de conception et souligne l'importance de la prise en compte de la maintenance dès les phases amont de la conception. C'est à partir de cette méthode que nous avons initié nos travaux et ceux-ci ont pour objectif de compléter et d'enrichir la méthode CESAM.

Dans un autre registre, les concepts de fiabilité, de maintenabilité, de disponibilité sont très portés sur la notion d'optimisation du temps : temps nécessaire à l'élimination de la défaillance, le temps étant traduit en perte, directe ou indirecte, d'argent, donc en perte de compétitivité économique. Dans le contexte africain, les temps liés à la logistique sont souvent prépondérants par rapport aux temps d'intervention. Par ailleurs la perception du temps est particulière dans les PAO, cela se traduit souvent par une indifférence étonnante par rapport aux temps d'arrêt et d'attente des pièces de rechange par exemple : les concepts sont donc à revisiter dans notre contexte.

D'autres travaux de recherche dans les pays industrialisés ont déjà développé des méthodes, permettant d'intégrer la maintenance dans la conception. Mais à l'origine ces méthodes s'appliquent à un environnement industriel structuré et donc favorable à la traçabilité rigoureuse qui sert de référentiel pour quantifier les effets de la défaillance. Ces méthodes (AMDEC, Ishikawa, APR...) utilisent la « criticité », la « gravité », la « fréquence » ou encore le notion de « risque », bien compris dans les pays industrialisés mais pas forcément adaptés à l'environnement sociotechnique des PAO.

La littérature étudiée jusqu'ici nous propose une approche pour l'intégration de la maintenance dans la conception dans la lignée des outils de type DFX « Design For X » (Kuo, 2001). Ce concept du DFX sur lequel nous nous appuyons dans cette thèse se résume comme étant « concevoir pour le métier X » et n'est autre qu'une généralisation des outils du DFA «Design For Assembly» (Boothroyd et Alting, 1992) / DFM « Design For Manufacturing » (Stoll, 1988; Corbett, 1991).

L'expertise métier, en l'occurrence la maintenance, est formalisée en règles de conception pour participer à la prise de décision dans la conception. Les règles sont le plus souvent pertinentes mais sont à redéfinir dans un contexte de PAO (ce que nous ferons dans le chapitre VI). Par exemple dans le design for maintenance (DFMt) il est préconisé d'utiliser des pièces standard dans la conception. Cependant les utilisateurs des PAO préfèrent modifier un équipement pour l'adapter à leur besoin de production et utiliser des pièces de récupération soit pour des raisons de coût soit parce que la pièce « standard » n'est pas disponible sur place.

La notion de pièce standard et celle de pièce "commercialisée" devront être précisées. Les concepts du DFX ont été développés dans le cadre de la production industrielle à grande échelle (automobile, électronique et télécommunication) et dans des secteurs où la fiabilité, la maintenabilité, la logistique étaient indispensables (secteur militaire et secteur aéronautique). Le contexte des petites entreprises agroalimentaires africaines est bien différent, même si les exigences croissantes de qualité des produits alimentaires par les consommateurs africains risquent de remettre en cause la production approximative telle qu'elle est souvent pratiquée aujourd'hui.

Pour réparer une défaillance plusieurs acteurs sont mobilisés. La maintenance ne dépend plus uniquement de l'utilisateur, ou du fabricant seul mais d'un réseau d'acteurs dans un environnement où on retrouve un espace, des acteurs, des distances, des intérêts sociaux et économique particuliers...

Il s'avère donc nécessaire de rechercher ou d'adapter des concepts spécifiques de maintenance dans les PAO à intégrer dans la conception. Comment traduire cet environnement qui est le support de la maintenance en règles de conception à intégrer dans la conception ?

Ceci nous conduit à formuler la problématique suivante :

<p>Comment prendre en compte les pratiques de maintenance locales dans les PAO en se basant sur les concepts de maintenance déjà développés dans les PdN pour intégrer la maintenance dans le processus de conception collaborative des équipements ?</p>

CHAPITRE III

ANALYSE DES PRATIQUES DE MAINTENANCE DANS LES PETITES UNITES DE TRANSFORMATION AGROALIMENTAIRE

I. Introduction

Toute amélioration de l'existant part d'une analyse de pratiques traditionnelles. Le contexte spécifique des PAO est tel que les petites unités de transformation ont des pratiques traditionnelles de maintenance que nous allons analyser afin de proposer des outils d'aide à l'intégration de la maintenance dans la conception : pour cela il s'agira de caractériser l'environnement de maintenance au regard des concepts de maintenance déjà développés dans les PdN. Dans cet environnement la maintenance des équipements est structurée en réseau d'acteurs, mais il n'y a pas un outil spécifique aux PAO pour l'analyser et le modéliser afin de mieux comprendre son fonctionnement. Or intégrer la maintenance des PAO c'est également prendre en compte ce réseau d'où la nécessité pour nous de proposer un modèle de représentation de l'existant qui servira à orienter les choix de conception.

Une expérimentation de la méthode AMDEC permettra de vérifier la pertinence d'une conception collaborative intégrant les acteurs du réseau de maintenance. La méthode AMDEC a priori est intéressante dans le cadre des petites unités de PAO ne disposant pas de traçabilité car c'est une méthode qualitative, donnant lieu à une évaluation par consensus sur la maintenance des équipements etc.

II. Caractérisation de l'environnement de la maintenance

1. Objectifs

Il s'agit d'analyser les pratiques de maintenance des petites unités de transformation agroalimentaire et de rechercher le sens donné aux principaux concepts de la maintenance (la fiabilité, la maintenabilité, la disponibilité) par les acteurs qui participent à la maintenance. Cette étude va permettre de comprendre la structure organisationnelle des acteurs de la maintenance pour l'intégrer dans une démarche de conception.

2. Matériel et méthode

L'étude concerne des unités de transformation représentatives au Burkina Faso. Le Burkina est un pays sahélien très actif dans la transformation des oléagineux, des céréales et des fruits. Les enquêtes ont été réalisées dans les deux principales villes du Burkina : Ouagadougou la capitale et Bobo Dioulasso deuxième et centre économique du pays. C'est pour leur dynamisme économique et la forte concentration de TPE, PE et ME que le choix s'est porté sur ces deux villes qui, selon la Chambre du Commerce de l'Industrie du Burkina Faso (CCIA-BF) regroupent 70 % des petites unités de transformation agroalimentaire (Anon., 2006b), grâce à leur proximité des marchés de consommateurs urbains (en milieu rural où prévaut l'autoconsommation, on achète peu de produits transformés).

2.1. Les fiches d'enquêtes

Ces fiches d'enquêtes sont constituées de questionnaires semi directifs. Elles avaient déjà fait l'objet d'une première utilisation en 2003 pour les travaux de terrain du DEA (Bationo, 2003) auprès de treize (13) fabricants d'équipements, onze (11) utilisateurs d'équipements et 4 fournisseurs. Elles ont été reformulées dans le but d'approfondir le sens donné aux différents concepts de la maintenance et de fournir les informations pour modéliser les réseaux d'acteurs de la maintenance. Les trois fiches (annexe A) sont destinées respectivement aux utilisateurs, aux équipementiers et la dernière aux fournisseurs de pièces de rechange et aux "maintenanciers". Le concept de maintenancier est défini dans le contexte

du Burkina, car ce métier est rarement l'activité unique d'un individu ou d'une entreprise. Les maintenanciers vendent des pièces de rechange qu'ils ont confectionnées et assurent des services de réparation dans leur atelier, parfois se déplacent sur les lieux de la panne. Cette catégorie d'acteur est plus orientée vers la réparation de pannes électriques (bobinage, installation électrique) ou des moteurs thermiques.

- Fiche U : Utilisateurs

Les utilisateurs (micro entreprises, TPE, PE, ME) utilisent des équipements de transformation agroalimentaire comme moyen de production. Cette fiche vise à connaître les pratiques de maintenance et les critères de l'utilisateur pour caractériser les performances d'un équipement d'un point de vue de sa maintenance. Les relations entre utilisateurs, fabricants et structure de maintenance sont également analysées.

- Fiche E : Equipementiers

Les équipementiers (fabricants, soudeurs, forgerons) fabriquent des équipements de transformation agroalimentaire destinés à la vente ou comme pièces de rechange. Cette fiche permet d'avoir essentiellement des informations sur les critères qui permettent au fabricant de prendre en compte l'approvisionnement en matière d'œuvre, les pièces de rechange, l'entretien et le suivi après vente de l'équipement. Le potentiel de fabrication et la nature des contrats avec les utilisateurs feront également partie des informations à recueillir.

- Fiche F : Fournisseurs et maintenanciers.

Les fournisseurs ont pour activité principale la vente de pièces de rechange, d'équipements ou de matière d'œuvre. Leur activité est exclusivement consacrée à la commercialisation. La fiche F permet de recenser les informations sur la vente des pièces de rechange et la nature des interventions des maintenanciers.

2.2. Les entreprises enquêtées

Plusieurs unités de transformation ont été approchées selon qu'elles possèdent des équipements de transformation. Les interviews devront permettre de recouper les informations entre les acteurs (voir Chapitre I § III.2) :

Au total 39 unités de transformation ont été enquêtées (Tabl. 3.1) :

- quinze (15) unités de transformation de céréales avec comme activités principales le décorticage et le broyage de céréales. Les céréales concernées sont le mil, le sorgho le petit mil et maïs. Les équipements utilisés sont principalement des décortiqueurs Engelberg et des moulins à meules.

- dix-neuf (19) unités transforment la graine de coton en huile. Les principaux équipements utilisés sont des presses à vis.
- cinq (5) unités font du séchage de fruits, essentiellement les mangues. Les équipements utilisés sont des séchoirs à gaz de type Atesta.

Au total 113 équipements (Tabl. 3.1) de transformation utilisés par les 39 unités sont concernés pour l'étude des pratiques de maintenance.

Tabl. 3.1 : Les unités et les moyens de production concernés par l'enquête

Unités de transformation	Nombre et type d'équipements
13 PE et 2 ME de transformation de céréales	21 Décortiqueurs (fabrication locale)
10 ME de transformation de graines de coton	21 Presses à huile (fabrication locale)
9 ME de transformation de graines de coton	20 Presses à huile (Importées)
5 ME de séchage de fruits	21 Séchoirs à gaz (fabrication locale)
Total : 39 unités	83 équipements

Le nombre d'employés des petites unités enquêtées varie entre 2 à 7 pour les PE et de 8 à 50 pour les ME. Le nombre moyen d'années d'existence est d'environ 4 ans à la date des enquêtes c'est à dire en décembre 2004.

Nous allons porté notre attention sur les entreprises qui ont le plus d'équipements c'est-à-dire les PE et ME dans le soucis d'avoir plus d'informations sur la maintenance. Les PTE possèdent surtout des équipements manuels, les pannes sont rares et la maintenance curative est sous traitée. Nous assimilons les PE disposant d'équipements aux PE. Les micro-entreprises n'ont pas été approchées car ne possédant pas d'équipements mais des ustensiles de cuisine.

En fonction des moyens et du temps dont nous disposions pour les enquêtes, trois types d'équipements ont fait l'objet d'une attention particulière pour appréhender la fiabilité et la maintenabilité. Il s'agit du décortiqueur Engelberg fabriqué localement, d'une presse à huile fabriquée localement et d'une presse à huile importée.

Les points de vue recensés sur ces trois équipements concernant la maintenance permettent d'avoir des éléments de comparaison entre les équipements fabriqués localement

et ceux importés. Par contre, le séchoir n'est pas analysé à cause de la rareté des pannes (pas de pièces en mouvement).

Les informations recueillies auprès des utilisateurs ont servi à identifier les acteurs qui participent à la prise en charge de la maintenance des équipements : il s'agit de 11 équipementiers et 12 autres structures constituées de maintenanciers et de fournisseurs. Les responsables de ces structures ont été interrogés.

2.3. Administration des enquêtes et traitement des données

La méthode adoptée pour recueillir les informations sur le terrain est celle des « *pas japonais* » (Shiba, 1995). La progression des enquêtes sur le terrain se fait en profitant de la rencontre avec les utilisateurs (Fig. 3.1) pour obtenir le nom d'un autre acteur participant à la maintenance (fournisseur, équipementier) qui pourra compléter les informations déjà recueillies : il s'agit de rebondir d'informations en informations. Cette méthode permet de vérifier les informations et de les croiser afin de mieux comprendre la nature profonde des relations entre les acteurs.

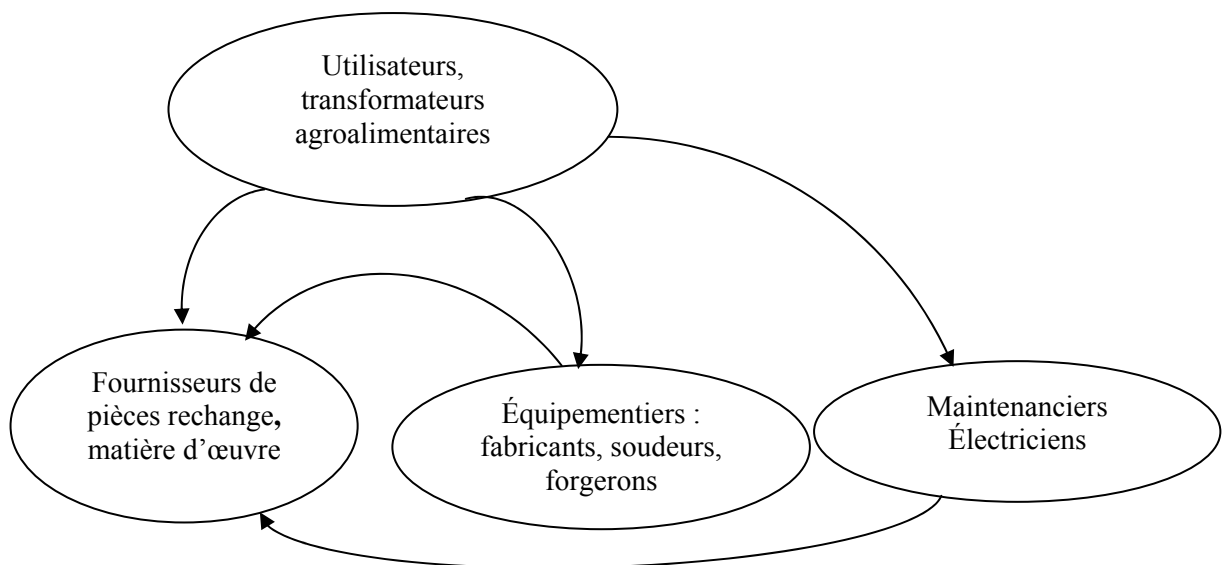


Fig. 3.1 : Identification des acteurs lors des enquêtes

Les informations recueillies sur le terrain auprès des utilisateurs ont conduit à interroger ensuite des équipementiers, des maintenanciers et des vendeurs de pièces ou matière d'œuvre. Les entretiens avec les équipementiers et les maintenanciers ont conduit à interroger les fournisseurs.

Le dépouillement de l'enquête a fait l'objet d'une analyse qualitative en utilisant le logiciel Winstat (Anon, 1995) : ce logiciel permet de réaliser des analyses qualitatives univariées. Les variables qualitatives ont été transformées en classe avec des modalités.

3. Résultats

3.1. La maintenance des équipements dans les entreprises

a. Les pratiques de la maintenance dans les entreprises

Aucune des 39 unités ne possède de service spécialisé de maintenance à cause de la simplicité des équipements. Les opérations de maintenance dans ces unités sont le diagnostic qui consiste à détecter et à localiser la panne, le démontage, l'achat de la (ou des) pièce défectueuse, leur remontage, l'essai de fonctionnement. Celles de maintenance de premier et de deuxième niveau sont confiées directement aux opérateurs. Elles consistent entre autres à remplacer les pièces d'usure courantes fabriquées localement ou les composants et qui nécessitent parfois un démontage complet. Les opérations de soudure sont souvent exécutées par les utilisateurs (64 %) qui possèdent un poste à souder (2^{ème} niveau). Les opérations de maintenance de troisième niveau et plus, dont l'apparition est peu fréquente (moteur électrique grillé, pièces de structure défectueuses) sont confiées sous forme de prestation de service à un maintenancier ou un fabricant. Il peut arriver que des fabricants interviennent sur des équipements pour les deux premiers niveaux de maintenance mais pendant la période de début d'utilisation : c'est à dire juste le temps nécessaire à l'appropriation de la technique de réparation. Les signes avant-coureurs détectés par les opérateurs (sifflement des roulements et des courroies, vibration, chaleur etc..) ne sont pas suivis d'actions correctives de maintien tant que l'équipement continue de « produire ».

Les analyses révèlent que 95 % des unités (PE, ME) enquêtées pratiquent la maintenance curative (Fig. 3.2), après la panne. Cette pratique ne dépend pas du type d'entreprise ni du domaine d'activité. Les 5 % des unités qui pratiquent la maintenance qualifiée de conditionnelle (Fig. 3.2) font appel à un équipementier ou un maintenancier au moindre signe d'apparition d'une défaillance. Dans ce cas, c'est une pratique de précaution.

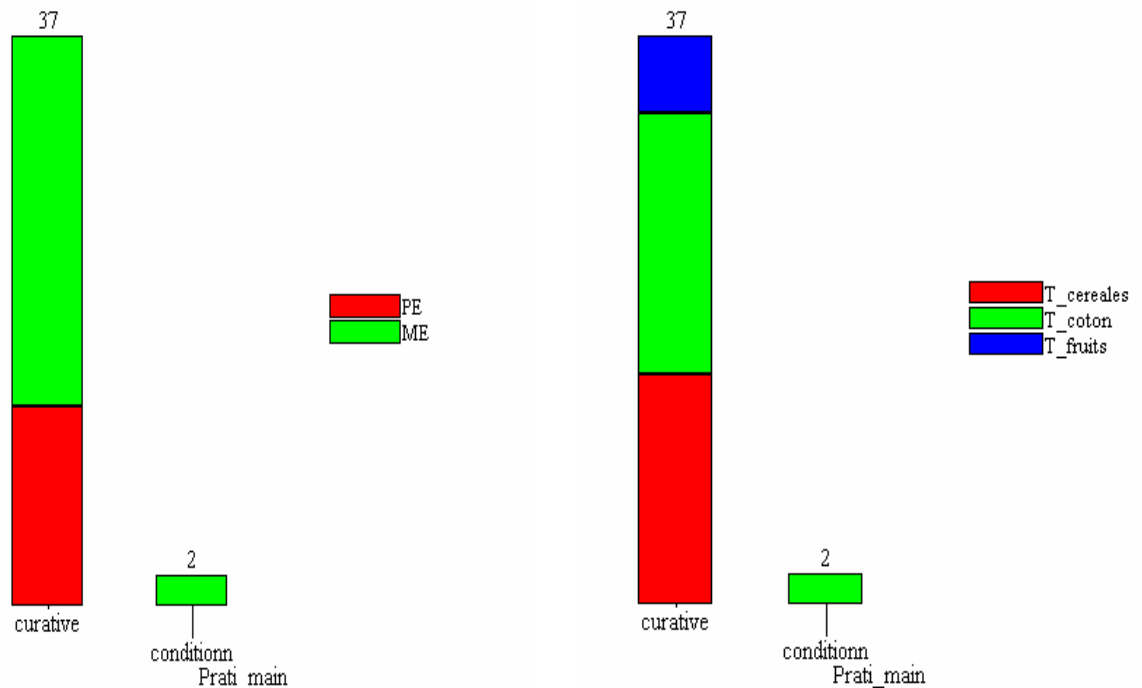


Fig. 3.2 : Les pratiques de maintenance en fonction du type d'entreprise et de son activité

La pratique de la maintenance curative est très courante et s'explique par une absence de prévision budgétaire en particulier au niveau de la maintenance car la gestion de l'entreprise est de *type familial*. Créer au départ pour subvenir aux besoins de la famille, la gestion de ces unités ne prévoit pas de mobiliser une part des revenus pour la maintenance des équipements. Les charges de la famille sont prioritaires et les problèmes sont résolus au jour le jour. C'est en fonction de la disponibilité des fonds (après prélèvement pour les charges familiales) que le gérant décide au moment de la panne des orientations à donner pour rétablir en état son équipement. Cette forme de « gestion familiale » explique la pratique de la maintenance curative et ne permet pas non plus de sécuriser l'achat des pièces de rechange de qualité. Dans ces entreprises, c'est le « social » qui est déterminant pour la gestion donc pour les pratiques de maintenance.

On peut facilement accuser le manque de formation mais cela n'explique pas tout car un projet de l'ONUDI en 1996 a tenté de former les acteurs et d'installer une politique de maintenance préventive dans deux des ME enquêtées. Ces ME possèdent d'anciennes fiches d'historiques de défaillance datant de 2000. Il s'est avéré qu'au cours de notre enquête de 2004, ces deux entreprises sont retournées à la maintenance curative car la maintenance préventive demande un investissement non programmé dans les budgets de ces entreprises. Elles refusent d'investir pour la maintenance préventive qui visiblement n'a pas été une

solution durable pour améliorer la disponibilité des équipements. Son coût paraît trop élevé d'après les informations recueillies car il faut investir pour un stock de pièces de rechange destiné à la maintenance systématique, une formation continue du personnel et un recrutement de personnel qualifié. En fait la maintenance curative, faite après la panne, correspond à la gestion générale de tous les équipements dans des économies de subsistance où le règlement des problèmes quotidiens l'emporte sur toute planification à moyen ou long terme. Ainsi, dans le domaine automobile, la technicité est largement suffisante pour faire différents types de maintenance mais les dépannages ne se font que si la panne est suffisamment grave pour empêcher les fonctions essentielles du véhicule.

Ceci montre la difficulté de préconiser dans les petites unités de transformation agroalimentaire, une politique de maintenance préventive systématique parce qu'il faut un investissement et une gestion budgétaire prévoyante.

Par ailleurs, la majorité des petites unités de transformation agroalimentaire pratiquent couramment la révision des équipements soit à la suite d'une panne ou de la mauvaise qualité du produit fini. Au cours de cette opération de démontage complet, les responsables en profitent pour remplacer quelques pièces défectueuses. La période choisie pour la révision n'est pas fonction d'un calendrier préétabli mais de l'état de fonctionnement de l'équipement et de la volonté du gérant.

b. Le management dans les entreprises

Le gérant, personnage central de la PE, supervise la production et les dépenses liées aux charges de l'entreprise (salaires, électricité, eau, loyer, achat de pièces de rechange). Il est le responsable de la maintenance et donne des directives sans toujours tenir compte de l'avis des opérateurs même s'il n'a pas une qualification particulière en maintenance. Deux situations favorisent les pannes soudaines et l'usure anormale des pièces :

Une pratique courante des utilisateurs est d'utiliser au dessus de leur capacité les équipements au moment des fortes demandes de la clientèle. Cette pratique est très courante chez les transformateurs de coton ou de céréales. Pour cela, ils montent des moteurs plus puissants que ceux fournis par l'équipementier. La non maîtrise des flux de la demande du client oblige l'utilisateur à développer un mode d'utilisation que nous appellerons « *réponse au marché ou réponse à la demande* » qui correspond à une gestion à très court terme. Cette attitude constitue une stratégie commerciale pour ne pas perdre les commandes même si, à cause des pannes, le délai de livraison n'est pas respecté et entraîne à terme, une perte de la clientèle.

70 % à 80 % des petites unités n'observent pas les règles de base du management (5S) parce que les méthodes de gestion de la qualité des produits alimentaires ne sont pas installées dans leur mentalité (Fig. 3.3). Pourtant, la propreté et le nettoyage aident à avoir une meilleure visibilité des signes avant-coureurs d'une défaillance (Nakajima, 1989; Shirose, 1994) donc une meilleure durée de vie des composants.

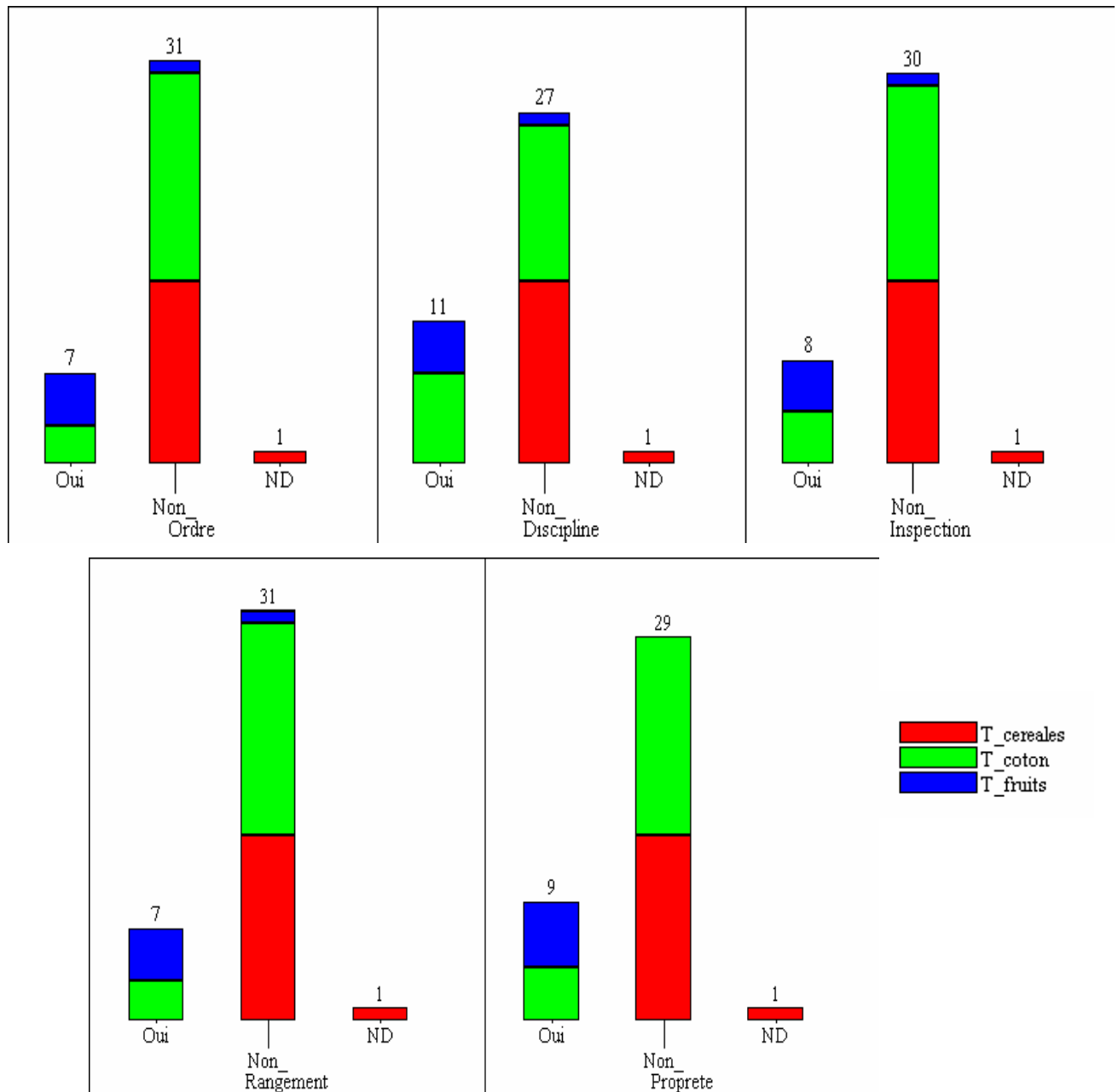


Fig. 3.3 : Pratiques assimilables aux 5 S dans les entreprises²

² Est-ce que les opérateurs observent les consignes suivantes envers les machines ?
 Le rangement Oui Non , l'ordre Oui Non , la discipline Oui Non
 L'inspection Oui Non , la propreté Oui Non , ND = Non Déterminé

Un milieu désordonné et sans rangement entraîne une perte de temps pour les opérations de maintenance et d'autre part, la discipline et le respect des règles élémentaires de maintien sont indispensables pour instaurer une politique de gestion de la maintenance (Nakajima, 1989). C'est généralement des transformateurs de fruits (séchage de fruit) dont les produits finis sont exportés, qui ont reçu une formation en gestion de production plus poussée qui pratiquent le plus les 5S.

c. Les opérateurs

Les opérations de premier et de deuxième niveau de maintenance sont dominantes et reposent sur les aptitudes des opérateurs de production. Ce type de personnel est recruté en fonction des liens sociaux c'est à dire d'abord dans la famille ou par affinité. De ce fait, il est souvent difficile d'instaurer une politique de discipline quand les liens sociaux priment. Toutefois, les opérateurs chargés de la conduite des équipements effectuent le premier diagnostic en cas de panne pour ensuite informer le gérant. Ils n'ont pas reçu de formation spécifique pour la maintenance des équipements : 71 % des opérateurs ont une « *formation sur le tas* » (par apprentissage) (Fig. 3.4).

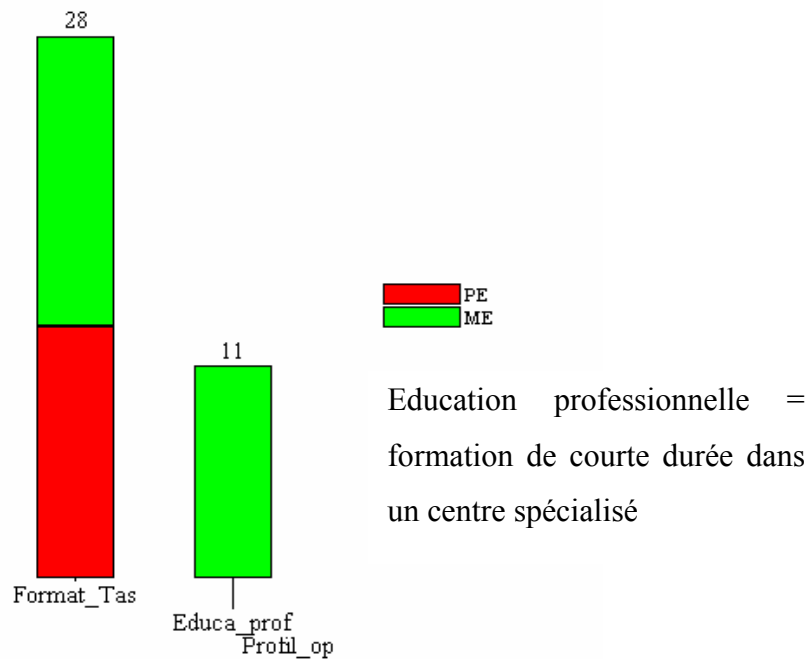


Fig. 3.4 : Formation initiale des opérateurs

D'un niveau scolaire généralement très faible, les opérateurs ont des difficultés à lire ou écrire et sont sans « *éducation professionnelle* » pour la majorité. C'est une des raisons qui empêche l'utilisation de fiches de suivi pour la maintenance préventive systématique.

L'opérateur est subordonné au gérant pour toutes les opérations engageant des dépenses. Deux situations favorisent les erreurs humaines dans la conduite des équipements et dans leur maintenance surtout en ce qui concerne des opérations plus techniques telles que le montage de roulements, le positionnement d'une pièce ou l'alignement d'un arbre :

- La motivation est faible : le salaire est fonction des marges bénéficiaires réalisées par l'entreprise mensuellement. Ces marges sont assujetties aux aléas des besoins de la famille du gérant.
- La mobilité du personnel dans ces entreprises est un frein à la maîtrise de l'utilisation de l'équipement. Ce personnel est très mobile professionnellement et il est difficile de construire des savoir-faire dans ces entreprises qui sont toujours en situation de recrutement. Les responsables sont en permanence en train de former de nouveaux opérateurs sur le tas.

Par ailleurs concernant la sécurité, les opérateurs se blessent souvent les doigts, dans les transmissions de puissance (courroies, poulies, engrenages) dans les zones non protégées des presses ou des décortiqueurs.

3.2. L'approvisionnement en pièces de rechange

a. La proximité des structures d'approvisionnement

Les utilisateurs ont souvent besoin de matière d'œuvre ou de pièces de rechange pour la maintenance. Ces achats ne posent pas de problèmes majeurs (Fig. 3.5) : la facilité d'acquisition s'explique par la proximité des structures d'approvisionnement car l'enquête a été administrée auprès de transformateurs situés en ville.

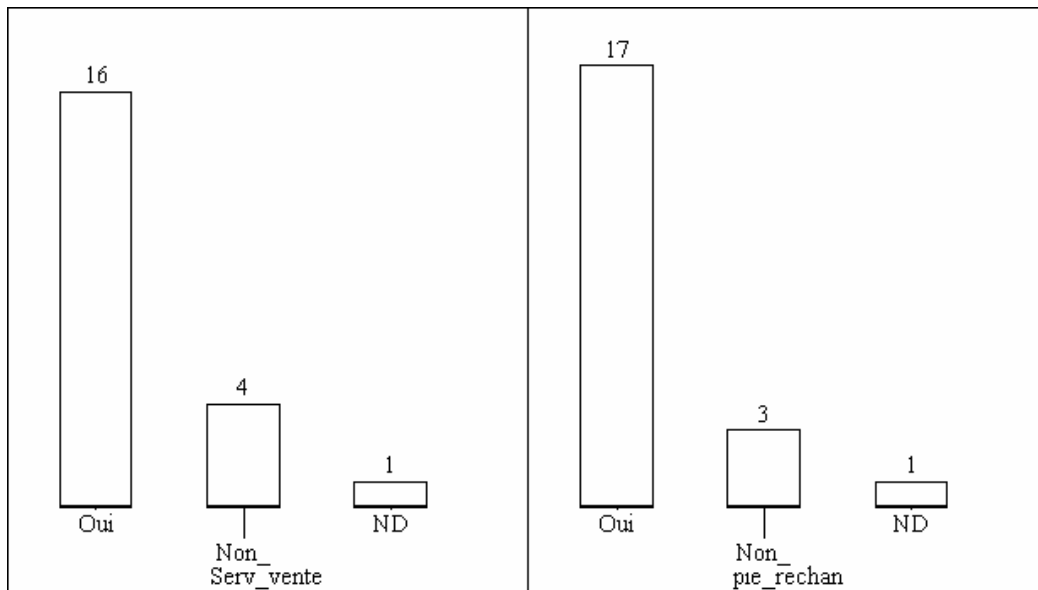


Fig. 3.5 : Proximité des acteurs de la maintenance et disponibilité des pièces de rechange dans les villes³

Les utilisateurs s’approvisionnent chez des vendeurs de pièces et des équipementiers situés à proximité (déplacement de moins d’une heure). Pour éviter l’immobilisation d’un capital (celui des pièces de rechange), ils font assurer la fonction de stockage par les vendeurs de pièces ou de matière d’oeuvre.

3.3. La fiabilité et la maintenabilité des équipements

A la question de savoir quelle est la fréquence des pannes, les utilisateurs répondent en donnant la durée de vie des pièces d’usure. Nous avons déterminé la durée de vie moyenne par un calcul de la moyenne géométrique des données fournies par les acteurs. Concernant la maintenabilité, rares sont les utilisateurs qui ont vraiment fait attention au temps opérationnel de réparation. La seule information qui soit fournie sans hésitation est le temps d’arrêt total consécutif à une panne. Dans le souci d’avoir des éléments d’informations sur la maintenabilité nous avons procédé à une simple appréciation des critères de la démontabilité, de l’interchangeabilité et de l’accessibilité. Le MTBF, le MTA et la disponibilité opérationnelle ont été déterminés en suivant le calcul des indicateurs présentés au Chapitre II § 2.1., mais que nous avons simplifié à cause du manque de données précises sur la traçabilité des défaillances :

³ Réponses aux questions : « Est-ce qu’en cas de pannes, on trouve facilement des « réparateurs » ou des services après vente proches ? » et « Pouvez-vous trouver (disponibilité) facilement les pièces de rechange ? »

- Pour chaque composant d'un type d'équipement, la durée de vie moyenne et le temps d'arrêt moyen permettent de déterminer en fonction du temps d'ouverture, le nombre d'arrêts par mois. Cette valeur permet ensuite de calculer la somme des temps d'arrêt par mois de l'équipement pour le composant considéré.
- Il est ensuite possible de faire d'une part, la somme des nombres d'arrêts (N) et d'autre part, la somme de temps d'arrêt pour un équipement et pour une période de un (1) mois.
- Le MTA pour un équipement peut ensuite être calculé :

$$MTA = \frac{\sum TA}{N} \quad [3.1]$$

- Le MTBT est déterminé à partir du temps d'ouverture T_o dont on soustrait les temps d'arrêts ; un des problèmes posés est que le temps d'ouverture est "élastique".

$$MTBF = \frac{\sum TBF}{N} = \frac{T_o - \sum TA}{N} \quad [3.2]$$

- La disponibilité opérationnelle Do est déduite de ces deux indicateurs.

$$Do = \frac{MTBF}{MTBF + MTA} \quad [3.3]$$

Les enquêtes n'ont pas permis d'approcher la valeur habituelle du MTTR; d'une façon générale la quantification du temps est très difficile à obtenir.

a. Le cas des décortiqueurs Engelberg fabriqués localement

L'étude concerne 15 petites unités (2 ME et 13 PE) de transformation de céréales utilisant 21 décortiqueurs Engelberg.

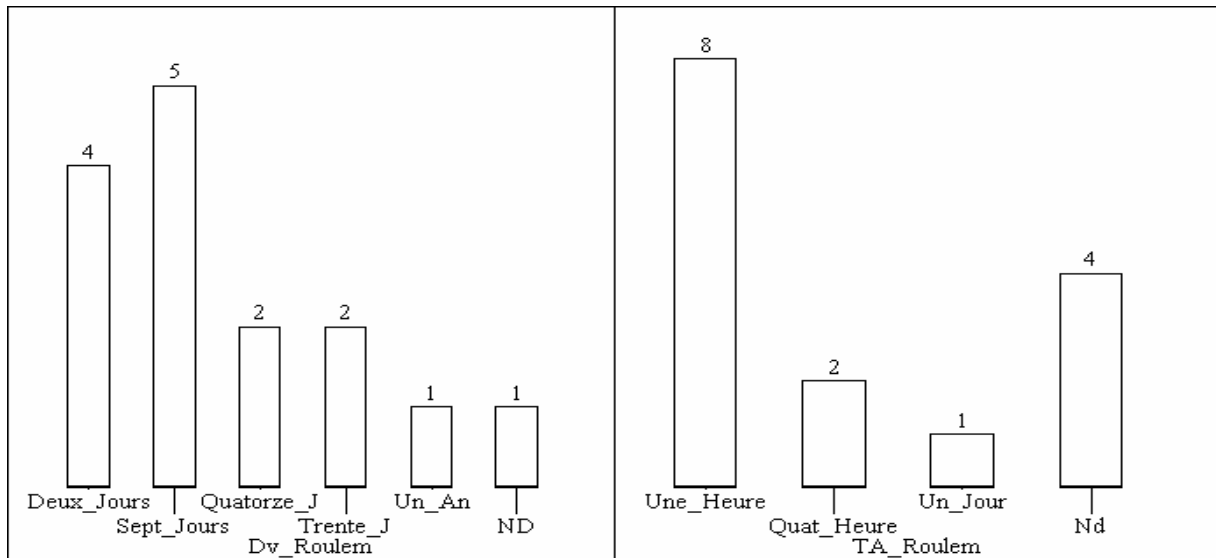


Fig. 3.6 : Durée de vie (Dv) des roulements de décortiqueurs et temps d'arrêt (TA) pour la réparation

La Dv des roulements est faible : 60 % (9/15) des transformateurs déclarent une durée de vie des roulements inférieure ou égale à 7 jours (Fig. 3.6). A raison de 8 heures de fonctionnement par jour cela fait au maximum 56 heures de fonctionnement ce qui semble très faible par rapport aux standards internationaux. Il y a 26 % (4/15) des transformateurs qui déclarent une durée de vie de 15 jours à 1 mois ce qui est également faible. Seulement 6 % (1/15) d'entre eux déclarent une durée de vie de 1 an.

Pour la réparation des roulements, les TA sont généralement courts. Les 53 % (8/15) des transformateurs déclarent un TA de 1 heure. Les 20 % (3/15) des transformateurs déclarent un TA de 4 heures à 1 journée (Fig. 3.6).

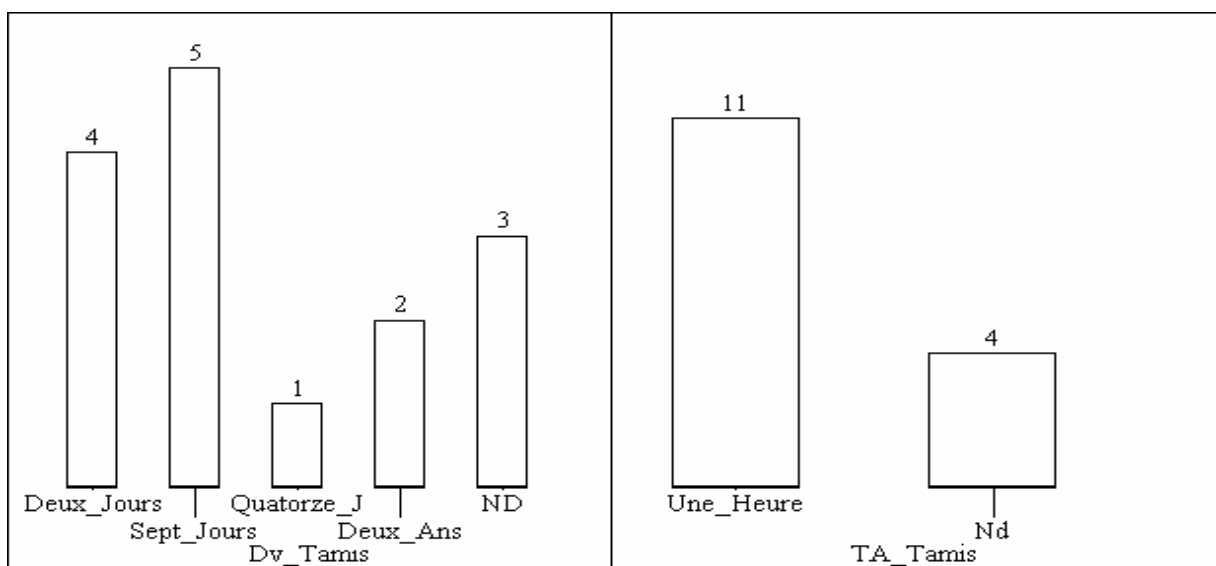


Fig. 3.7 : Durée de vie (Dv) des tamis de décortiqueurs et temps d'arrêt (TA) pour la réparation

La Dv des tamis est faible : 60 % (9/15) des transformateurs déclarent une durée de vie de tamis inférieure ou égale à 7 jours (Fig. 3.7). Seulement 6 % (1/15) des transformateurs déclarent une durée de vie de 14 jours et 13 % (2/15) déclarent 2 ans.

Le TA pour cette réparation est court (1 heure) et ne dépend pas de l’approvisionnement parce que la pièce est accessible en terme de coût, disponible chez les vendeurs et facile à monter (Fig. 3.7).

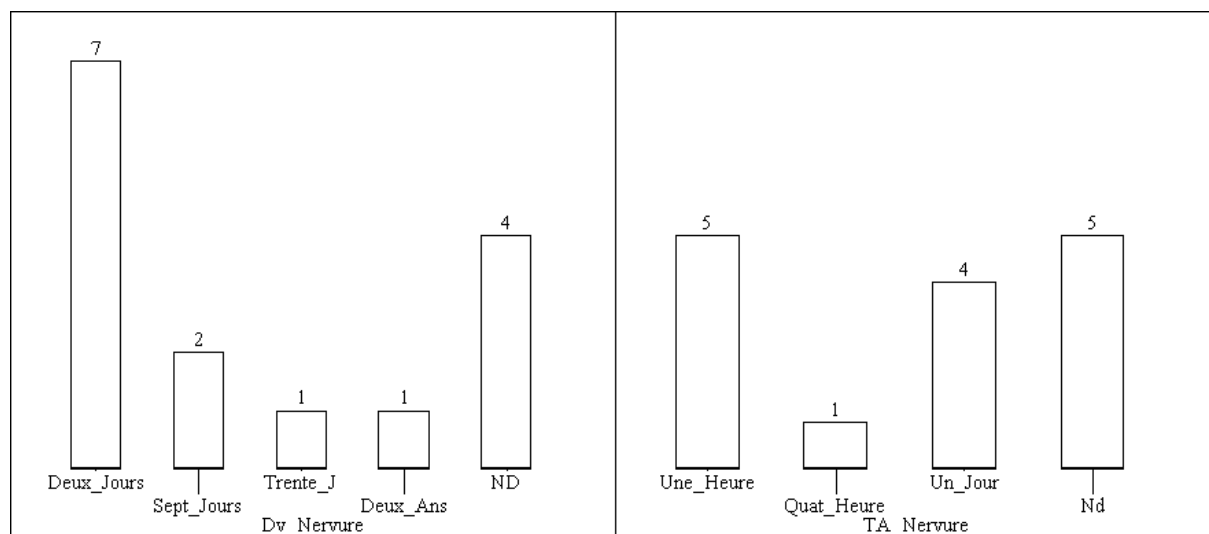


Fig. 3.8 : Durée de vie (Dv) des nervures de décortiqueurs et temps d’arrêt (TA) pour la réparation

La Dv des nervures du rotor est faible : 60 % (9/15) des transformateurs déclarent une durée de vie inférieure ou égale à 7 jours (Fig. 3.8). A raison de 8 heures de temps d’ouverture par jour cela fait 40 heures de fonctionnement des nervures. Seulement 6 % (1/15) déclarent une durée de vie de 30 jours ce qui reste faible. Les TA sont variables soit une heure soit un jour ; cette durée doit dépendre de l’approvisionnement (Fig. 3.8).

En conclusion, la moyenne des Dv des pièces d’usure est courte (de 5 à 9 jours) de même que les temps d’arrêt moyen (entre 1 et 4 heures) (Tabl. 3.2). Ceci correspond à des interventions fréquentes et rapides.

Tabl. 3.2 : Récapitulatif des indicateurs de maintenance pour les décortiqueurs Engelberg

Principales pièces d'usure	Mode de défaillance	Durée de vie moyenne (heure)	Temps d'arrêt moyen (heure)	Nombre d'arrêt / mois	Temps d'arrêt / mois (heure)
Roulements	rupture	9 jours * 8 = 72	3	3,3	9,9
Tamis	usure / rupture	7 jours * 8 = 56	1	4,2	4,2
Nervures du rotor	usure	5 jours * 8 = 40	4	6	24
				$N = \sum Ni = 13,5$	$\sum TA = 28,1$

b. Le cas des presses à graines de coton fabriquées localement

L'étude concerne 10 ME de production d'huile de coton utilisant 21 presses « SOAF » à graines de coton.

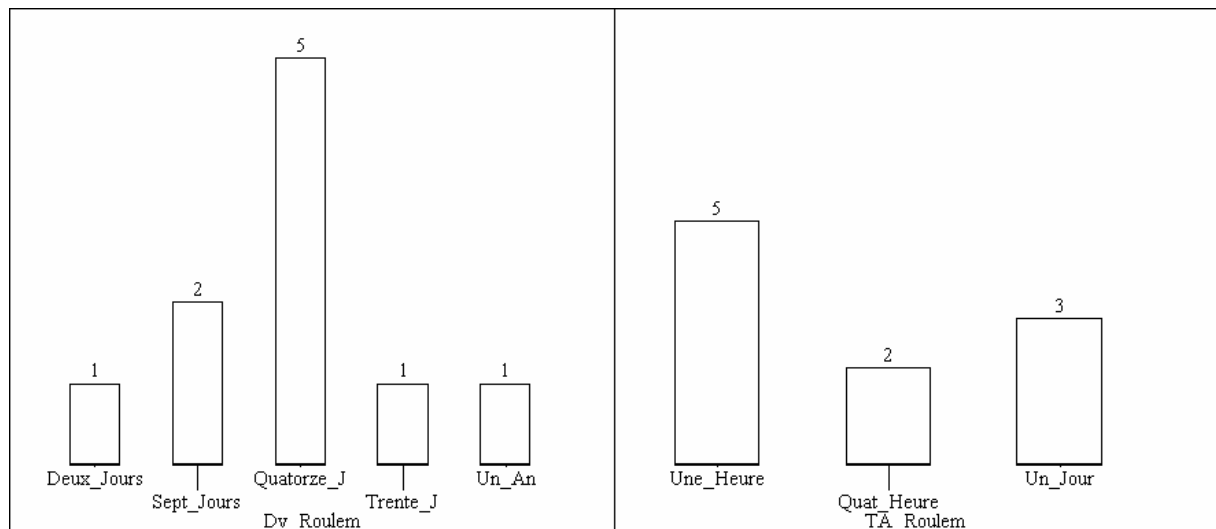


Fig. 3.9 : Durée de vie (Dv) des roulements de presse et temps d'arrêt (TA) pour la réparation

La majorité (80 %) c'est-à-dire 8/10 de ces unités utilise des roulements dont la durée de vie n'excède pas 14 jours (Fig. 3.9). On peut expliquer leur dispersion par rapport au point central par la diversité de l'origine des pièces. Mais il y a probablement d'autres causes liées

au mode d'exploitation de l'équipement qui diffère d'une entreprise à une autre. Les presses sont utilisées en continu, 24 heures sur 24 ce qui donne des Dv des roulements à 336 heures, très inférieures à la durée de vie attendue des roulements selon les standards internationaux.

Les TA varient entre une heure et un jour (24 heures) pour la majorité (70 %) c'est-à-dire 7/10 des transformateurs (Fig. 3.9). Les transformateurs reconnaissent tous que la durée de démontage et le remontage n'excède pas plus de 2 heures.

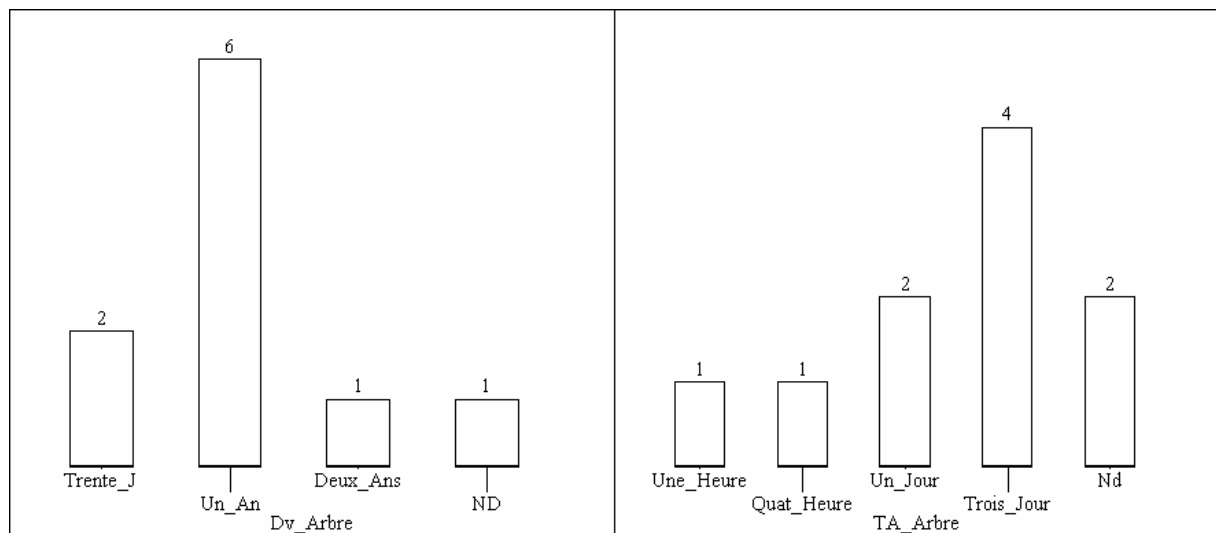


Fig. 3.10 : Durée de vie des arbres de presse et temps d'arrêt (TA) pour la réparation

La Dv de l'arbre est satisfaisante (Fig. 3.10) : 70 % (7/10) des transformateurs déclarent une durée de vie de plus d'un an contre seulement 20 % (2/10) qui déclarent une durée de vie de trente jours.

Le TA varie entre une heure et 3 jours soit 72 heures. Ce temps est d'une heure quand l'arbre est disponible mais augmente si le fabricant doit le confectionner (Fig. 3.10).

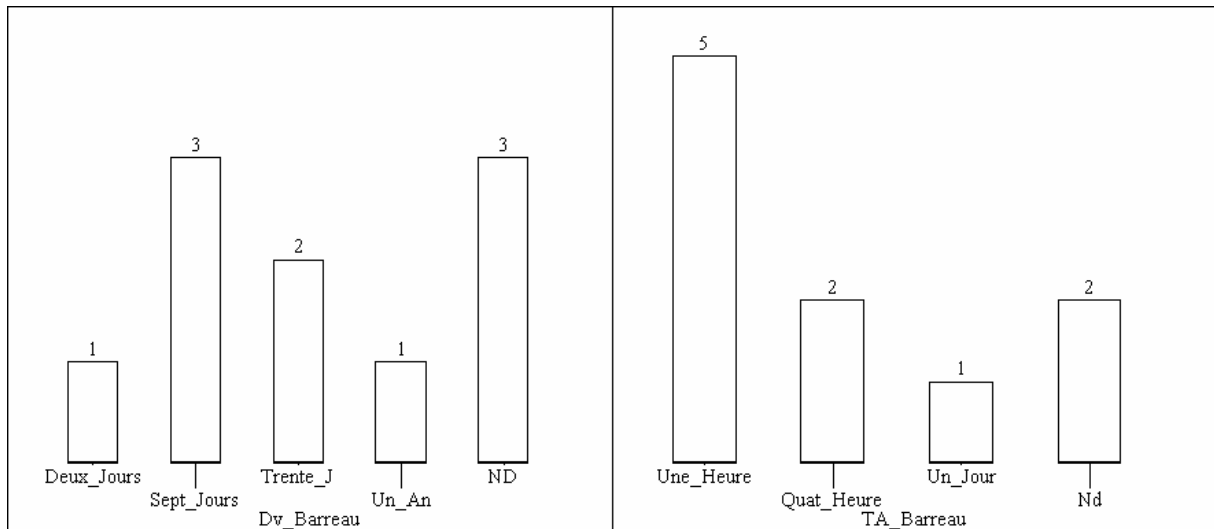


Fig. 3.11 : Durée de vie (Dv) des barreaux de la cage et temps d'arrêt (TA) pour la réparation

La Dv de la cage est dispersée entre 2 jours et un (1) an pour 70% (7/10) des unités (Fig. 3.11). Les pannes sont donc très aléatoires.

Le TA varie entre une (1) heure et 4 heures en fonction du délai d'approvisionnement chez le fabricant (Fig. 3.11).

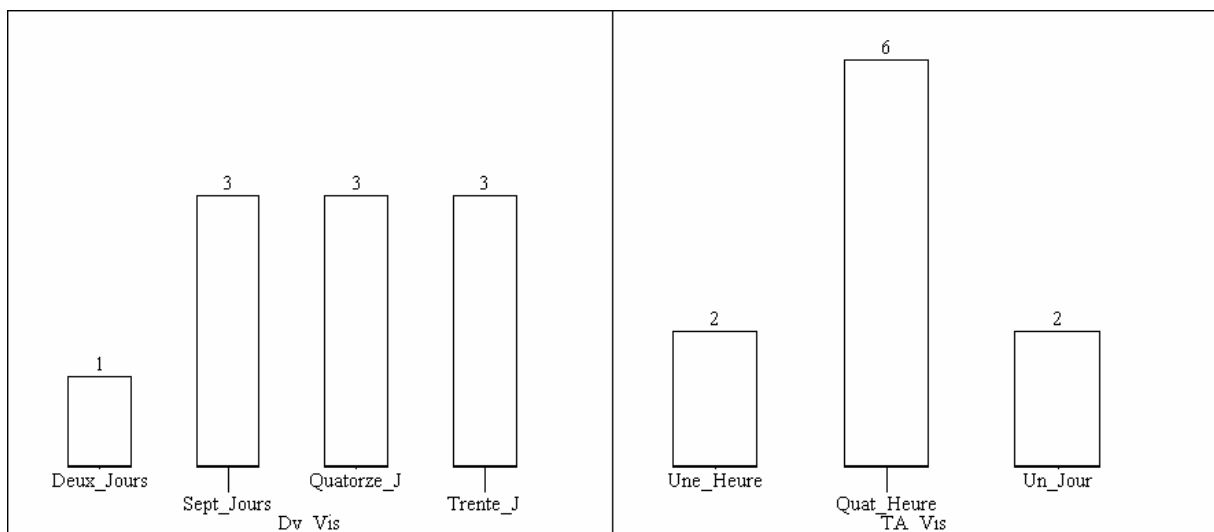


Fig. 3.12 : Durée de vie (Dv) des vis de presse et temps d'arrêt (TA) pour la réparation

La périodicité de l'usure des vis varie entre 7 et 30 jours pour 90% (9/10) des unités (Fig. 3.12). L'usure est très aléatoire et doit dépendre du mode d'utilisation de la presse.

Le TA est centré sur 4 heures pour 60% (6/10) des unités (Fig. 3.12). Seul 20 % (2/10) des transformateurs déclarent une durée d'arrêt d'une (1) heure parce que les pièces sont

probablement en stock et 20 % (2/10) autres déclarent une durée d'arrêt d'un jour à cause du délai d'approvisionnement chez le fabricant.

En résumé, la durée de vie moyenne varie entre 12 et 15 jours pour les trois principales pièces (roulements, vis et barreaux) et de 6 mois pour les arbres (Tabl. 3.3). Le temps d'arrêt varie entre 3 et 24 heures.

Tabl. 3.3 : Récapitulatif des indicateurs de maintenance pour les presses localement fabriquées

Principales pièces d'usure	Mode de défaillance	Durée de vie moyenne (heure)	Temps moyen d'arrêt (heure)	Nombre d'arrêt / mois	Temps d'arrêt / mois (heure)
Roulements	rupture	$13 * 24 = 312$	4	2,3	9,2
Vis	usure / rupture	$12 * 24 = 288$	4	2,5	10
Barreaux des cages	usure	$15 * 24 = 360$	3	2	6
Arbre	rupture	$6 * 30 * 24 = 4320$	24	1/6	4
				$N = 7$	$\sum TA = 29$

c. Le cas des presses à huile importées

Ces presses à coton « importées » concernent 7 ME⁴ de production d'huile de coton soit 19 équipements.

⁴ 2 des 9 entreprises n'ont pas été retenues car elles démarrent la production

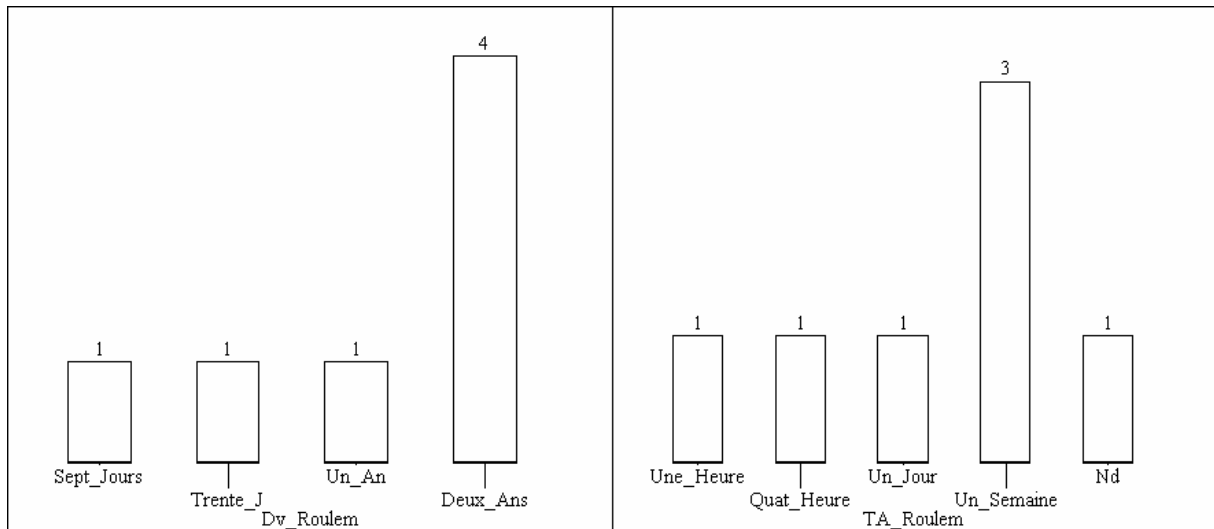


Fig. 3.13 : Durée de vie (Dv) des roulements de presse et temps d'arrêt (TA) pour la réparation

La Dv des roulements est satisfaisante : 71 % des transformateurs déclarent une durée de vie de plus d'un an (Fig. 3.13). Le TA est variable allant d'une (1) heure à une semaine (Fig. 3.13).

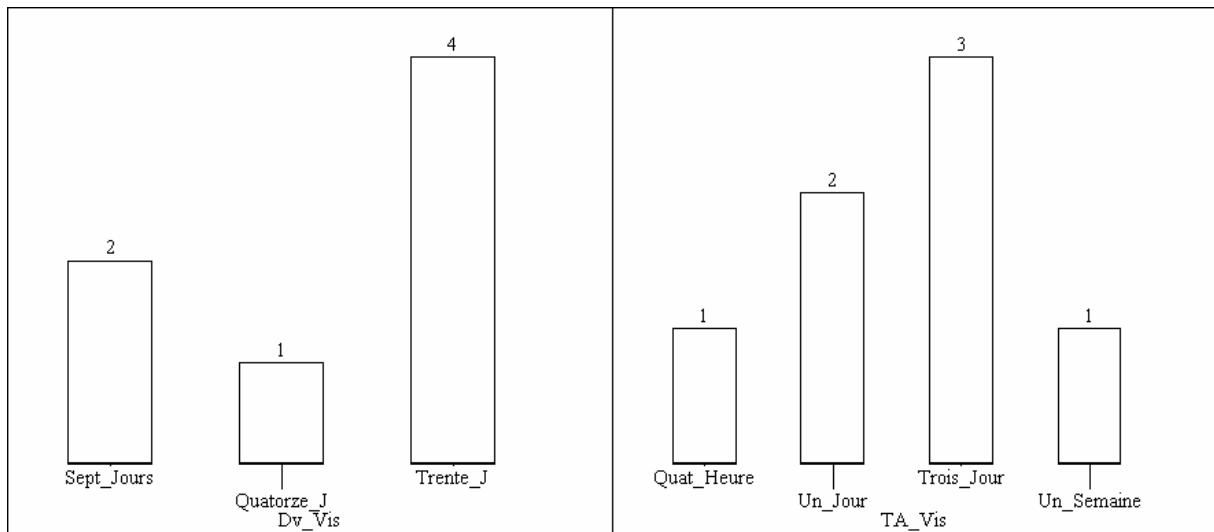


Fig. 3.14 : Durée de vie (Dv) des vis de presse importée et temps d'arrêt (TA) pour la réparation

La Dv des vis varie entre 7 jours à un mois (Fig. 3.14) : c'est une pièce d'usure. Le TA (Fig. 3.14) varie entre 4 heures et une semaine avec une moyenne de l'ordre de 2 jours. Il dépend de la durée d'approvisionnement (fabrication de la pièce).

En résumé les Dv des principales pièces d'usures (Tabl. 3.4) varient entre 17 jours à 6 mois en raison d'un temps d'ouverture de 24 /24 heures de travail par jour. Le TA varie entre 24 et 48 heures. On s'attendrait à ce que le TA soit beaucoup plus long pour des raisons d'approvisionnement depuis l'étranger des pièces détachées mais ces équipements importés ont été modifiés progressivement pour s'adapter aux pièces des réseaux d'approvisionnement locaux . Ce n'est pas toujours le cas pour tous les équipements importés car beaucoup sont abandonnés sur place par manque de pièces de rechange (Anon., 1996; Anon., 2003b) .

Tabl. 3.4 : Récapitulatif des indicateurs de maintenance pour les presses à coton importées

Principaux pièces d'usure	Mode de défaillance	Durée de vie moyenne (heure)	Temps moyen d'arrêt (heure)	Nombre d'arrêt / mois	Temps d'arrêt / mois (heure)
Roulements	rupture	$6 * 30 * 24 = 4320$	24	1/6	4
Vis	usure / rupture	$17 * 24 = 408$	48	1,7	81,6
				$N = 2$	$\sum TA = 86$

Les Dv des pièces (roulements et vis) des presses importées sont bien plus longues que celles des presses locales. Les presses importées sont robustes. Le bâti et plusieurs autres pièces sont construits en fonte. Elles supportent mieux les vibrations et ne se déforment pas sous l'action de la chaleur produite dans l'échauffement du produit. Elles sont surtout mieux fabriquées, les roulement travaillent correctement (alignement, coaxialité). Ces atouts contribuent à réduire l'usure des pièces. Bien évidemment, ce n'est pas le cas des presses locales qui sont beaucoup plus en acier qu'en fonte et moins robustes.

Les TA de la presse importée sont très proches de ceux des presses locales. Ces temps ne correspondent pas à la commande puis à l'importation des pièces depuis l'étranger qui demande souvent plusieurs semaines, sauf à utiliser des messageries rapides beaucoup trop chères pour ces petites unités. Les spécifications dimensionnelles et fonctionnelles des composants importés sont difficiles à trouver sur place mais les utilisateurs adaptent l'équipement pour prendre à la place des « composants commercialisés » (copies ou

récupérées). Un composant est commercialisé quant il est utilisé sur d'autres équipements courants. Il est disponible dans plusieurs boutiques de ventes, bon marché et connu par plusieurs acteurs de divers domaines : agroalimentaire, industriel, mécanique automobile et motocyclette etc. Par exemple, les motocyclettes « P 50 Peugeot » sont très répandues en Afrique de l'Ouest. On trouve ses roulements, chaînes, pignons etc., dans toutes les boutiques de vente de pièces pour motocyclettes. Ces composants sont le plus souvent des copies venant du Nigeria. Les pièces d'origine du fabricant ne sont pas toujours disponibles sur place ou, lorsqu'elles le sont, leur coût n'est pas accessible : les roulements de presse d'origine « SKF » sont 7 à 10 fois plus chers que les mêmes composants venant du Nigéria.

La Dv des pièces des équipements locaux est très faible les insuffisances observées dans la gestion de la maintenance (maintenance préventive négligé), les mauvaises conditions d'utilisation (5S négligés, surcapacité des équipements, opérateurs non formés à la maintenance) et les qualités intrinsèques (spécification de fabrication) douteuses des pièces résumées en ces éléments :

- La qualité des composants n'est pas souvent conforme aux standards. Ce sont des copies dont la Dv n'est ni connue, ni testée. Les utilisateurs préfèrent ces pièces bon ou très bon marché pour des raisons économiques car ils trouvent que « *ces pièces sont rapidement amorties* ».
- La préférence pour les composants de récupération : les utilisateurs pensent que les composants issus de la récupération offrent une meilleure Dv que les copies. Cela peut se justifier si une pièce d'origine est récupérée sur du matériel dont une maintenance préventive systématique a été correctement pratiquée mais cela ne peut constituer une référence.
- La matière d'œuvre de récupération est privilégiée pour la fabrication des pièces usinées et la méconnaissance de la matière ne permet pas de garantir la Dv de la pièce fabriquée.
- Les pièces fabriquées sont très différentes les unes des autres à cause de la différence de matière et surtout parce que les spécifications dimensionnelles ne sont pas souvent respectées par le fabricant. Ces situations favorisent les défaillances aléatoires, difficiles à prévenir et l'usure anormale des pièces qui conduisent à une faible fiabilité des équipements.

Ceux-ci montrent les limites de prise en charge de la maintenance par le réseau d'acteur de maintenance pour assurer les conditions de fiabilité des équipements..

Les TA des équipements (locaux ou importés) sont variables pour les raisons suivantes :

- Instabilité de stock de composants standard chez les vendeurs : ceci est fréquent pour les équipements importés. La commande de composants non disponibles chez le vendeur peut prendre beaucoup de temps (un mois et plus) si le constructeur n'a pas une représentation de service après-vente. On voit dans ces cas des utilisateurs abandonner une activité parce les entreprises tombent en faillite. Selon certains témoignages, il peut arriver que des roulements initialement prévus sur des moulins ne soient plus en stock chez les vendeurs. Ils sont remplacés par d'autres roulements qui se vendent pour d'autres usages. On peut parler d'une pratique de la maintenance adaptative, l'objectif étant de se débrouiller par tous les moyens. L'adaptation consiste à modifier un équipement pour l'adapter à un composant disponible dans le réseau d'acteurs et accessible en terme de coût. Quand elle est réussie, on parle d'amélioration ou même d' « *intégration de la maintenance* ». Cette réussite est rare car la modification peut installer un dysfonctionnement (déformation, fissures, échauffement) sur des parties voisines de l'équipement, source d'autres pannes aléatoires et d'usure anormale.
- Le faible pouvoir d'achat de l'utilisateur : Les fabricants et les autres acteurs en charge de la maintenance de ces équipements sont sollicités pour d'autres prestations de service dans le domaine industriel et ont tendance à ne pas respecter les délais de livraison prévus avec le demandeur. Les prix sont toujours négociés (revus à la baisse, demande de crédit) à l'avantage de l'utilisateur et cela ne motive pas économiquement le fabricant. Cette situation allonge le délai de livraison parce que les autres travaux sont mieux rémunérés et cela joue également sur la qualité des pièces parce que le fabricant s'applique moins.

La capacité d'approvisionnement dans le réseau des acteurs de la maintenance est limitée par le faible pouvoir d'achat des utilisateurs (facteur limitant du contexte de PAO).

3.4. *Appréciation des critères de maintenabilité des équipements*

Nous avons procédé à une simple évaluation de quelques critères de maintenabilité auprès de 16 ME utilisant des décortiqueurs, presses et séchoirs à gaz (Fig. 3.15).

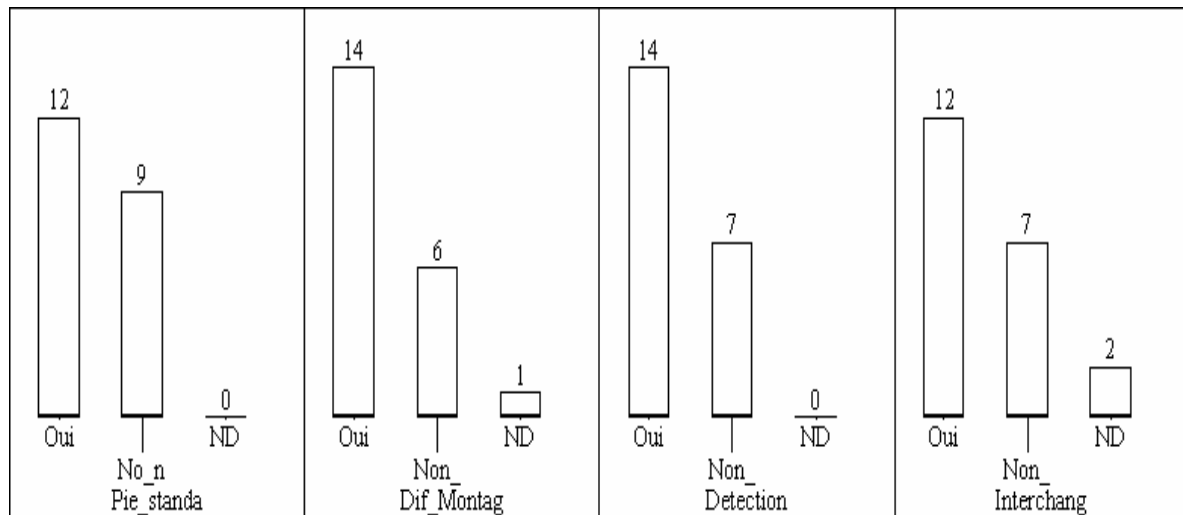


Fig. 3.15 : Appréciation de quelques critères de maintenabilité de 16 ME ⁵

On constate que les avis sont partagés pour le critère de standardisation qui dépend de la qualité des composants. Les composants disponibles ne sont pas souvent standard, même s'ils sont commercialisés dans le réseau des acteurs de la maintenance en place.

Les difficultés de montage signalé par les 28 % des ME sont une conséquence des problèmes de standardisation et d'interchangeabilité en plus de la faible qualification des opérateurs intervenants.

La difficulté de détection de signes avant coureur signalée par les 33 % de ME est dû au fait que les pannes aléatoires soient nombreuses.

Pour les 33 % des ME le critère d'interchangeabilité dépend du savoir-faire en fabrication disponible dans le réseau des acteurs de la maintenance en place, car il est courant de voir que les pièces fabriquées par le même fabricant soient différentes d'un point de vue dimensionnel. Les utilisateurs soulignent aussi qu'il faut souvent modifier les paliers d'un décortiqueur pour adapter le même roulement, monté sur un autre décortiqueur. Ceci se traduit au niveau de la maintenabilité comme un problème d'interchangeabilité, entre composants d'un même type d'équipement.

Globalement le critère de maintenabilité n'est pas une contrainte majeure dans le TA, largement justifié par la durée d'approvisionnement. Cependant même pour des équipements simples, il faut veiller à ce que les pièces spécifiques soient simples à fabriquer, les

⁵ Piec_standards : Est-ce que la plupart des composants mécaniques ou électriques sont standards (normalisés) ?

Dif_Montag : Est-ce que le démontage et le remontage de l'équipement sont faciles ?

Detection : Est-ce que la localisation, le diagnostic ou la détection de signes avant coureurs de défaillance sont faciles et rapides ?

Interchang : Est-ce que les sous-ensembles de composants (module ou bloc) sont interchangeables en cas de pannes ?

composants disponibles dans le réseau. Concernant l'interchangeabilité on pourra faire évoluer des outils de contrôle de la qualité des pièces fabriquées pour sensibiliser les fabricants sur l'intérêt commercial d'avoir des pièces semblables.

3.5. La disponibilité des équipements

Malgré la faible précision des valeurs observée et, la taille réduite de l'échantillon, les données recueillies sur les durées de vie des pièces d'usure et des temps d'arrêts permettent de calculer les indicateurs de maintenance que sont le MTBF et le MTA et de déduire la disponibilité opérationnelle des équipements (Tabl. 3.5).

Tabl. 3.5 : La disponibilité opérationnelle des équipements

Type d'unités	Équipements	Fiabilité MTBF / mois (heure)	Temps d'arrêt MTA / mois (heure)	Disponibilité Do (%)
13 PE et 2 ME	21 Décortiqueurs locaux	16	2	88
10 ME	21 Presses à huile locales	99	4	96
7 ME	19 Presses à huile importées	352	48	88

Pour les 2 premiers équipements, les conditions d'utilisation sont sévères, les durées de vie des composants sont faibles mais les disponibilités ne paraissent pas trop mauvaises⁶ car les acteurs ont mis en place un réseau de maintenance. Les temps d'arrêt sont courts parce que les pièces sont disponibles dans le réseau, les acteurs du réseau sont à proximité, les pièces spécifiques sont faciles à fabriquer dans le réseau. La prise en charge de la maintenance en réseau permet d'avoir un équilibre entre la faible durée de vie des pièces et le temps d'arrêt. La disponibilité de la presse importée de 88 % s'explique uniquement par sa robustesse. Le MTA par mois de la presse importée est supérieur aux autres équipements mais reste relativement court si on considère qu'elle fonctionne 24 heures / 24.

En générale, contrairement à ce qu'on aurait pu attendre, la maintenance pratiquée est bien adaptée à l'environnement local puisque la disponibilité est bonne : certes les pannes sont

⁶ Une disponibilité de 88 % à 96 % est acceptable pour des équipements individuels, elle ne le serait pas pour des équipements en série.

fréquentes mais les utilisateurs trouvent les moyens de se dépanner rapidement, à un coût acceptable.

3.6. *Evaluation du coût de maintenance des équipements*

Le coût de maintenance est évalué en considérant uniquement celui des principales pièces de rechange. L'étude a porté sur les décortiqueurs et les presses.

a. Coûts de maintenance du décortiqueur

Le coût des pièces de rechange est calculé par mois (Tabl. 3.6).

Tabl. 3.6 : Calcul du coût mensuel des pièces de rechange pour le décortiqueur de céréales

Pièces de rechange	Dv (jour)	Nbre de remplacements par mois	Coût unitaire des pièces de rechange (FCFA)	Coût des pièces de rechange par mois (FCFA)
Roulements	9	3,3	2 * 2500	16 500 = (3,3 * 5 000)
Tamis	7	4,2	1500	6 300 = (4,2 * 1 500)
Nervures du rotor	5	6	1500	9000 = (6 * 15 00)
Total				31 800

Le coût des pièces de rechange par mois représente 21 % du prix d'achat du décortiqueur (150 000 FCFA). En un an, les utilisateurs payent l'équivalent monétaire de 3 décortiqueurs avec les pièces de rechange sans prendre en compte le coût de non production. Ceci montre bien que l'achat d'équipements très bon marché se traduit en réalité par des coûts de maintenance élevés. Ce mode de gestion correspond à la réalité économique des PAO ; l'absence de crédit à la consommation, la faible monétarisation de l'économie, etc. contraignent les transformateurs à acheter des équipements bon marché.

b. Coût de maintenance des presses à coton fabriquées localement

Le coût des pièces de rechange des presses à coton fabriquées localement est 97 433 FCFA par mois (Tabl. 3.7).

Tabl. 3.7 : Calcul du coût mensuel des pièces de rechange pour les presses locales

Pièces de rechange	Durée de vie (jour)	Nbre de remplacements par mois	Coût unitaire des pièces de rechange (FCFA)	Coût des pièces de rechange par mois (FCFA)
Roulements	13	2,3	2 * 6 000	27 600
Vis	12	2,5	20 000	50 000
Barreaux	15	2	2 000	4 000
Arbre	6*30	1/6	95 000	15 833
Total				97 433

Le coût mensuel des pièces de rechange correspond à 4,8 % du prix d'achat d'une presse (2 000 000 FCFA) soit un coût de 28,8 % par an car la campagne de trituration dure 6 mois par an. Ce coût de fonctionnement est élevé.

c. Coût de maintenance de la presse à huile importée

Les pièces ont une durée de vie plus élevée et coûtent un montant équivalent aux presses locales mais ne représente par mois que 1,5 % du prix d'achat moyen d'une presse (6 000 000 FCFA) (Tabl. 3.8).

Tabl. 3.8 : Coût mensuel des défaillances pour la presse importée

Pièces de rechange	Durée de vie (jour)	Nbre de remplacements par mois	Coût unitaire des pièces de rechange (FCFA)	Coût des pièces de rechange par mois (FCFA)
Roulement	6*30	1/6	2*70 000	140 000/6 = 23333
Vis	17	1,7	40 000	68 000
Total				91 333

Ce calcul de coût de pièces de rechange montre qu'il représente, sur une période d'un an de fonctionnement, 9 % du prix d'achat de la presse (campagne de trituration de 6 mois). Ce coût est acceptable par comparaison des données de (Limbrey et Dembner, 1988) pour des tracteurs technologiquement plus complexes et ayant une durée de vie de 8 ans pour lesquels le coût des pièces de rechange est de 7,5 % par an.

Un équipement robuste (presse importée) a de forte chance d'être plus fiable (équipement surdimensionné, bâti en fonte) mais c'est surtout à cause du prix d'achat élevé que ce pourcentage est plus faible mais le prix d'achat est la principale contrainte pour les transformateurs..

4. Discussion

Un calcul approché avec uniquement les principales pièces de rechange montre que les disponibilités opérationnelles des équipements sont satisfaisantes (88 % - 96 %) pour les raisons suivantes : les pannes sont vite rétablies à un coût abordable et les pièces sont disponibles, grâce aux possibilités offertes par le réseau de maintenance. La proximité des acteurs dans le réseau est un atout qui réduit le coût des déplacements et la durée d'approvisionnement. Ces résultats montrent clairement l'importance du réseau d'acteurs de la maintenance dans la « disponibilité opérationnelle » des équipements. Dans ce contexte des PAO la panne est grave, déclarent 33 acteurs (24 utilisateurs, 6 fabricants et 3 maintenanciers) si :

- Le coût des pièces de rechange est inaccessible ;
- le délai d'approvisionnement (fabrication ou commande) est long c'est à dire plus d'un mois.

La prise en compte du réseau existant comme élément de soutien à la maintenance, dans la conception du futur équipement est nécessaire pour éviter la panne redoutée de l'utilisateur. Le concepteur pour intégrer la maintenance a besoin d'un outil de représentation de cet environnement de la maintenance pour lui fournir les informations sur les possibilités d'approvisionnement, de compétence des acteurs, du savoir faire en fabrication de pièces de rechange, des relations entre les acteurs etc. La faible fiabilité des principales pièces de rechange des équipements entraîne à moyen et long terme des coûts de maintenance élevés : 28,8 % à 252 % du prix d'achat sur un an pour les équipements fabriqués localement. Les raisons sont multiples : réparation fréquentes, prix d'achat faible, surcharge des machines.

L'utilisation de pièces bon marché mais de qualité douteuse, justifiée par le faible pouvoir d'achat des petites unités de transformation pénalise la fiabilité. Dans la réalité économique des PAO on pourrait proposer des règles de conception qui permettront en fonction du réseau existant, de prendre en compte dans la conception du futur équipement, les pièces qui sont commercialisés et dont les caractéristiques fonctionnelles sont connues.

Les carences de gestion de la maintenance dans ces petites unités ne pratiquant pas les 5S ni la maintenance préventive n'offrent pas les conditions d'utilisation minimales pour assurer la fiabilité des équipements. A cet effet, on pourra conseiller une formation du personnel intervenant sur les pratiques de la TPM allégée (Lavina, 1996; Azouma, 2005) : auto-maintenance suivie de la maintenance prédéterminée à un événement et le respect des 5 S. On pourra faciliter les opérations de maintenance de l'opérateur et proposer des équipements en simplifiant les solutions de conception qui risquent de complexifier l'équipement par des règles de filtrage (Chapitre IV § 2.1). De même, la technologie de fabrication des pièces doit être maîtrisée par les équipementiers.

On pourrait citer aussi le comportement de certains utilisateurs (transformateurs de céréales ou de graines de coton) qui accélèrent l'usure des pièces par le surdimensionnement des moteurs. Les concepteurs devront prendre en compte les capacités de production d'un équipement en tenant compte de la typologie des entreprises (voir chapitre I § II. 1) et des besoins en production de l'utilisateur.

Les critères de maintenabilité rattachés à la capacité de prise en charge dans le réseau des acteurs sont la standardisation et l'interchangeabilité. Il va falloir, pour la maintenance dans les PAO, privilégier la prise en compte de pièces courantes ou commercialisées. Mais la marge de choix du concepteur est faible à cause du nombre limité en pièces de référence. De plus, les données techniques (composants, pièces et matière d'oeuvre disponibles, savoir faire en fabrication) dans le réseau ne sont pas disponibles pour permettre aux concepteurs, habitués à utiliser des catalogues de composants importées, de définir les équipements. Il faut envisager des outils de capitalisation de ces informations en s'appuyant sur le concept du CdC2E évoquée dans la méthode CESAM ou les CdCD et CdCMo (Chapitre II § IV).

Dans ce qui suit, nous allons chercher à comprendre la structure du réseau d'acteurs de maintenance qui peut constituer une des principales approches pour l'intégration de la maintenance. C'est-à-dire de prévenir les effets redoutés par l'utilisateur en intégrant lors de la conception son réseau de maintenance. Cette vision des choses aura l'avantage également de tenir compte du contexte spécifique des PAO.

Un modèle de représentation du réseau, indispensable pour rendre visibles les jeux sociaux, économiques et techniques orchestrés par des acteurs de la maintenance des équipements, sera présenté dans le prochain paragraphe.

III. Modèle de réseau de maintenance

Comme présenté dans le chapitre II § VI, l'approche réseau est une méthode de description et de modélisation inductive d'une structure relationnelle d'un ensemble d'acteurs. Elle est souvent utilisée pour caractériser empiriquement un environnement social. Le réseau social désigne *un ensemble de relations d'un type spécifique (par exemple de collaboration, de soutien, de conseil, de contrôle ou d'influence) entre un ensemble d'acteurs (Lazega, 1995)*. Son analyse met en évidence les relations ou échanges répétitifs qui régissent la structure d'une organisation sociale.

L'association de l'environnement technique dans les relations lui donne une configuration de réseau sociotechnique qui devient *un ensemble structuré d'entités (actants ou acteurs), humaines ou non humaines connectés par des liens (relations, échanges) (Vinck, 1999)*.

Ce concept de réseau socio technique est utilisé ici pour décrire l'environnement de la prise en charge de la maintenance des équipements de transformation agro-alimentaire. Sur la base de ces travaux nous appelons réseau de maintenance, un ensemble structuré d'entités (acteur, équipement) ou de nœuds repartis dans une région (ville, pays...), articulés les uns aux autres par des liens dans le but d'assurer la maintenance des équipements. Ces liens sont basés sur des échanges d'informations, de produits (pièces de rechange, monnaie) et de prestations de service (réparation).

La maintenance des équipements de transformation est structurée en un ensemble de relations entre entités que l'on peut modéliser sous forme d'un réseau. Il s'agit de prendre en compte les éléments de soutien de la maintenance, c'est à dire le réseau d'acteurs de maintenance afin d'offrir une meilleure chance aux futurs équipements d'être adaptés au contexte des PAO et à la maintenance d'une région. Le concept de soutien logistique, au niveau de l'entreprise ou au niveau d'un service de l'entreprise est élargi dans le cas du concept de réseau d'acteurs de maintenance à une région ou un espace comportant un certain nombre d'acteurs plus ou moins éloignés les uns des autres : le réseau de maintenance inclut l'utilisateur comme étant un acteur de la maintenance de ses équipements. L'objectif de ce

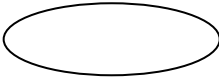

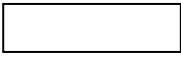
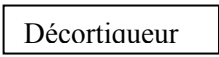
modèle est de donner une représentation et une analyse de l'environnement de la maintenance dans les PAO, afin d'aider les concepteurs à minimiser les effets potentiels redoutés d'une défaillance dans le cas des petites unités (voir § I. 4).

1. Les éléments de base du modèle

Ce modèle de réseau de maintenance permet de représenter les entités et leurs relations. Il rend visible les liens et les acteurs qui sont habituellement mobilisés, par un type d'entreprise pour la maintenance d'un équipement. Le concepteur, grâce au modèle de réseau de maintenance pourra *a priori* avoir des réponses sur les acteurs qui réparent habituellement les équipements et fournissent des pièces de rechange. Ce modèle s'appuie sur des modes de représentations déjà utilisés dans plusieurs travaux (Marouzé, 1999; Yacoub, Garro et al., 2006), notamment les doubles flèches pour les relations entre les acteurs-actants et leurs intensités par l'épaisseur des traits. A ces modes de représentation sont associés d'autres précisions pour représenter les circuits d'approvisionnement et les intervenants sur l'équipement. La proximité spatiale entre les acteurs est également prise en compte dans le modèle (§ 4) pour permettre au concepteur d'éviter les solutions qui entraînent un déplacement important : le coût de déplacement augmente les frais de réparation et le temps de déplacement augmente le temps d'approvisionnement.

Les entités acteurs et équipements sont représentées respectivement par un cercle et un rectangle (Tabl. 3.9).


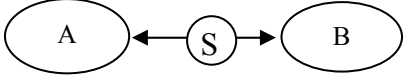

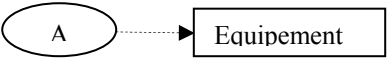
Tabl. 3.9 : Représentation des entités

Représentation des entités	Désignation	Illustration
	Acteurs humains	
	Equipements	

Les liens entre les utilisateurs et les autres acteurs qui participent au maintien des équipements sont essentiellement basés sur l’approvisionnement en pièces de rechange, en matières d’oeuvre ou en prestations de service. Ils sont représentés par des flèches à double sens qui indiquent la relation (Tabl. 3.10). Une lettre est inscrite entre les flèches pour préciser le type d’approvisionnement : Composants (C), pièce Spécifique (S), Matière d’oeuvre (M). Ces relations entre acteurs qui se déroulent dans l’informel montre le réseau des approvisionnements.





Un autre type de lien concerne la relation entre un acteur et l’équipement. L’intervention directe d’un acteur pour la réparation d’un équipement est représentée par une flèche à un sens (Tabl. 3.10). Ces flèches sont en pointillées pour les différencier des autres flèches. Cette partie de la représentation du modèle correspond au réseau des réparations.

Tabl. 3.10 : Représentation des liens (échanges)

Représentation des liens	Désignation	Illustration
	<p>Echanges</p> <p>La lettre inscrite à l'intérieur du cercle indique l'objet du flux de l'échange :</p> <p>S : pièces Spécifiques C : Composant M : Matière d'œuvre</p>	 <p>Exemple : L'acteur A s'approvisionne chez l'acteur B. B donne la pièce spécifique contre de l'argent</p>
	<p>Intervention sur un équipement</p>	 <p>L'acteur A intervient sur l'équipement pour une réparation</p>

Les différentes épaisseurs des flèches montrent les intensités des relations ou des interventions ; l'épaisseur des traits est d'autant plus importante que l'intensité des relations est forte. (Tabl. 3.11).

Tabl. 3.11 : Représentation de l'intensité (fréquence) des liens et des interventions

Niveau intensité = Epaisseur des flèches	Désignation	Illustration
	<p>Faible = peu souvent</p> <p>Unité comptée par année</p> <p>Ex : une ou deux fois par an</p>	<p>Exemple :</p> <p>Echanges très fréquent : plusieurs fois par semaine</p> 
	<p>Moyen = souvent</p> <p>Unité comptée par mois</p> <p>Ex : deux ou trois fois par mois</p>	
	<p>Forte = très souvent</p> <p>Compté par semaine</p> <p>Ex : plusieurs fois par semaine</p>	

2. La démarche

Pour permettre une meilleure compréhension par le lecteur, nous allons présenter la démarche qui permet d'identifier un réseau de maintenance et comment se construit progressivement un modèle de réseau de maintenance.

- Identification des utilisateurs utilisant des équipements de transformation agroalimentaire : décortiqueur, presse, séchoir à gaz.
- Réalisation d'une enquête de terrain selon la méthode du « *pas japonais* » élaboré par Shiba (1995) et centrée sur les pratiques de maintenance des utilisateurs. L'objectif est de recenser les informations indispensables sur la maintenance pour construire le réseau et disposer d'un inventaire de matériaux et pièces les plus utilisées (les fiches sont une amélioration des fiches utilisées lors de l'enquête de 2004, elles sont présentées en annexe A).
- Représentation du réseau d'acteurs de la maintenance selon le formalisme décrit ci dessus (Tabl. 3.9 ; 3.10 ; 3.11) de la construction du modèle de réseau de maintenance générique intrinsèque à un équipement.

L'analyse des rôles des acteurs dans le réseau c'est-à-dire le nombre de relations autour de l'acteur central, la position des autres acteurs (prestige, autorité, relation sociale et économique), leurs rôles permettra de définir si un réseau fermé ou ouvert (Bationo, 2003). Un réseau est ouvert si l'utilisateur est en relation avec plusieurs acteurs du réseau c'est-à-dire s'il peut faire appel à plusieurs acteurs pour la réparation de son équipement. Un réseau est fermé si l'utilisateur entretient une seule relation avec un acteur qui assure de façon exclusive la maintenance : l'utilisateur subit alors la maintenance.

La construction du réseau de maintenance se fait progressivement en rassemblant plusieurs éléments de représentation dans un ensemble : un exemple de modélisation d'un réseau de maintenance à partir d'un extrait d'entretien semi structuré entre un enquêteur (A) et un utilisateur (B) est donné ci-dessous..

A : *Quelles sont les pannes que vous rencontrez sur l'équipement ?*

B : donne la liste des pièces défectueuses suivie du mode de défaillance de la durée de vie, du temps d'approvisionnement et du coût de la réparation

A : *Comment réparez vous la panne X ?*

B : *je la répare moi-même.*

On modélise sous la forme :

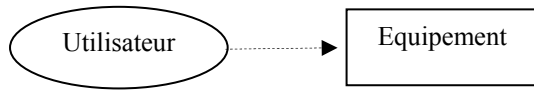


Fig. 3.16 : L'utilisateur intervient sur l'équipement

A : *Quelle est la fréquence des interventions sur l'équipement ? Très souvent, souvent ou pas souvent ? Donner si possible des intervalles.*

B : *Très souvent tous les mois*

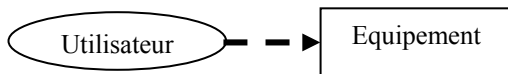


Fig. 3.17 : L'utilisateur intervient souvent sur l'équipement

Dans le cas de plusieurs entretiens, on fera une moyenne pour la détermination de la fréquence.

Passer ensuite à une autre pièce Y, exemple :

A : *Comment réparez vous la panne Y ?*

B : *Je fais appel à un fabricant pour confectionner la pièce.*

A : *Vous faite souvent appel à lui ?*

B : *oui, assez souvent*

On modélise sous la forme :



Fig. 3.18 : L'utilisateur s'approvisionne souvent en pièces spécifiques chez le fabricant

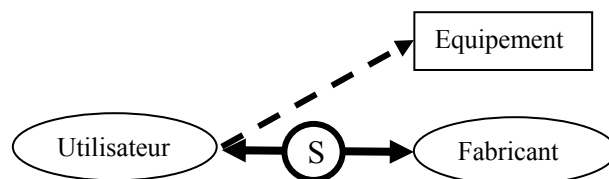


Fig. 3.19 : Assemblage des modèles

3. Présentation de différents types de réseaux : études de cas

Des transformateurs de céréales, de graines de coton et de fruits ont été identifiés parce qu'ils utilisent des équipements de transformation et qu'ils sont en nombre représentatif au niveau du pays. Une enquête auprès des différents acteurs a été réalisée. L'étude du réseau de maintenance concerne les équipements qui préoccupent le plus les utilisateurs en matière de maintenance. Le recoupement des informations recueillies auprès des acteurs suivants a permis de tracer les réseaux de maintenance du décortiqueur, de la presse et du séchoir (Tabl. 3.12).

Tabl. 3.12 : Liste des acteurs enquêtés pour le modèle de réseau de maintenance

Filières Acteurs	Céréale	Coton	Fruit
Utilisateurs	13 PE de transformation de céréales et utilisateurs de 13 décortiqueurs Engelberg fabriqués localement Lieu : Bobo	19 ME de pressage de graines de coton Lieu : Bobo	5 ME de séchage de fruits utilisant 21 séchoirs « Atesta » Lieu : Bobo, Ouagadougou
Equipementiers	2 soudeurs, 1 forgeron	3 fabricants (SOAF, ACOFAMA, DOA Drissa)	1 (Atesta)
Maintenanciers	2 électriciens	2 maintenanciers (PMEA, CASCADE)	1 maintenancier (SGGI)
Fournisseurs (vendeurs)	Marché de vente de pièces de rechange et matériaux d'oeuvre, Marché de la casse de Bobo	1 fournisseur (DTE), « marché de vente de pièces de rechange et matériaux d'oeuvre », « marché de la casse de Bobo »	« Marché de vente de pièces de rechange et matériaux d'oeuvre »

Nota : Des informations recueillies auprès de 8 autres fabricants de Ouagadougou et Gourcy ont renforcé la construction des réseaux de maintenance.

3.1. Réseau de maintenance du décortiqueur Engelberg

Le decortiqueur a été introduit dans les années 60 au Burkina Faso. Il est largement répandu mais on ne connaît pas le nombre exact d'unités aujourd'hui (des dizaines voire des centaines de millier de décortiqueurs Engelberg) : dans les villes, on en trouve tous les 100 m ou 200 m. Initialement utilisé pour décortiquer le riz, il fut adapté au décortilage du sorgho, mil, maïs au Burkina Faso. Importé au départ de l'Europe puis de l'Inde ou de la Chine, ces équipements sont fabriqués localement depuis 1980. La représentation du réseau de maintenance est la suivante (Fig. 3.20) :

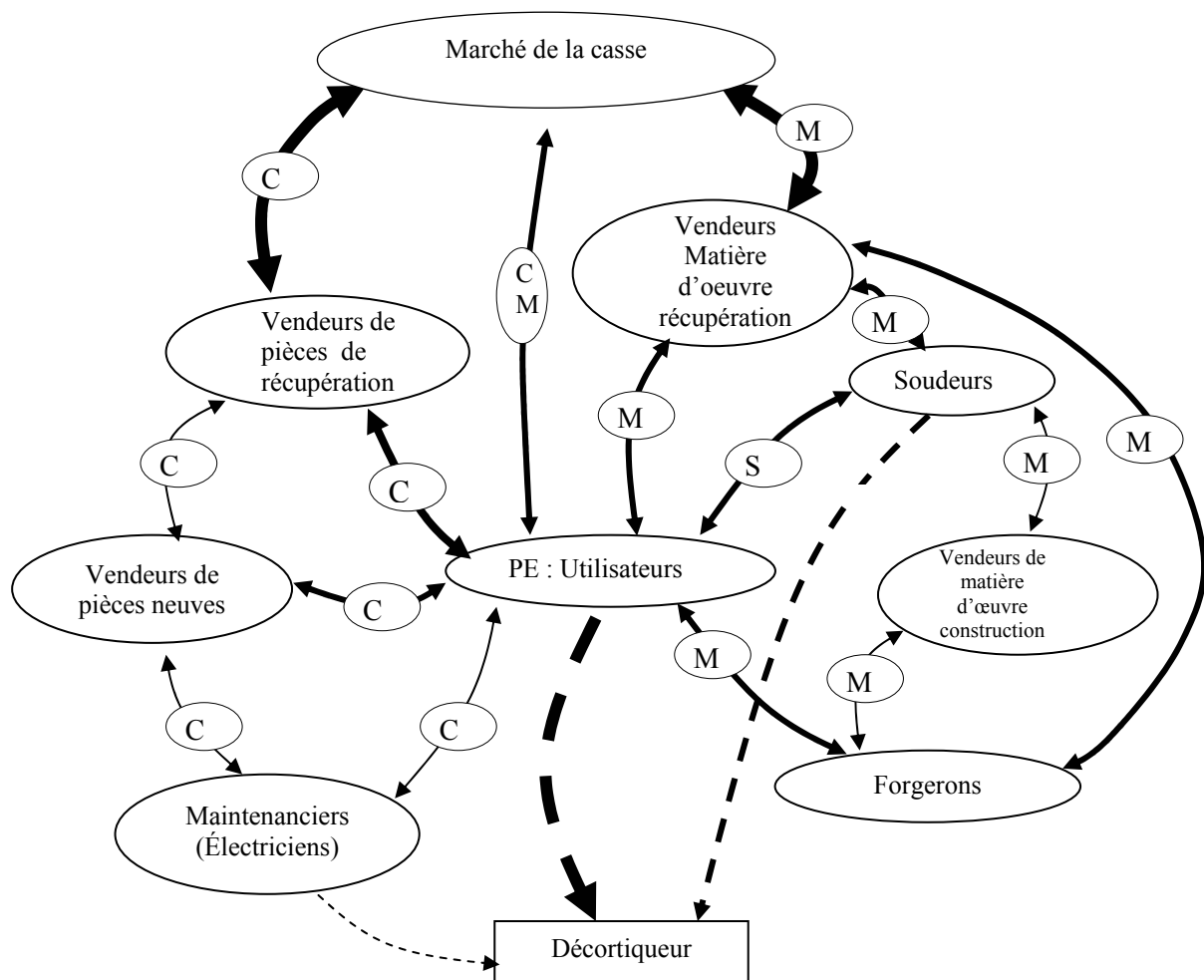


Fig. 3.20 : Réseau de maintenance du décortiqueur fabriqué dans la région de Bobo Dioulasso

- Intervention sur l'équipement

L'utilisateur intervient très souvent pour des opérations de montage et de démontage, de diagnostic, de remplacement de pièces etc. Les soudeurs interviennent souvent pour réaliser des opérations de soudure en se déplaçant sur place ou l'utilisateur lui apporte la

pièce. Le maintenancier intervient peu souvent sur le moteur électrique pour une opération de rebobinage du moteur électrique.

- Circuit d'approvisionnement en composants

L'utilisateur s'approvisionne très souvent en composants de récupération constitués essentiellement de roulements et de boulons chez les vendeurs de pièces de récupération. Les pièces spécifiques comme le tamis, lame frein, s'approvisionnent chez le vendeur de pièces neuves. Pour des pannes électriques, ils s'approvisionnent peu souvent en composants électriques (disjoncteur, fils électrique, fusible).

- Circuit d'approvisionnement en matières premières et pièces spécifiques

L'utilisateur, soucieux de la qualité des matériaux, est souvent amené à s'adresser aux vendeurs spécialisés de matière d'oeuvre de récupération (un premier triage a été opéré) où, pour des raisons économiques lié au marché de la casse (la matière d'oeuvre de récupération y est moins chère puisque les produits sont en fin de vie et les matériaux non testés) pour s'approvisionner en matière d'oeuvre. Il s'adresse souvent pour la confection des pièces spécifiques aux forgerons ou aux soudeurs. Il s'agit de la confection des pièces comme les nervures, les coquilles, l'arbre central, le rotor ou la lame frein du décortiqueur.

Pendant les enquêtes, un des utilisateurs du décortiqueur à Bobo témoigne : « En cas d'usure de la coquille du décortiqueur je cherche moi-même un tuyau en acier au marché de la casse qui convient aux dimensions et ensuite je fais découper en deux par un soudeur proche de mon atelier de transformation ».

Pour la confection de l'arbre, l'utilisateur s'adresse au soudeur qui ira voir un équipementier possédant un tour. Le forgeron fournit essentiellement les nervures découpées dans de ressorts de véhicules.

Les acteurs comme les vendeurs de pièces ou matières de récupération et le marché de la casse sont essentiels dans le processus d'approvisionnement des pièces. La confection de pièces spécifiques est exclusivement réalisée avec de la matière d'oeuvre de récupération fournie par le marché de la casse et les vendeurs spécialisés. On remarque aussi sur la figure 3.20 que l'approvisionnement en matière d'oeuvre dépend du marché de la casse. L'utilisateur ne s'adresse pas aux équipementiers possédant des machines outils. Le réseau est ouvert car les utilisateurs peuvent travailler librement avec d'autres acteurs : la prestation n'est pas limitée ou réservée à un acteur. L'utilisateur en fonction de son besoin échange avec les acteurs comme le soudeur, le forgeron et les différents vendeurs.

L'intensité des niveaux des relations entre l'utilisateur, les soudeurs, les forgerons et les vendeurs montrent que la maintenance du décortiqueur dans les petites entreprises de

transformation agroalimentaire est fortement dépendante des acteurs du réseau de maintenance. Cela montre aussi que l'intensité et la densité du réseau sont liées à l'intensité de l'utilisation du produit et à son degré d'implantation locale. L'utilisateur reste largement au centre du réseau et réalise une grande partie des opérations de maintenance. Car la conception du produit le permet.

3.2. Réseau de maintenance de la presse dans la région de Bobo Dioulasso

C'est en 1997, que l'on assiste à une vague d'introduction de presses indiennes au Burkina Faso. Elles étaient essentiellement destinées à extraire de l'huile de soja. Elles furent adaptées pour le karité en 1998. Quelques années plus tard, pour des raisons de rentabilité, elles sont une nouvelle fois utilisées pour un autre produit, la graine de coton, parce que sa production semi industrielle est soutenue par la politique nationale ; des efforts importants sont déployés pour développer ce secteur de la transformation. Il s'agissait d'extraire de l'huile des graines de coton pour la consommation et la fabrication de savon. Le tourteau de graines de coton produit par la même occasion est destiné à l'alimentation du bétail. Le Burkina est grand producteur de coton en Afrique : 500 000 tonnes de coton produit en 2003 (Anon, 2004).

L'entreprise SOAF fabrique, en 1998, la première presse copiée d'un modèle indien et la réalise pour un prix deux fois inférieur au prix de l'original pour une capacité identique (3,5 - 4 tonnes de graines de coton par jour).

L'un des premiers acquéreurs de la presse à Bobo explique : *«La première presse est arrivée à Bobo en 1997 pour la transformation du soja. Mais la copie a commencé sur ma presse en 1998 à Bobo par SOAF. Ma presse indienne et tout le complexe de raffinage (chaudière, filtre) ont été acquis en 1998 par une société indienne de ventes d'équipements agroalimentaires à Ouagadougou (Kossodo). Ces équipements au départ étaient destinés aux amandes de karité. Une augmentation du coût des amandes de karité m'a amené à essayer les graines de coton : 40 000 FCFA la tonne de graines de coton contre 80 000 FCFA les amandes de karité. Le fût d'huile est à 95 000 FCFA et la tonne de tourteaux 45 000 FCFA. Cette presse indienne a servi de premier modèle pour SOAF et un fabricant togolais. La presse fabriquée par SOAF à beaucoup de pannes. Les soudures se détachent très souvent. Ce premier prototype a bien fonctionné mais chaque jour il y avait des pannes ».*

Depuis, il y a plus d'une centaine de presses en service au Burkina Faso. Nous allons maintenant présenter le modèle du réseau de maintenance de cette presse (Fig. 3.21) :

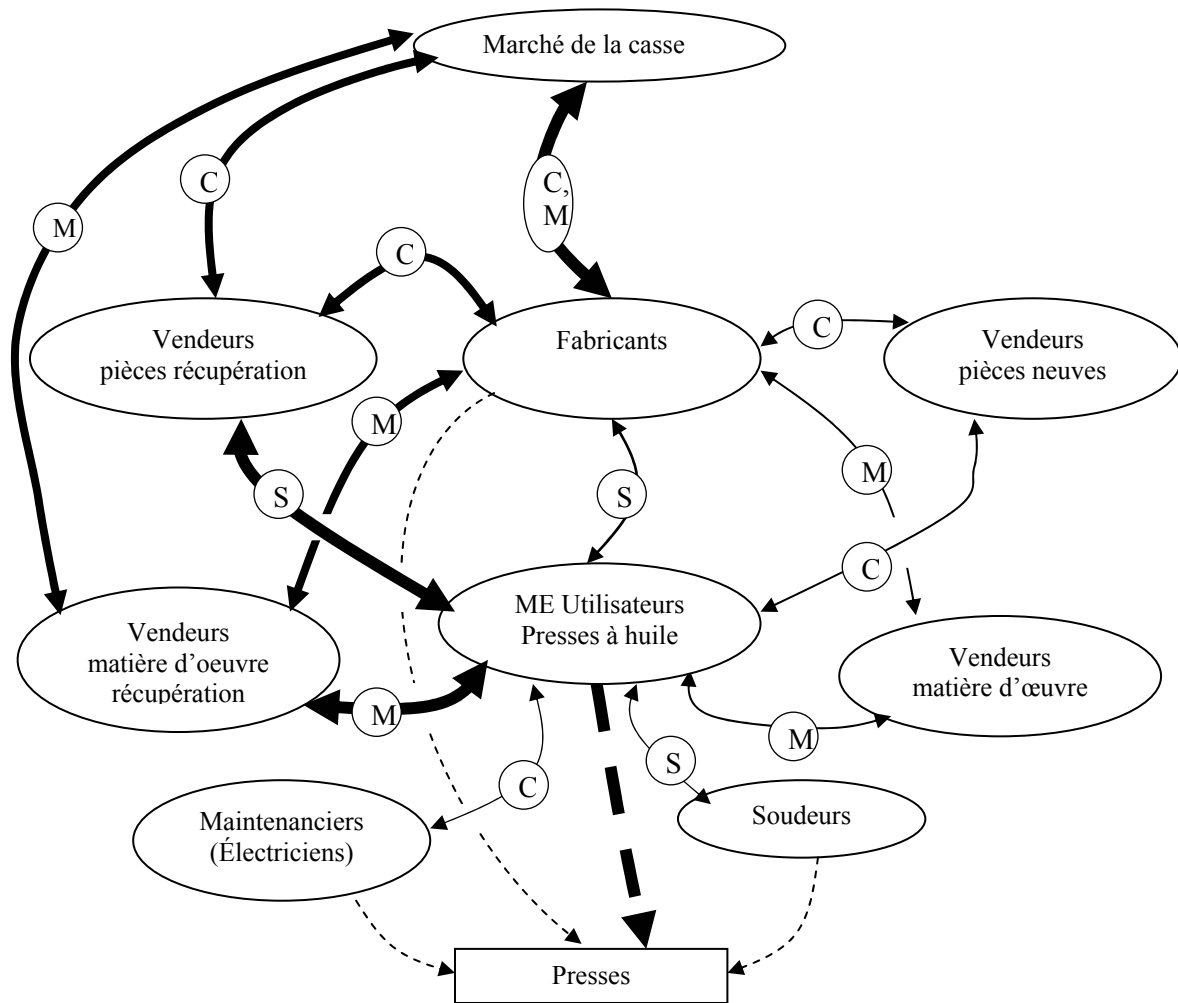


Fig. 3.21 : Réseau de maintenance de la presse dans la région de Bobo Dioulasso

- Intervention sur l'équipement

Les opérations de maintenance (montage/démontage, diagnostic, remplacement de pièces, soudage) sont assurées par l'utilisateur. Les opérations de mécanosoudure, sont peu souvent confiées à un soudeur spécialisé. Ils préfèrent s'orienter vers ces soudeurs plutôt que les fabricants pour des raisons économiques. Le maintenancier intervient peu souvent sur l'équipement pour rebobiner le moteur électrique.

- Circuit d'approvisionnement en composants

L'utilisateur s'approvisionne très souvent en composants de récupération (roulements de véhicule, paliers, courroies) chez les vendeurs de pièces de récupération et les pièces électriques chez le maintenancier. Il s'approvisionne peu souvent en boulons et courroies chez les vendeurs de pièces neuves.

- Circuit d'approvisionnement en pièces spécifiques :

L'utilisateur s'approvisionne très souvent en matière d'œuvre de récupération et effectue lui-même la majorité des réparations. La faiblesse des liens d'échange avec les équipementiers (fabricant, soudeur) montre que l'utilisateur pour l'entretien, a une certaine capacité à prendre en charge les opérations légères de soudure (rechargement des vis) et la confection de barreaux. Par contre, il va souvent voir le fabricant pour la confection de pièces de précision comme l'arbre, les vis ou le moyeu.

Les presses importées sont progressivement adaptées aux composants disponibles dans la région et les pièces spécifiques sont confectionnées sur place par les équipementiers. Les équipements importés ou localement fabriqués sont entretenus aujourd'hui de la même manière par les utilisateurs.

Le réseau est ouvert parce que l'information relative à la maintenance n'est pas sous contrôle. Dans ce type de réseau les acteurs connaissent les techniques de réparation et il n'y a aucune barrière pour tisser des relations entre utilisateur et les autres acteurs ni pour accéder à des informations relatives à la maintenance.

L'entreprise SOAF jusqu'en 2003 était la seule à entretenir les presses et le réseau était alors fermé. Malgré sa volonté de protéger son secret de fabrication et de maîtriser les opérations de maintenance, deux ans plus tard, près d'une dizaine d'équipementiers (soudeur, fabricants, ME) entretiennent les presses (ce qui est sûrement une chance pour SOAF et la raison de son succès) : la vitesse de diffusion (Akrich, 1988; Akrich, Callon et al., 1988) d'un équipement dans les PAO est très liée à la facilité de remise en état de fonctionnement.

Le modèle actuel traduit cette plus grande mobilisation d'acteurs autour de l'utilisateur pour entretenir les presses. On observe une appropriation de la technologie de fabrication par d'autres équipementiers et le réseau fermé avant 2003 s'est largement ouvert depuis.. L'analyse des réseaux dans le temps permet de constater l'évolution de la structure du réseau.

3.3. Réseau de maintenance du séchoir dans les villes de Bobo Dioulasso et de Ouagadougou

Le séchoir Atesta (photo. 3.1) a été introduit au Burkina Faso en 1992 (environ une trentaine d'équipement) par une ONG le CEAS-Atesta (Anon., 2006a). De nos jours on dénombre plus de deux cent séchoirs de ce type au Burkina Faso. Les utilisateurs sont des coopératives (groupements des femmes) et des individus. Ils sont surtout utilisés pour sécher les mangues découpées en tranches qui sont ensuite exportées en Europe pour la

consommation humaine. La commercialisation des produits finis est gérée par l'ONG CEAS-Atesta.



Photo. 3.1 : Séchoir à Gaz Atesta (Anon., 2006a) (Photo Geres)

Le réseau de maintenance se présente comme suit (Fig. 3.22) :

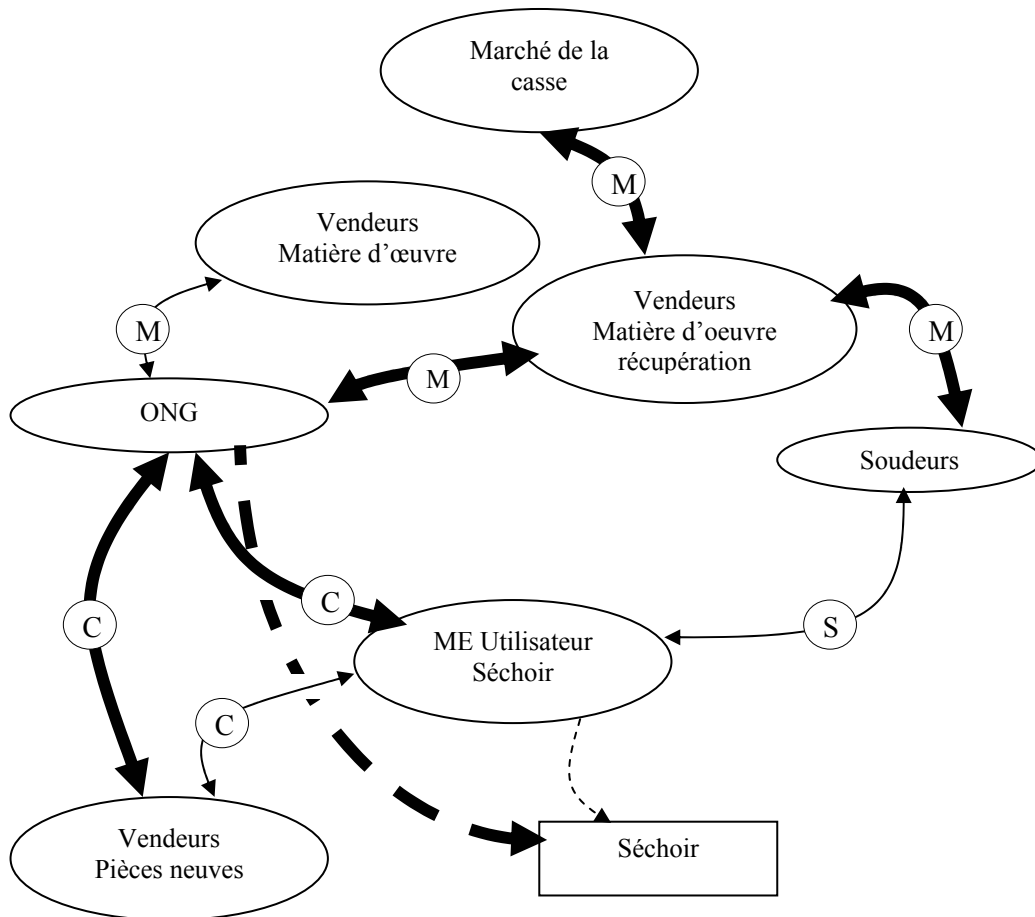


Fig. 3.22 : Réseau de maintenance du séchoir atesta dans les villes de Bobo-Dioulasso et de Ouagadougou

- Intervention sur l'équipement

Ce réseau était, au cours des enquêtes 2003 complètement fermé : la maintenance était exclusivement assurée par l'ONG et les informations recueillies pour les phases d'apprentissage des opérations d'entretien n'étaient pas disponibles aux autres équipementiers. Aujourd'hui l'utilisateur assure lui-même certes peu souvent une partie de la maintenance. Il commence à nouer des relations, en faisant appel à d'autres savoir-faire extérieurs à l'ONG comme c'est le cas avec le soudeur. Ceci montre un début d'appropriation de la maintenance par l'utilisateur. Le réseau s'ouvre actuellement même si les relations avec les autres entités sont encore peu nombreuses.

- Circuit d'approvisionnement en composants et en pièces spécifiques

L'utilisateur pour la défaillance des pièces comme le thermomètre, le détendeur, le brûleur fait appel à l'ONG Atesta qui en assure l'entretien. Il s'adresse peu souvent aux vendeurs de pièces neuves. L'utilisateur fait appel à un soudeur qui ne fait pas partie de


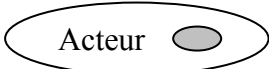
l'ONG CEAS-Atesta, pour assurer les petites soudures sur des pièces (poignée). Il dépend de l'ONG qui assure la quasi-totalité du suivi et de l'entretien. L'ONG justifie cette position en évoquant la nécessité de préserver son label de fabricant. Elle garde le monopole car elle assure le débouché commercial des produits.

Au lancement de la diffusion d'un équipement, les fabricants cherchent à avoir un monopole pour l'équipement et sa réparation, ils souhaitent un réseau fermé. Au fur et à mesure de la diffusion de l'équipement ce réseau va s'ouvrir sous l'action conjuguée des utilisateurs et des autres acteurs (soudeurs, ..), c'est même un signe de réussite du produit et donc de succès. Les premiers cherchent à trouver des alternatives de solutions d'approvisionnement, les seconds à trouver de nouveaux débouchés (voir les exemples des presses SOAF et du séchoir Atesta. Un réseau fermé a néanmoins des avantages quand il y a peu d'équipements en service, il vaut mieux aller voir le fournisseur qui *a priori* est le seul à maîtriser la technologie. Ces réseaux fermés concernent surtout des équipements financés par des acteurs (ONG) pouvant offrir des équipements, les faire produire, intégrer la maintenance et commercialiser la production.

4. Réseau de maintenance de l'équipement en fonction de la proximité des acteurs

Il y a une forte concentration d'acteurs (fabricants, maintenanciers, vendeurs) de la maintenance dans les grandes villes des PAO. Cette répartition est inégale au niveau du pays, handicape les transformateurs de céréales ou de coton situés loin des grandes villes (100 à 500 km). En effet, selon les témoignages des équipementiers, maintenanciers et vendeurs, ces utilisateurs sont souvent obligés de parcourir la distance jusqu'à la ville la plus proche avec la pièce défectueuse puis de rester en ville le temps nécessaire pour récupérer la nouvelle pièce ou celle réparée. Certains, pour éviter ces coûts de déplacement vont jusqu'à accepter le bricolage de certains « réparateurs » à proximité. La représentation de la composante spatiale dans le réseau est indispensable pour permettre au concepteur d'en tenir compte dans ses prévisions. La représentation se fera en ajoutant en complément sur le modèle de réseau de maintenance générique un « cercle en gris » pour la représentation spatiale (Tabl. 3.13).

Tabl. 3.13 : Présentation de la dimension spatiale

Accès à la ressource	Désignation	Illustration
	au delà de la journée	

Le concepteur doit tenir compte des contraintes des futurs utilisateurs, situés en zone rurale. Cette représentation permettra de la prendre en compte dans les réseaux qui seront établis à l'avenir.

5. Discussion

Dans le réseau de maintenance de la presse, l'utilisateur est le principal intervenant direct sur l'équipement tandis que dans celui du décortiqueur, l'intervention est partagée avec le soudeur (membre du réseau). L'intervention (opérations) est donc centralisée dans le cas de la presse et partagée pour le décortiqueur. Cette différence se justifie en fonction des capacités internes de réalisation des opérations de maintenance des petites unités (Tabl. 3.14) :

Tabl. 3.14 : Capacité interne de réalisation des opérations de maintenance en fonction de la structure de l'entreprise

Entreprise Moyens internes	PE (transformateurs de céréale)	ME (transformateurs de graine de coton)
Moyens spécifiques de maintenance	4/13 TPE possèdent un poste à souder	100 % des ME possèdent un poste à souder et 9 % des machines outils
Formation du personnel	Formation sur le tas	52 % ME ont des opérateurs qui ont reçu une formation spécialisée en soudure
Management de la maintenance	Pas de management structuré, pratique de la maintenance curative	Pas de management structuré, pratique de la maintenance curative
Stock pièce de rechange	Pas de stock	Pas souvent de stock
Capacités internes de réalisation des opérations de maintenance.	faible	Plus forte

Les PE ont une faible capacité interne de maintenance, raison pour laquelle les interventions d'entretien reposent sur les acteurs du réseau alors que les interventions d'entretiens reposent plus sur l'utilisateur dans les ME car ont une plus forte capacité en maintenance. Les concepteurs dans l'application des outils d'intégration de la maintenance que nous allons développer doivent tenir compte de cette différence entre les types d'entreprises. Les TPE et PE dépendent fortement (approvisionnement, interventions) du (ou des) réseau de maintenance existant. Les ME en dépendent moins : leur dépendance au réseau est partielle.

Le réseau est un outil de représentation et d'analyse d'un environnement de prise en charge de la maintenance d'un équipement par les acteurs. Cette représentation donne des renseignements qui peuvent aider les concepteurs dans un processus de conception pour prendre en compte l'environnement de la maintenance. Une analyse sociotechnique de la structure du réseau de maintenance fournit les informations sur le rôle des acteurs et leur importance dans le système organisationnel concernant :

- Le positionnement des acteurs
- Le lien entre les acteurs
- Le type de réseau : fermé ou ouvert

Le modèle de réseau de maintenance d'un équipement offre aux concepteurs, des informations concernant l'environnement de la maintenance existant sur le terrain:

- Les nœuds permettent d'avoir la structure globale de l'ensemble des acteurs à prendre en compte dans la conception : savoir faire, rôles, etc...
- Les liens permettent de savoir avec quel acteur l'utilisateur est en relation. Ils permettent également de voir quels sont les acteurs qui opèrent sur un équipement.
- La visibilité des circuits d'approvisionnement de pièces de rechange de matière d'œuvre et des intervenants de la réparation donne une connaissance sur les habitudes de l'utilisateur qui tiennent compte du contexte (faible pouvoir d'achat)
- La visibilité sur les acteurs éloignés de l'utilisateur permet au concepteur de tenir compte de la proximité dans le choix des solutions.
- Le réseau permet le partage de la représentation, sa discussion, et son utilisation par d'autres personnes que celles ayant fait l'étude. C'est une représentation persistante.

Les inconvénients de la représentation sont les suivants. Le modèle est fastidieux à construire même si la représentation est faite puis adaptée au fur et à mesure que des informations sont capitalisées. Mais surtout, ce réseau n'existe que quand l'équipement est

déjà conçu fabriqué et utilisé ce qui est loin d'être le cas lorsqu'on conçoit un produit. La question se pose donc de l'utilité de ce modèle en phase amont de conception.

Le concepteur doit faire des choix de conception en songeant à la maintenance avec un réseau fermé quant il s'agit d'une technologie nouvelle : c'est-à-dire quand la fabrication et la maintenance sont réalisées exclusivement par un acteur en pensant à terme à une évolution en réseau ouvert si la technologie réussie (ou pour qu'elle réussisse), si elle est maîtrisée par un grand nombre d'acteurs. Par exemple, l'ouverture d'un réseau fermé existant peut être favorisée en faisant des choix de conception. L'ouverture du réseau peut aussi être une source de motivation puisque chaque fabricant voudra offrir le meilleur produit sur le marché.

Le modèle à lui seul ne permet pas de capitaliser les données techniques, il faudra pour cela proposer des outils annexes au réseau.

IV. Caractérisation des pratiques de maintenance de l'utilisateur et du réseau de maintenance

L'analyse des pratiques de maintenance des petites unités agroalimentaires au Burkina a permis d'avoir une représentation du système de maintenance externe existant (réseaux de maintenance) et des informations sur la maintenance interne pratiquée par l'utilisateur, dans le cas de trois produits typiques du pays. Pour intégrer le réseau de maintenance, il est nécessaire de les caractériser (Tabl. 3.15 ; 3.16) et les modélisés en règles de conception (Chapitre 4 § II.1). L'objectif étant de trouver un moyen pour intégrer cet environnement de la maintenance.

1. Les pratiques de maintenance de l'utilisateur

Nous avons caractérisé les principaux éléments qui contribuent à la fiabilité des équipements car le coût de maintenance est élevé dans les petites unités agroalimentaires (Tabl. 3.15).

Tabl. 3.15 : Caractéristiques des pratiques de l'utilisateur dans l'entreprise

Analyse des pratiques de l'utilisateur	Caractéristiques de la maintenance
Les utilisateurs (37/39) pratiquent de la maintenance curative.	Maintenance curative prépondérante
Les entreprises se plaignent de la mobilité des opérateurs : les erreurs humaines dans l'usage impliquent des pannes fréquentes car 60% des opérateurs sont formés sur le tas.	Opérations de maintenance faciles à réaliser
Les utilisateurs disposent d'un nombre limité de clefs. Les entreprises (32/39) ne pratiquent pas les 5S. Les outils pour la réparation peuvent se retrouver dans les produits transformés ce qui provoque des défaillances de plusieurs pièces.	l'auto maintenance (1, 2 voire 3 niveaux)
Maintenance (niveaux 1-2) très fréquente est assurée par l'opérateur (37/39 entreprises) 2-14 fois/semaine.	
Mauvais alignements des éléments de transmission (courroies, poulies, moteur, arbres, roulements) pourtant les opérations de montage sont très fréquentes (2-14 fois/semaine).	Absence de connaissances relatives au montage

Ces caractéristiques serviront de références à la proposition de règles de conception orientées maintenance pour prendre en compte les pratiques de maintenance de l'utilisateur.

Ces caractéristiques ont un sens dans ce milieu. Elles sont à priori compréhensibles par les acteurs d'un réseau de maintenance. La question est de savoir s'il est possible de réunir une équipe de conception pluridisciplinaire et une équipe d'acteurs de réseau de maintenance dans une démarche de conception. Dans le paragraphe suivant, nous aborderons cette question, autour de l'expérimentation de la méthode AMDEC. L'analyse des échanges servira aussi de base pour proposer des règles de conception orientées maintenance (Chapitre IV § 2).

2. Le réseau d'acteurs de maintenance

Nous avons caractérisé les pratiques qui permettent aux entités d'un même réseau de maintenance de pouvoir rétablir rapidement une panne à un coût abordable pour l'utilisateur (Tabl. 3.16). Les indicateurs de ces pratiques étant le coût et la disponibilité de la pièce de rechange dans le réseau.

Tabl. 3.16 : Caractéristiques des pratiques de maintenance dans le réseau de maintenance

Analyse des pratiques entre entités du réseau	Caractéristiques
<p>Les utilisateurs (16/21) s'approvisionnent directement chez des vendeurs de pièces ou fournisseurs situés à proximité pour éviter l'immobilisation d'un capital. Ils réparent (17/21) chez les équipementiers proches.</p> <p>Les équipementiers (8/9) pensent à la proximité dans la réparation et la réalisation des équipements. Ils (9/11) affirment que les utilisateurs trouvent les pièces de rechange chez des fournisseurs proches de leur entreprise.</p>	Proximité spatiale des acteurs de la maintenance
<p>6/15 seulement des fabricants et maintenanciers possèdent un pied à coulisse. Ils s'en servent rarement et pour cette raison, il faut éviter les ajustements précis. Dans les réseaux actuels de maintenance les technologies élémentaires de fabrication des pièces sont maîtrisées.</p>	Technologie de fabrication maîtrisée
<p>Le bâti de la presse SOAF et le palier de roulement du décortiqueur sont décomposés en pièces simples à fabriquer. Les pièces complexes (dimensions, formes) ne sont pas adaptées à la fabrication : limites des capacités de fabrication.</p> <p>Les équipementiers évitent les solutions technologiques qui utilisent les engrenages parce que c'est difficile à entretenir (coût, maîtrise des fabricants, disponible sur place).</p>	Simplicité des pièces
<p>Utilisation de coquilles d'usure afin de protéger les châssis, pièces difficiles à fabriquer. Ex : décortiqueur engelberg.</p>	Report de l'usure sur des pièces faciles à fabriquer
<p>Les équipementiers et les maintenanciers (10/15) préfèrent utiliser des pièces disponibles dans le réseau.</p>	Disponibilité

<p>Les équipementiers 08/11 affirment utiliser des pièces de récupération pour la fabrication des équipements : coût abordable, disponible et durée de vie meilleure.</p> <p>Les utilisateurs modifient souvent un équipement pour l'adapter à une pièce qui soit disponible dans le réseau et accessible en termes de coût : Ex : roulements, courroies, paliers...</p>	<p>des matériaux et pièces</p>
<p>Les fabricants (09/10) affirment que l'on trouve facilement la matière première pour la fabrication des pièces : matériaux de récupération.</p>	
<p>La technologie de fabrication des équipements est accessible à la réparation.</p>	<p>Technologie de fabrication maîtrisée</p>

Ces caractéristiques serviront de références à la proposition de règles de conception orientées maintenance pour prendre en compte le réseau de maintenance.

Ces caractéristiques issues des pratiques de maintenance ont un sens dans ce milieu. Elles sont à priori compréhensibles par les acteurs d'un réseau de maintenance. La question est de savoir s'il est possible de réunir une équipe de conception pluridisciplinaire et une équipe d'acteurs de réseau de maintenance dans une démarche de conception. Dans le paragraphe suivant, nous aborderons cette question, autour de l'expérimentation de la méthode AMDEC. L'analyse des échanges servira aussi de base pour proposer des règles de conception orientées maintenance (Chapitre IV § 2).

V. Expérimentation de la méthode AMDEC

1. Présentation de la méthode AMDEC

L'Analyse des Modes de Défaillances de leurs Effets et de leur Criticité (AMDEC) ou *Failure Mode Effect and Criticaly Analysis* (FMECA) en anglais est une méthode d'analyse qualitative de système de production ou de processus. Elle permet d'identifier de façon inductive et systématique les risques de dysfonctionnement des machines, puis de rechercher leurs origines et leurs conséquences (Riout, 1994). Développée aux Etats-Unis, dans l'industrie aéronautique au début des années 60, elle se généralise progressivement dans l'industrie automobile, chimique, nucléaire au début des années 80 et plus récemment dans l'industrie agroalimentaire. En France, elle est formalisée par la norme NF X60 510 (AFNOR, 2005).

On distingue trois types d'AMDEC (Landy, 2002): L'AMDEC produit, procédé et services. Son application nécessite la mise en place d'un groupe pluridisciplinaire, maîtrisant la méthode et ayant une expérience dans le domaine. Elle aide à capitaliser l'expérience de cette équipe sur le dysfonctionnement d'un matériel et de proposer des solutions d'amélioration pour la reconception et l'organisation de la maintenance dans les entreprises. L'équipe déroule la méthode dans une dynamique de collaboration basée essentiellement sur le consensus, pour la résolution de problèmes dont on veut identifier les causes et les effets. La méthode est constituée de quatre (4) phases (Fig. 3. 23) :

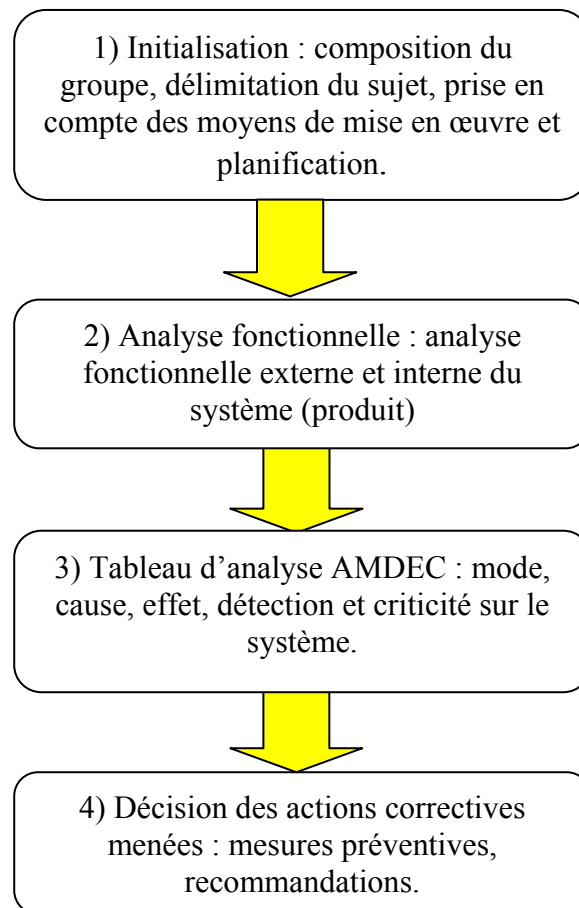


Fig. 3. 23 : La méthode AMDEC en quatre phases (Riout, 1994)

La démarche AMDEC est reconnue de nos jours comme un processus de qualité (ISO 9000) pour la maîtrise des installations industrielles. Elle est généralement utilisée dans les grandes entreprises disposant d'un service spécifique de maintenance avec une organisation interne et des moyens budgétaires ; si l'AMDEC peut s'appliquer en conception c'est dans les cas de reconception d'équipements en se basant sur le retour d'expérience. De plus, cette méthode offre l'avantage d'utiliser des données qualitatives (mais objectives). C'est une méthode de base de la maintenance, elle est apparue *a priori* utilisable dans un contexte de PME d'Afrique de l'Ouest pour offrir un retour d'expérience aux équipementiers. L'expérimentation de cette méthode dans notre contexte devait nous renseigner sur son applicabilité, sur le fonctionnement d'une équipe pluri-compétences travaillant autour d'un outil de la maintenance et permettre de lancer une réflexion sur une méthode de conception orientée maintenance.

2. Objectif de l'expérimentation

Nous nous servons de cette méthode pour comprendre comment ces différents acteurs, appartenant à des structures différentes, indépendants dans leurs activités peuvent collaborer avec une équipe de concepteurs autour de la maintenance d'un équipement et s'ils sont capables de proposer des solutions d'amélioration. Il s'agira également de tirer des leçons de cette expérimentation pour proposer ou justifier des règles de conception en vue d'intégrer la maintenance dans la conception. La méthode a été déroulée en précisant au début les critères initiaux (fréquence, gravité, détection) afin de s'assurer de la bonne compréhension de leurs sens dans notre contexte. Nous savons que ces critères permettent de caractériser une défaillance, mais la question est de savoir, s'ils sont valables dans le contexte de petites unités. C'est une des rares expériences associant chercheurs, fabricant et plusieurs utilisateurs de l'équipement. Celle-ci a été réalisée sur un équipement fabriqué localement et déjà diffusé : la presse à graines de coton dont nous avons étudié le réseau (voir § 2.2). Les objectifs spécifiques concernant le déroulement de l'expérimentation de la méthode CESAM sont :

- Valider auprès des fabricants et des utilisateurs le CdCF et le BDF proposés de la presse (Annexe B).
- Etablir le tableau AMDEC.
- Définir la criticité des différents constituants.
- Définir des actions correctives associées.

3. Matériel et méthode

L'expérience a été réalisée sur la presse d'un fabricant d'équipements agroalimentaires au Burkina Faso et dans les locaux de l'entreprise.

- Nombre de salariés : 62 agents
- Chiffre d'affaire approximatif annuel : 300 000 000 FCFA
- Principaux moyens de production : Machines outils conventionnelles, soudure à l'arc, fonderie.
- Type de produits fabriqués et services : Presses, concasseurs, broyeurs, pièces de rechange industrielles et service de maintenance sur sollicitation.
- Localisation : zone industrielle de Bobo Dioulasso

La préparation de l'expérience de conception relative à l'utilisation de l'outil AMDEC a été réalisée en s'inspirant de la démarche proposée par Michel Ridoux (1999) selon le

mémento de gestion pratique de l'AMDEC et les recommandations de Gérard Landy (2002) selon le guide pratique de l'AMDEC. Les préparatifs ont consisté à :

- Identifier l'équipe de travail (composition souhaitée par l'équipe de recherche) : responsable étude / fabrication, responsable commercialisation / vente / SAV, maintenancier / réparateur, animateur, utilisateurs (3), observateur.
- Déterminer le planning de travail : une réunion préparatoire avec le fabricant en deux séances de travail de 3 heures avec suspension de pause de 30 mm le premier jour comme le deuxième jour.
- Etablir les invitations aux réunions en précisant les objectifs, les dates, le lieu et heures de réunion
- Etablir le découpage fonctionnel de l'équipement à étudier : voir CdCF de la presse et bloc diagramme fonctionnel (Annexe B)
- Préparer les moyens logistiques de la réunion : salle, paper board (2) et feutres de différentes couleurs, crayon, indemnités pour les participants, collation pour la pause.

3.1. Support de l'expérimentation

Les éléments utilisés pour l'expérimentation :

- Cahier de charges fonctionnel de la presse à coton SOAF (Annexe B) ;
- BDF de la presse à coton SOAF (Annexe B) ;
- tables (grille) de cotation AMDEC (Annexe B) ;
- pièces de la presse (vis, arbre, moyeu, bague, ensemble étau) ;
- dessin d'ensemble en perspective de la presse version 1 (boite de réduction constituée de roues à dentures droites).

3.2. Animation

La démarche pour l'animation de l'expérience a consisté :

- Présenter les participants et rappeler les objectifs de l'analyse ;
- présenter les principes de l'AMDEC et les différentes étapes : cas d'application sur un équipement connu « le décortiquer Engelberg de céréales » ;
- présenter la presse avec l'analyse fonctionnelle ;
- présenter la presse à l'aide de son bloc diagramme fonctionnel L'AF et le BDF avaient été préalablement rédigés, ils ont été présentés pour validation par les participants ;
- présenter aux participants les grilles de cotation des critères AMDEC définies en fonction des résultats de l'enquête 2004 ;

- réaliser l'analyse AMDEC (documentation des grilles d'analyse).

4. Déroulement de l'expérience AMDEC

L'expérience a duré un jour et demi : des séances de quatre (4) heures et de trois (3) heures pour le premier jour et trois (3) heures et demie le deuxième jour.

4.1. Phase 1 : Initialisation et composition de l'équipe de réalisation de l'AMDEC

Le choix des membres de l'équipe a été réalisé par le directeur de la société en fonction des demandes de l'équipe de recherche. Les critères d'appréciation utilisés pour le choix des autres participants sont : avoir une expérience suffisante dans la connaissance, l'utilisation et la maintenance des presses à huile de graines de coton fabriquées par le fabricant. Ils appartiennent au réseau de maintenance de la presse (§ 2.2).

L'équipe était beaucoup plus importante que souhaitée par l'équipe de recherche, parce que la maintenance des équipements est une préoccupation importante des utilisateurs et du fabricant. Elle était composée de :

- Un (1) animateur (que l'on nommera A)

Il est chargé d'animer et si besoin d'informer les participants durant l'expérimentation AMDEC.

- Un (1) facilitateur (F)

Son rôle est de faire passer l'information ou d'explicitier une idée qui semble mal comprise en traduisant le français dans la langue locale.

- Sept (7) utilisateurs de presses (U1, U2, U3 U4, U5, U6, U7)

Ce sont tous des transformateurs de graines de coton. Ils sont utilisateurs de l'équipement fabriqué par la société. Ils sont gérants de ces unités dont la taille varie de 8 à 27 employés. Leur rôle est de participer et de dire si les actions proposées sont acceptables.

- Trois (3) personnels du fabricant (F1, F2, F3)

Ils occupent respectivement les fonctions de directeur (ingénieur), de chef d'usine (technicien supérieur en génie mécanique) et de chef tourneur (agent de maîtrise : aptitudes acquises par apprentissage et non scolarisé). Ils ont tous une formation de mécaniciens et leur rôle dans l'équipe est de ressortir leurs préoccupations d'un point de vue des fonctions de la conception et de fabrication.

- Un (1) commercial (C1)

Il fait partie du personnel de société. Son rôle est de contribuer à enrichir le débat au niveau des difficultés rencontrées dans le fonctionnement du service après vente pour la satisfaction des utilisateurs.

- Deux (2) maintenanciers (M1, M2)

Ils appartiennent à deux unités de transformation de graines de coton et sont chargés uniquement de la maintenance de l'équipement. Leur rôle au sein de l'équipe de recherche est d'apporter une expertise dans la prise en charge de la maintenance des équipements.

4.2. Phase 2 : Analyse Fonctionnelle (AF) de la presse

Les échanges à ce niveau ont montré une opposition des points de vue entre les utilisateurs et les fabricants.

Les utilisateurs souhaitent pouvoir augmenter le débit de la presse en mettant un moteur plus puissant, en bourrant l'entrée des graines ce qui se traduit par une surcharge de la presse non compatible avec ses caractéristiques d'origine donc une usure des vis, de l'arbre etc. Ils veulent aussi que les pièces soient disponibles chez le fabricant de telle manière que les temps d'arrêt soient les plus courts possibles. Ils sont d'accord pour reconnaître que la presse est la meilleure en terme de ratio coût / performance des presses locales ou importées. Par contre, ils n'assument pas le risque qu'ils prennent en forçant le débit de la presse et reprochent des durées de vie trop courtes des pièces principales notamment les vis.

Le fabricant défend son produit : le montage d'un moteur plus puissant entraîne plus de contraintes sur les pièces mécaniques d'où des ruptures et des usures anormales.

Par ailleurs, le différent est patent pour le stockage des pièces d'usure. Les utilisateurs veulent que les pièces soient disponibles en permanence chez le fabricant. Ce dernier répond qu'il ne peut pas être le seul à assumer le stockage car ces clients ne font pas l'effort de devancer leurs commandes de pièces et que par ailleurs les pièces sont demandées durant la campagne qui est une période d'intense activité pour l'atelier (fabrication de presses et de pièces de rechange).

La phase de l'AF n'a pas été une réussite car la convergence des points de vues est difficile à trouver. Le fabricant ne retrouve plus ses marques parce que les performances initiales de l'équipement sont constamment modifiées par chaque utilisateur. Les acteurs ne parlent plus du même produit.

Par ailleurs ce conflit fabricant-utilisateurs explique pourquoi les utilisateurs de presse à graines de coton préfèrent se doter de moyens internes de maintenance pour ne pas dépendre entièrement des fabricants. Les ME dépendent des circuits d'approvisionnement du réseau de

maintenance mais elles ont tendance à se prendre en charge quant il s'agit des interventions sur l'équipement et quelquefois de la fabrication des pièces spécifiques. Elles ont un minimum de savoir faire en maintenance et leur dépendance au réseau dans ce cas est partielle et pas totale comme c'est le cas des PTE et PE.

Cela suppose également que les ME sont capables de maintenir des systèmes mécaniques un peu complexes par rapport à la qualification technique du personnel.

4.3. Phase 3 : Remplissage du tableau AMDEC

L'animateur commence par expliquer comment remplir le tableau AMDEC et demande aux participants de citer tous les éléments défaillants de la presse. C'est en ce moment que les techniciens de société apportent un dessin d'ensemble de la presse «première-deuxième versions P1-P2». La transmission de puissance de la troisième version P3 est réalisée par poulie courroie au lieu d'une transmission par engrenages. Au total trois éléments ont été étudiés durant l'après midi du 22/06/2005. Les participants ont rempli sans trop de difficultés les cases liées « mode », « cause » et « effets » de la défaillance du tableau AMDEC (Annexe B). Ensuite l'animateur a abordé la criticité des éléments déjà analysés. Il présente les trois (3) grilles de cotation des critères de la fréquence, de la gravité, et de la non-détection et la manière dont elles doivent être utilisées. Ces grilles de cotation sont issues de l'enquête menée en 2004 auprès de 24 entreprises oeuvrant dans la fabrication et la maintenance des équipements, la transformation agroalimentaire (Annexe B). L'objet de l'étude à ce stade est donc de vérifier si elles permettent d'avoir une convergence de points de vues. Les résultats sont les suivants :

⇒ La Cotation de la fréquence F de la rupture de l'arbre :

Extrait du corpus de l'expérience :

A : propose de prendre comme exemple l'arbre principal et de déterminer à l'aide de la grille la cotation de la fréquence des pannes.

M1 : il y a des arbres qui ont une durée de vie de un (1) mois, deux (2) mois, voire de trois (3) mois.

U5 : un arbre bien monté peut atteindre facilement une durée de vie qui varie entre 3 et 6 mois.

U6 : l'arbre ne se casse pas facilement.

M1 : il y a des arbres qui peuvent avoir une durée de vie entre un (1) mois à un (1) an.

U5 : je propose de prendre une fréquence comprise entre 2 à 6 mois (F=2).

Pour le cas de l'usure de l'arbre :

F1 : l'usure de l'arbre n'existe pas ou simplement que ce cas est rare

U5 : l'usure est progressive et finit par casser l'arbre. Les deux (l'usure et la rupture vont ensemble). L'usure entraîne la rupture.

F3 : La qualité du tourteau baisse quand l'arbre est désaxé.

...

Ils conviennent (F1, U5, U 3) de prendre la même valeur (F=2) que la rupture parce que l'origine des pannes est commune et les autres participants manifestent leurs accords en acquiesçant de la tête.

L'arbre est remplacé seulement quand il y a rupture (U6, U5, M1) et sa durée de vie est très variable. Mais ils sont tous d'accord pour la valeur de F = 2. On est dans un cas particulier où la défaillance (rupture) n'est pas réparable avec la pièce initiale (TBF = durée de vie). La durée de vie est un indicateur de défaillance pour ces acteurs.

⇒ La cotation de la gravité G : rupture de l'arbre

Extrait du corpus de l'expérience :

L'animateur rappelle la cotation de la gravité d'une défaillance (rupture de l'arbre) après avoir expliqué la logique de cotation de la grille.

M1 : une panne est grave quand l'arbre est cassé

A : pourquoi ?

M1 : si l'arbre se casse cela entraîne la rupture du roulement et il est difficile de réparer une telle panne. La confection des poulies demande de la précision et le montage demande un personnel spécialisé. La panne peut être répétitive (un jour à un mois) jusqu'à se stabiliser.

U6 : une semaine d'arrêt, c'est déjà grave.

U6 : une panne est grave quand il est difficile de trouver la pièce de rechange. Soit la pièce de rechange est chère ou non disponible immédiatement (délai de confection).

U3 : la gravité de la panne est fonction de la disponibilité ou non de la pièce de rechange.

M1 : quand tu trouves la pièce c'est moins grave que si tu ne trouves pas la pièce.

U5 : on ne peut pas dire si c'est grave ou pas. Par exemple pour les pièces de rechange confectionnées par les fabricants ça dépend de leurs disponibilités au moment où tu sollicites la pièce.

...

Une panne est grave si il n'est pas possible de trouver la pièce ou si ils n'ont pas les moyens de payer la pièce de rechange. On voit bien que la cotation est difficile car les deux facteurs ne sont pas maîtrisés par l'utilisateur, le premier dépend du fabricant, le second dépend de la famille, des contrats, d'un manque de gestion de l'entreprise. Chaque acteur est un cas spécifique. Le « coût élevé » pour l'un n'est pas exactement le même pour l'autre, vis versa pour la disponibilité des pièces. Pour cela il n'y a pas de convergence de points de vues. La cotation de la gravité n'a pas été possible.

Par ailleurs pour M1, la rupture de l'arbre entraîne d'autres défaillances de pièces voisines (poulies, roulements). Ceci augmente forcément le coût de la réparation. Cette pratique de la maintenance curative est une des causes des pannes redoutées. On pourra conseiller des formations sur l'intérêt économique de pratiquer la maintenance prédéterminée à un événement (signe avant coureur d'une défaillance). Les signes avant coureurs de la rupture de l'arbre sont les vibrations de l'équipement, les bruits et le tourteau calciné. Pour la future proposition on pourra recommander l'ajout d'indicateurs d'usure.

⇒ La cotation de la non-détection D : rupture et usure de l'arbre
Extrait du corpus de l'expérience :

A : Est-ce que c'est possible de détecter la défaillance ?

U5 : il est impossible de détecter la rupture de l'arbre à l'avance : je propose que c'est impossible

M1: il faut démonter l'arbre pour constater la défaillance donc je propose détection faible.

U3 et U6 : les fabricants doivent répondre à cette question parce qu'eux seuls le savent.

U6, M1 et U6 : si les pièces confectionnées n'ont pas respecté les côtes (spécifications de fabrication), la panne ne peut être détectée.

U3 : c'est impossible de détecter

M1 : c'est possible de détecter mais il faut arrêter la machine (pour voir) l'état de la pièce.

M1 : les gérants savent des fois que l'arbre va casser mais ils ne font rien.

U5 : normalement si on sait, on doit prévoir le changement mais héla!

Réactions de F1 sur la discussion :

F1 : les petites unités veulent que nous soyons leur magasin de pièces de rechange. Ils viennent nous mettre la pression quand ils sont en panne. De plus, ils ne payent pas la totalité des prix soit de la presse ou des pièces de rechange. Il faut toujours baisser les prix au détriment de notre société. Nous avons d'autres commandes et travaux beaucoup plus importants que de confectionner des pièces de rechange pour des commandes non groupées sur une période. De plus, on n'est pas les seuls à confectionner nos pièces ou à réparer. Le marché est très ouvert aux autres fabricants.

Ils ne doivent pas laisser survenir la panne pour venir demander la pièce à SOAF parce que nous ne mobilisons pas de capital de pièces de rechange pour des entreprises. Nous faisons des affaires et il n'est pas intéressant pour nos affaires de jouer au sapeur pompier des presses. Il n'y aura pas de problème pour remplir les colonnes de F, G et D si les conditions d'utilisation des presses étaient respectées. Chaque unité est un cas spécifique ».

Reprise sur la discussion :

U6 : Je pense que le fabricant ne doit pas vendre les presses ou pièces de rechange en dessous du prix de revient.

U5 : mais il faut faire fonctionner la presse après l'avoir achetée. Il faut payer la presse à crédit (1 million sur 2,13 millions) et utiliser le reste pour fonctionner (maintenance et achat de pièces) en attendant.

U6 : dans ce cas SOAF doit inclure le prix des pièces de rechange dans le montant d'achat de la presse.

Ils sont tous d'accord que SOAF vende la presse avec les pièces de rechange et on passe à l'usure de l'arbre.

U5 : je ne suis pas d'accord parce que le coût de la presse va grimper. Les charges d'une telle activité ne sont pas évaluées par les utilisateurs.

M1 et U6 : les utilisateurs ne savent pas prévoir dans leur budget le coût de la maintenance ou de remboursement des crédits. De plus, ils ne respectent pas les conditions d'utilisation des équipements. F1 peut faire des sacrifices mais ne peut pas résoudre en effet les problèmes de tous les utilisateurs.

Nous assistons encore une fois de plus à un conflit entre fabricants et utilisateurs. La pertinence même du critère « Non détection » est posée quand les utilisateurs disent que « *si une panne est détectée, on va jusqu'à l'usure complète ou la rupture* ». A quoi sert de détecter une panne si on ne fait rien et que l'on attend la rupture ? Finalement aucune convergence n'a permis d'avoir la cotation de la non-détection en 3/4 d'heure, La discussion a été arrêtée, il ne semblait pas nécessaire d'insister. Ce critère n'a pas réellement de prise dans ce contexte.

Les fabricants ne veulent pas s'engager dans un service après vente tant qu'ils n'ont pas le monopole de la fabrication et de la maintenance des équipements (réseau fermé). Les utilisateurs veulent imposer un prix le plus bas des pièces de rechange aux fabricants. Il semble que l'on soit loin d'une relation industrielle entre ces acteurs : comment peut-on exiger que les pièces soient de qualité si on ne paye que la moitié du prix. Même a ce niveau de la discussion, les avis sont partagés entre les utilisateurs (U5, U6) au niveau du prix d'achat de la presse et des pièces car certains sont prêts à payer le prix réel (probablement parce qu'ils ont été sensibilisé lors de notre passage pendant les enquêtes et d'autres non).

Le fabricant F1, dénonce les mauvaises pratiques de maintenance des utilisateurs pour se soustraire de la responsabilité des défaillances soudaines, difficiles à détecter. Il est difficile d'avoir la même cotation quand car chaque acteur est un cas spécifique aussi bien au niveau de la gestion que des équipements.

La phase 4 de l'AMDEC n'a pu être abordée par manque de temps des acteurs qui étaient tous pressés de reprendre leurs activités.

4.4. Discussion

Il est possible d'associer des utilisateurs (gérants et maintenanciers) à une équipe de conception avec des fabricants de presses dans un processus d'analyse d'un produit existant avec une méthode structurée. Il y a eu un réel échange entre les participants. La durée de l'expérience montre qu'il sera difficile d'envisager plus d'une journée et demie pour un tel travail. La criticité n'a pas pu être déterminée parce que la gravité et la facilité de détection ou de non-détection n'ont pas été cotées. L'expérience aurait été plus fructueuse à ce niveau si on utilisait des critères qui ont un sens dans le contexte comme la durée de vie, le coût et la disponibilité des pièces sur le terrain. Mais même à ce niveau seraient-ils capables de noter de façon homogène ces termes ? Chaque acteur appartenant à une entité différente risque de donner une appréciation en fonction de sa propre situation.

Une collaboration entre concepteurs et les autres acteurs est possible mais la méthode AMDEC est très lourde, fastidieuse et nécessite beaucoup de temps (plusieurs jours) pour sa mise en oeuvre. Il semble que les méthodes d'analyses qui demandent de la quantification ne soient pas plus appropriées pour des acteurs d'un réseau de maintenance. Ceci conduit à abandonner l'outil AMDEC. On peut, sur la base de ce résultat, proposer des séances de confrontation entre concepteurs et acteurs de maintenance pour vérifier si la solution orientée maintenance retenue intègre la maintenance (Chapitre IV § 2).

VI. Conclusion

Nous retenons que ce qui est prioritaire pour ces petites unités, c'est avant tout d'accéder aux pièces sur place dans le réseau de maintenance, à un coût abordable. Le réseau est donc un élément central de soutien à la maintenance qu'il faut identifier pour une démarche de conception. La disponibilité opérationnelle est un élément clef à intégrer dans ce contexte par ce réseau. Cependant même si les temps d'arrêt sont courts, la faible fiabilité des équipements conduit à des coûts de maintenance élevés. La fiabilité n'est pas un critère majeur, mais sa prise en compte est nécessaire pour réduire les coûts de pièces de rechange. La maintenabilité n'est pas une préoccupation majeure comme c'est le cas de la durée d'approvisionnement liée au réseau.

Le modèle de réseau d'acteur a permis d'analyser et de représenter le réseau de maintenance des équipements. Les types d'organisation de la maintenance en réseaux fermé ou ouvert, renseignent les concepteurs sur les stratégies à prévoir pour la maintenance des équipements déjà en fonctionnement et connexes à l'équipement en projet permettent de dégager des contraintes de conception. Les réseaux ouverts de maintenance font allusion aux équipements qui se diffusent par leurs qualités intrinsèques et dans le cas des réseaux fermés c'est plutôt des acteurs particuliers qui portent la technologie. Songer à l'un ou l'autre type de réseau lors de la conception implique des choix qui se feront en tenant compte du type d'entreprise, des moyens de l'entreprises et la complexité de la technologie. C'est pour cette raison que nous avons besoin d'un changement de point de vue sur la maintenance dans ce contexte : intégrer la maintenance dans la conception en prenant en compte le réseau de maintenance que nous avons caractérisé. Le concepteur devra d'abord épouser cette vision de la maintenance pour satisfaire l'utilisateur c'est à dire éviter les pannes qu'il considère grave.

Les caractéristiques des réseaux analysés et des pratiques de l'utilisateur ont été déterminées pour servir d'éléments de base dans le chapitre suivant pour construire des règles de conception orientées maintenance.

Le contexte des petites unités des PAO a des spécificités telles que l'outil AMDEC habituellement utilisés pour intégrer la maintenance ne peut pas être déployé tel quel. Néanmoins son expérimentation montre qu'il est possible de réunir une équipe conception et des acteurs d'un réseau de maintenance dans le but de vérifier et valider des solutions orientées maintenance.

Dans le chapitre suivant il sera question de proposer de nouveaux outils en tenant compte du réseau de maintenance et des pratiques de maintenance de l'utilisateur dans l'entreprise, afin d'aider les concepteurs à intégrer la maintenance des petites unités de PAO dans la conception.

CHAPITRE IV

PROPOSITION ET EXPÉRIMENTATION D'UNE DÉMARCHE DE CONCEPTION ORIENTÉE MAINTENANCE

I. Introduction

Cette démarche, construite à partir de l'analyse des pratiques de maintenance des petites unités de transformation agroalimentaire des PAO, constitue une proposition pour mieux intégrer la maintenance dans la conception du futur équipement. Les résultats de l'analyse des pratiques de maintenance ont principalement montré que les défaillances redoutées par les transformateurs sont celles dont le coût de la pièce de rechange se situe au dessus de leur pouvoir d'achat ou celles qui impliquent une durée importante d'arrêt liée au délai d'approvisionnement des pièces de rechange. Or, ces deux facteurs « *coût de la pièce* » et « *durée d'approvisionnement* » dépendent du réseau de maintenance existant dans le milieu. La nécessité de formaliser les données techniques et économiques disponibles dans le réseau concernant les composants, les matériaux et le savoir-faire en fabrication s'impose. Une meilleure connaissance du réseau existant est donc nécessaire pour documenter le choix des concepteurs. Les résultats ont souligné également la nécessité de faciliter le montage des équipements et d'améliorer la sécurité des opérateurs. Certes, les formations en maintenance préventive sont nécessaires afin de créer les conditions minimales d'utilisation des équipements dans les petites unités mais, dans le contexte très particulier des PAO, il est nécessaire que les concepteurs disposent d'outils spécifiques pour intégrer le soutien indispensable à la maintenance à partir du réseau de maintenance existant.

L'intégration de la maintenance dans la conception se fera au niveau de la fabrication de la pièce en tant qu'élément d'un ensemble : le choix des matériaux et du processus sont définis en fonction du réseau de maintenance alors que la géométrie de l'élément est définie

pour répondre aux fonctions techniques. Pour répondre à toutes ces préoccupations, des concepts ont été mobilisés pour proposer une démarche de conception orientée maintenance : identification d'un réseau de maintenance existant, capitalisation de données techniques et économiques du réseau, mise en œuvre de règles de conception orientée maintenance. Cette démarche de conception orientée maintenance a ensuite été partiellement expérimentée dans un projet de conception dans un des pays d'Afrique de l'Ouest : le Bénin.

II. La conception orientée maintenance pour les pays d'Afrique de l'Ouest

La démarche de conception orientée maintenance résulte des travaux de recherche bibliographiques sur l'intégration de la maintenance dans la conception, de l'analyse des pratiques de maintenance locale dans les petites unités de transformation agroalimentaire, de l'expérimentation d'une démarche de conception collaborative, de l'application potentielle de l'AMDEC et des travaux antérieurs de DEA (Bationo, 2003) s'inscrivant dans la même problématique. Cette approche prend en compte les spécificités du contexte (chapitre I § I) des petites unités. La figure 4.1 symbolise la construction de la proposition d'une démarche de conception orientée maintenance.

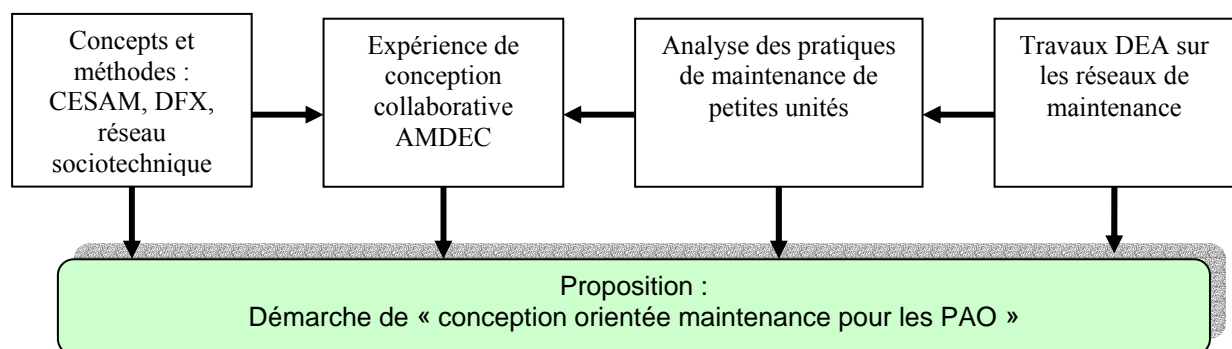


Fig. 4.1 : Démarche de recherche d'intégration de la maintenance dans la conception

La méthode CESAM qui est une méthode de conception collaborative servira de support pour la mise en œuvre de l'intégration dans la conception. L'intégration de la maintenance se fera grâce à un outil de type DFX « conception pour la maintenance » dont les règles intègrent le réseau de maintenance local. Des étapes de confrontation entre équipe de

conception et acteurs du réseau de maintenance se feront en déroulant les différentes règles de conception orientées maintenance autour des solutions orientées maintenance de l'équipement. Ces outils sont positionnés par rapport à la méthode CESAM (Fig. 4.2).

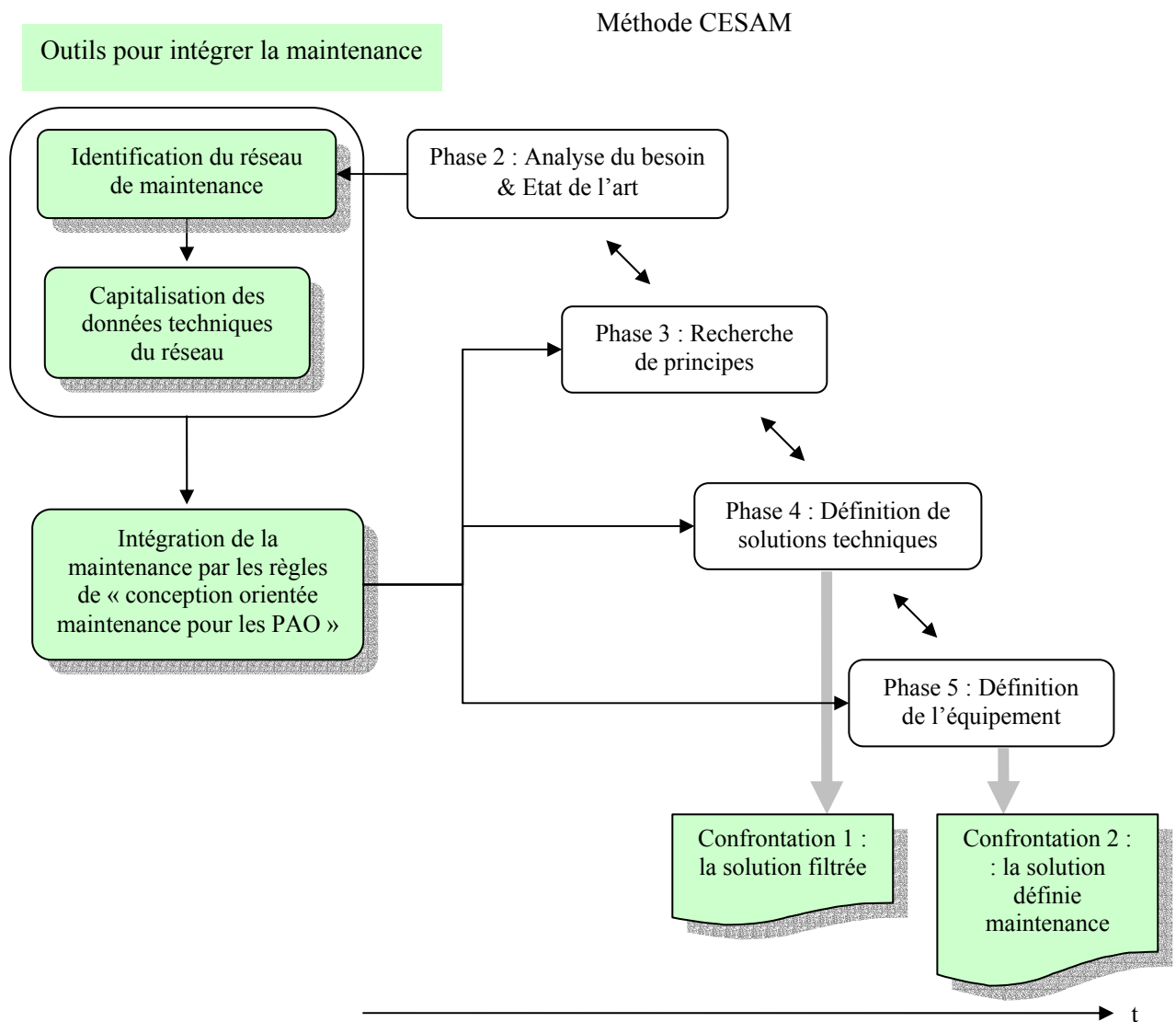


Fig. 4.2 : Démarche d'intégration de la maintenance dans la méthode CESAM

L'identification du réseau de maintenance, la capitalisation de données techniques réseau, la « conception pour la maintenance » grâce à des règles constituent les éléments fondamentaux pour intégrer la maintenance.

1. Le réseau de maintenance

L'intégration du réseau dans la conception permettra de prendre en compte, pour la maintenance le rôle de tous les acteurs, porteurs de métiers différents indispensables à la maintenance des équipements. Par ailleurs, l'existence de configurations en réseau de maintenance, fermé ou ouvert, témoigne des stratégies qui sont développées implicitement par les acteurs du milieu. Les concepteurs pourront s'en inspirer pour prévoir les dispositions futures de prise en charge de la maintenance, d'un point de vue organisationnel.

L'intérêt de prendre en compte le réseau de maintenance dans la conception tient au fait qu'il est conçu pour le contexte et porte en lui plusieurs dimensions : sociale, technique, économique, spatiale.

La dimension sociale est prioritaire dans le fonctionnement d'un réseau de maintenance. Les relations entre les acteurs sont marquées par les liens de famille tissés depuis la création des entreprises grâce aux dispositifs d'investissement effectués dans le secteur informel. En effet les acteurs impliqués dans le financement des entreprises le sont par des « tontines » ou par prêts. Certains fabricants pour aider un utilisateur à démarrer son activité offrent des équipements à crédit, sans contrat écrit, mais remboursable selon la bonne marche de l'activité. Il va de soi que ces fabricants, par exemple celui de la presse à graines de coton, occuperont une position sociale de prestige dans le réseau car ils ont montré leurs préoccupations sociales. Le facteur entre aide est aussi déterminant dans les transactions entre acteurs. Cette approche sociale des choses procure plusieurs avantages pour l'utilisateur : négocier les prix (prestations, pièces de rechange), payer à crédit, sans contrat écrit et même de se faire aider gratuitement dans la réparation. La fréquence des relations entre les acteurs causée par les défaillances répétées renforce les relations sociales. La dimension sociale ici rend compte des relations socialement mobilisées dans le réseau et du contexte spécifique des entreprises de PAO. Les relations sont rendues visibles grâce à la représentation du réseau de maintenance.

La dimension économique dans ce réseau se justifie par les décisions que peuvent prendre l'utilisateur de tisser une relation ou non en fonction de son pouvoir d'achat imposé par les éléments du contexte des PAO : les contraintes économiques sont fortes à cause de l'étroitesse du marché des équipements (pas de débouché commercial stable des produits fabriqués) qui ne permet pas d'effet de réduction de coût par une production de série des taxes institutionnelles jugées élevés, du coût élevé de l'énergie, du transport, de la communication et de l'absence de protection sociale (absence d'assurance des personnes)... Le choix par

l'utilisateur des acteurs de la maintenance est économiquement guidé par son faible pouvoir d'achat et ses moyens internes de maintenance. Le processus de négociation à travers lequel deux ou plusieurs acteurs tentent d'établir ce que chacun échangera par l'intermédiaire d'une transaction, peut conduire à un intéressement réussi ou non (Rojot, 1994). Les utilisateurs privilégient les solutions les moins onéreuses à court terme, même si celles-ci peuvent se révéler extrêmement coûteuses à moyen et long terme.

La dimension technique concerne les capacités techniques du réseau en charge de la maintenance : fabrication de pièces de rechange, disponibilité de composants et de matières d'oeuvre, circuits d'approvisionnement, savoir-faire des acteurs impliqués et des opérateurs intervenant dans la réparation. Le concepteur a besoin d'avoir une connaissance des moyens techniques existant sur le terrain pour faire les choix de conception du futur équipement. Par exemple, les vis des presses à coton fabriquées par SOAF respectent les précisions de côtes de l'ordre du $1/10^{\text{ème}}$ de mm car elle sont fabriquées par tournage mais celles fabriquées par les soudeurs ne sont pas aussi précises car les finitions sont réalisées avec une meule portative. Ce dilemme classique entre performance technique et économique peut être évité si le concepteur a une connaissance des acteurs habituellement mobilisés pour la maintenance d'un équipement en proposant des solutions qui tiennent compte du pouvoir d'achat de l'utilisateur.

La dimension spatiale les relations entre les acteurs sont aussi privilégiées par la proximité spatiale des acteurs ; il faut en effet réduire les coûts de transport et les durées d'approvisionnement. En particulier, pour les utilisateurs situés en zone rurale, les moyens de communication sont limités, les routes peuvent être parfois non praticables et il n'est pas possible de se faire envoyer des pièces par des transporteurs. Il faut que l'utilisateur se déplace lui-même en prenant un taxi brousse. L'organisation de la maintenance est aussi influencée par le paramètre proximité pour l'utilisateur en zone urbaine. Nous avons vu dans le chapitre III, que les pannes sont fréquentes en raison de la faible durée de vie des pièces et comme les utilisateurs ne disposent pas souvent de pièce de rechange en stock ils se déplacent fréquemment. Certains utilisateurs préfèrent suivre la fabrication des pièces pour s'assurer du respect des spécifications de fabrication qu'ils demandent oralement et surtout pour s'assurer de la réalisation des travaux. De ce fait, l'éloignement entre les acteurs est trop souvent une source d'échec pour l'organisation d'une maintenance.

Ces quatre dimensions ne sont pas simplement imbriquées les une aux autres (Grenier, 2003) mais se déplacent les unes sur les autres d'où la complexité de l'environnement de la

maintenance et de sa dynamique par rapport au temps. Il y a souvent conflit entre les différentes dimensions. Ceci explique l'intérêt de disposer d'une représentation de l'existant pour servir de guide aux concepteurs d'un futur équipement dans les PAO.

1.1. *Identification du réseau de maintenance*

L'importance de cette étape est avant tout d'avoir des informations relatives à la maintenance des équipements dans la localité ou le milieu. On identifie des réseaux de maintenance pour des équipements existants et diffusés en faisant l'hypothèse que le réseau du futur équipement sera similaire, ce qui est plausible dans la mesure où les changements d'organisation sociale en Afrique sont lents. L'identification se fera à partir de la démarche présentée au chapitre III, § III.1 modèle de réseau de maintenance :

Au début d'un projet de conception d'équipement, on identifie le (ou les) réseau de maintenance existant en fonction de :

- Choix du type d'entreprise (TPE, PE, ME) de transformations agroalimentaire et d'un équipement de référence.
- Choix de la zone géographique.

L'équipe de conception réalisera cette identification à l'aide d'enquête de terrain, ou en s'aidant de la représentation d'un réseau de référence.

Le réseau de maintenance peut être délimité d'un point de vue territorial c'est à dire par la zone géographique : ville, région... Toutefois en fonction de la pertinence des informations fournies par l'enquête, un acteur ne faisant pas partie de la zone géographique choisie peut figurer sur le modèle de réseau, s'il participe à la maintenance d'un équipement. Par ailleurs, le modèle de représentation du réseau de maintenance tient compte de l'éloignement des acteurs, de l'utilisateur par une composante spatiale (§ III.4). Mais il faut reconnaître que la frontière d'un réseau sociale est mouvante et toujours difficile à fixer clairement (Vinck, 1999) car les relations entre acteurs se créent, se maintiennent ou se défont dans le temps et dans l'espace. Dans le cas où le réseau n'existe pas dans la localité, il faut identifier un réseau de maintenance dans la localité la plus proche.

Dans le cas d'une technologie nouvelle, songer à une organisation dont la maintenance est exclusivement gérée par un acteur qui a la maîtrise de la technologie. Un processus d'engagement s'impose pour augmenter les chances de réussite du projet. Ce réseau pourra s'ouvrir progressivement au futur et à mesure que cette technologie est diffusée.

Pour rendre visibles les matières d'œuvre et savoir-faire disponibles dans le réseau, nous proposons, en plus de la représentation du réseau, des outils de capitalisation de données techniques du réseau de maintenance.

1.2. Capitalisation de données techniques du réseau de maintenance : le Cahier des Charges de Données Techniques du Réseau (CdCDT_R)

Nous approfondissons l'idée de capitalisation des données techniques, abordées dans le CdC2E (Marouzé, 1999), le CdCD et le CdCMo (Azouma, 2005) pour intégrer la maintenance. Ces banques de données sont alimentées par des enquêtes mais ne proposent pas d'outils spécifiques de capitalisation (fiches, tableaux etc...). Or, dans une démarche de conception de tels outils sont indispensables et efficaces pour gagner du temps. Capitaliser les ressources techniques disponibles pour la maintenance dans des tableaux de telle sorte à ce qu'elles puissent être exploitées par différentes équipes de conception et qu'elles s'enrichissent au fil des projets. Ces données techniques appartiennent à un réseau de maintenance bien défini et sont récupérables pour d'autres projets de conception.

Cet outil de capitalisation de données techniques de réseau est le CdCDT_R qui identifie le réseau dans sa dimension technique. Il est composé de trois fiches d'inventaires (Tabl. 4.1 ; Tabl. 4.2 ; Tabl. 4.3) qui vont permettre de recenser systématiquement les composants, les matières d'œuvre, le savoir-faire pour la fabrication de pièces de rechange, disponibles ou non dans le réseau. Les exemples présentés dans les tableaux ci-dessous se basent sur l'expérimentation de la démarche (§ III) conduite au Bénin.

Tabl. 4.1 : La matière d'oeuvre disponible dans le réseau

Fiche : matière d'oeuvre du réseau			Réseau de maintenance..... Année..... Localisation.....			
Désignation matière	Origines	Disponible Oui = 1 Non= 0	Utilisation habituelle	*Nature matériaux	**Qualité (dureté...)	Prix
<i>Rond de diamètre 100 mm</i>	<i>récupération</i>	<i>1</i>	<i>Pièces mécaniques (arbres, rotor...)</i>	<i>Acier</i>	<i>mi-dure</i>	<i>60 000 Fcfa / m</i>

*la nature du matériaux = Acier, Aluminium, Cuivre, Bronze, Alliage particulier.., Plastique, bois

** la dureté = doux, dur..., à caractériser si possible par des centres de recherche ou de formation, s'il n ya pas de matériel de mesure, des méthodes traditionnellement utilisées par l'homme de l'art (forgerons, soudeur, fabricants) pour reconnaître la dureté d'un matériau (Ogier, 1989) : meulage, limes, marteau etc...

Tabl. 4.2 : Composants (y compris moteurs électriques et thermiques) disponibles dans le Réseau

Fiche : Composants présents dans le réseau			Réseau de maintenance.....			
			Année.....			
			Localisation.....			
Désignation Composant *	Origines**	Disponible Oui = 1 Non= 0	Utilisation habituelle	Durée de vie (Dv) (jours)	Durée d'approvisionnement (Da) (jours)	Prix (Fcfa)
<i>Roulement à bille 6204</i>	<i>Copie à l'état neuf (Nigéria)</i>	<i>1</i>	<i>Usage courant</i>	<i>90</i>	<i>Moins d'un jour</i>	<i>1000</i>

* Désignation composant = caractéristiques dimensionnelles et fonctionnelles

** Origine = récupération ou à l'état neuf

Nota : D'une manière générale, les caractéristiques fonctionnelles sont difficiles à identifier sur des pièces de récupération ou sur des copies dans les PAO. Dans ces cas, les concepteurs pourront s'adresser à des structures de formation technique ou de recherche disposant très souvent de matériels d'essais et de mesure (dureté, traction etc.) et des connaissances nécessaires pour faire cette caractérisation. Evidement ceci augmente le coût et le délai de conception mais il est indispensable pour des pièces sensibles comme les roulements et les arbres de disposer des informations minimum d'ordre fonctionnel pour garantir la performance des équipements. Les informations relatives aux trois (3) colonnes de droite sont relatives aux données d'usage.

Tabl. 4.3 : Savoir-faire disponible dans le réseau

Fiche : Savoir-faire du réseau					Réseau de maintenance..... Année..... Localisation.....		
Savoir-faire (Mode de fabrication disponible pour les pièces de rechange)	*utilisateur	Fabricant	Soudeur	Forgeron	Maintenancier	Autre acteur (à préciser)	Justifier les « 0 » en fonction des moyens de maintenance
Tournage Oui= 1 Non = 0							
Opérations élémentaires sans précision (IT > 5/10, pas d'exigence sur l'état de surface)	0	1	0	0	-	-	Pas de machines outils
coût horaire (Fcfa)		10 000					
Opérations élémentaires avec précision	0	1	0	0	-	-	Pas de machines outils
coût horaire (Fcfa)		50 000					
Fraisage Oui= 1 Non = 0	0	1	0	0			

* Valable pour les utilisateurs (ME) ayant des machines outils ou postes à soudé.

L'évaluation des possibilités en fabrication de pièces de rechange ainsi répertoriées, permettra aux concepteurs d'éviter les conséquences d'une éventuelle solution qui n'intègre pas les modes de fabrication disponibles dans le réseau.

Pour aider à intégrer le réseau de maintenance nous proposons dans le paragraphe suivant des règles de conception orientées maintenance.

2. Les règles de conception pour la maintenance

Nous développons des règles de conception en formalisant des caractéristiques de réseaux de maintenance correspondant à 3 cas d'étude: presse, décortiqueur et séchoir. Notre approche vise à orienter un processus de conception pluridisciplinaire en utilisant des règles tirées des concepts du DFA, DFR et DFMT et des pratiques de maintenance observées sur le terrain (Fig. 4.3).

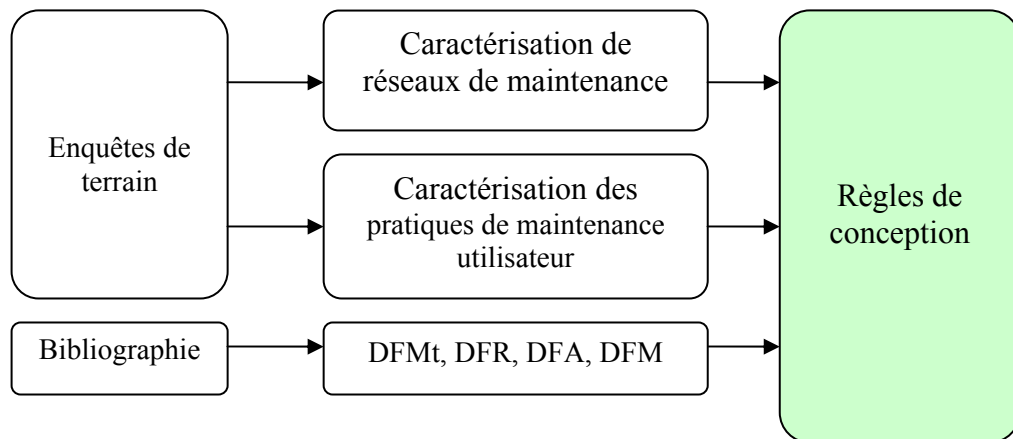


Fig. 4.3 : Démarche pour l'élaboration des règles de conception

Ces règles, portées par des concepteurs participeront à la prise de décision dans le processus de conception. Plusieurs formes de règles existent (GAMA, 1998; Huang, Shi et al., 2000) :

- Les règles simples ou dynamiques se présentent sous forme de suggestions, de recommandations ou de conseils. Leur utilisation n'est pas toujours aisée car le concepteur devra se référer à un contexte et puiser de son expérience pour apporter les actions correctives à une solution. Par exemple la règle du DFA « réduire le nombre de pièces », va dépendre des moyens et des modes de fabrication disponibles dans les PAO. L'efficacité de ses règles repose donc en partie sur l'habileté de l'équipe de conception à les appliquer. Elles sont ouvertes et peuvent s'affronter.
- Les règles consultatives font allusion aux abaques. Elles sont faciles à appliquer et font gagner du temps aux concepteurs. L'élaboration de telles règles repose sur des données rigoureuses testées sur des cas particuliers. Dans les PAO de telles données sont difficiles à trouver à cause de l'absence de traçabilité. L'inconvénient de ces

règles réside dans leur incapacité à s'adapter facilement au moment de l'utilisation à cause de leur caractère directif. Elles sont figées.

- Les règles statiques ou quantitatives. Elles sont très utilisées mais rapidement contestées, remises en causes par le concepteur en fonction des contraintes de réalisation qui se présentent dans l'action. Elles nécessitent une base de données et sont très rigides.

En ce qui nous concerne, les règles simples ou dynamiques sont privilégiées car la prise de décision varie en fonction des contraintes qui se présenteront. La structure interne des réseaux est toujours différente selon le milieu, le type d'entreprise ou de l'équipement.

2.1. Définition des règles de conception

Les règles sont présentées dans le tableau 4.4. Elles tiennent compte des différentes dimensions du réseau. Deux sources principales ont conduit à l'élaboration de ces règles : celles basées sur la littérature issues des méthodes DFMt, DFR, DFA, DFM mais reformulées en fonction de notre contexte, celles issues des pratiques des réseaux de maintenance des équipements analysées sur le terrain.

Tabl. 4.4 : Les règles de conception orientées maintenance

Caractéristiques du réseau de maintenance et des acteurs impliqués ⁷	Indicateurs maintenance dans les PAO	Préconisations de conception orientée maintenance sous la forme de règles	Origine règles
Facilité des opérations de maintenance *	Coût fabrication Coût d'approvisionnement	Règle 1 : 1.1 : Eviter les principes de fonctionnement complexes, en cas de principes simples non trouvés, envisager de remettre en question la fonction technique correspondante.	Pratiques dans le réseau de maintenance DFR (Ireson et Coombs, 1988; Kuo, Huang et al., 2001)
Technologies de fabrication maîtrisées **	Coût fabrication	Règle 2 : 2.1 : Minimiser le nombre de transformation de mouvement. 2.2 : Eviter les translations, privilégier les mouvements continus de rotation.	Pratiques dans le réseau de maintenance DFMt (Kuo, Huang et al., 2001; Chen et Cai, 2003)
Technologies de fabrication maîtrisées **	Durée de la fabrication, Coût fabrication	Règles 3 : 3.1 : Eviter les côtes ou ajustements de grande précision. Ex : Ajustement H7 du moyeu de la presse difficile à respecter. 3.2 : Eviter les procédés de fabrication non disponibles dans le réseau. Sinon, proposer une solution accessible hors réseau.	Pratiques dans le réseau de maintenance DFM (Kirkland, 1988; Kuo, Huang et al., 2001)
Disponibilité des matériaux et composants **	Durée d'approvisionnement, Coût d'approvisionnement	Règles 4 : 4.1 : Choisir des matériaux disponibles sur place ou pouvant être remplacés par des matériaux de récupération. 4.2 : Choisir des composants disponibles sur place et pouvant être remplacés par des composants recyclés.	Pratiques dans le Réseau de maintenance
Simplicité des pièces **	Durée d'approvisionnement, Coût fabrication	Règles 5 : 5.1 : Privilégier les techniques de mécano-soudure et tournage. 5.2 : Utiliser des pièces simples : décomposer une pièce complexe en plusieurs pièces faciles à fabriquer et à monter.	Pratiques dans le réseau de maintenance

– ⁷ * caractéristiques relatives exclusivement à l'utilisateur

– **caractéristiques qui impliquent plusieurs entités du réseau

Report de l'usure sur des pièces faciles à fabriquer **	Coût fabrication Durée d'approvisionnement	Règle 6 : Prévoir des pièces d'usure simples pour protéger les pièces de structure.	Pratiques dans le réseau de maintenance
Absence de connaissances relatives au montage * Auto maintenance *	Durée de vie des pièces	Règles 7 : 7.1 : Réduire les erreurs de montage en prévoyant des goupilles ou des cales de positionnement pour faciliter l'assemblage. 7.2 : Prévoir des détrompeurs. 7.3 : Faciliter les contrôles en insérant des points d'inspection. 7.4 : Réduire le nombre de clés (2-3 maxi)	DFA (Boothroyd et Alting, 1992; Kuo, Huang et al., 2001) (montabilité) Pokayokés : faciliter les montages surtout si pannes sont fréquentes (2-14 fois/semaine). DFMt (démontabilité)
Maintenance curative *	Durée de vie des pièces	Règles 8 : Insérer des indicateurs d'usure. Ils seront très utiles pour des utilisateurs ayant été sensibilisés sur la maintenance prédéterminée à un signe avant coureur. Ce sera un début pour faciliter l'introduction de la maintenance préventive dans le milieu.	DFMt (déteçtabilité) et DFR

Ces règles s'appliquent essentiellement dans le cas de conception d'équipements pour les PTE et PE agroalimentaire où toute la maintenance ou presque repose sur les compétences externes, celles du réseau. Il faut trouver une raison dans la «solution proposée» pour mettre en oeuvre une règle (Boothroyd et Alting, 1992) en se référant à un réseau de maintenance existant dans le milieu.

Les règles préconisées peuvent être définies lors des quatre étapes suivantes :

a. Filtrage des principes de fonctionnement et solutions technologiques : règles 1, 2, 3

Les principes de fonctionnement et solutions technologiques sont les esquisses de solutions de conception d'un équipement. Il est indispensable à ce niveau de les filtrer en fonction des difficultés potentielles de maintenance redoutées par l'utilisateur et en tenant compte du réseau existant (savoir-faire en réparation, compétences des opérateurs, mode de fabrication). Le filtrage consiste donc à soumettre ces principes de fonctionnement et

solutions techniques identifiées par l'équipe de conception à un examen le plus approfondi possible d'un point de vue maintenance l'objectif étant d'améliorer les solutions proposées en les simplifiant. Nous proposons de réaliser ce filtrage à l'aide des règles 1, 2, 3.

La règle 1 se met en oeuvre au niveau du principe de fonctionnement : une fonction de service est réalisée par une chaîne de fonctions techniques, celles-ci sont choisies par les concepteurs. Pour chaque fonction technique, les concepteurs choisissent un principe de fonctionnement parmi plusieurs principes identifiés. La règle consiste à réaliser les fonctions de service en réduisant le nombre de fonctions techniques. Plus il y a des fonctions techniques et plus on risque d'avoir de combinaisons de pièces pour les réaliser qui risquent de complexifier l'équipement. Cette règle est à relativiser en fonction du type d'entreprise. Elle sera moins pertinente dans une ME qu'avec une TPE. L'outil utilisé pour la mise oeuvre est l'analyse fonctionnelle technique.

La règle 2 s'applique aux solutions techniques. Elle consiste à réduire le nombre de pièces pour la réalisation d'un principe de fonctionnement en minimisant les transformations de mouvement et en évitant si possible les translations parce que les technologies observées sur le terrain sont simples et faciles à comprendre par l'utilisateur. La règle pourra s'appliquer sur un dispositif de représentation comme par exemple les schémas cinématiques, technologiques etc...

La règle 3 vise à définir lors de la définition complète des pièces, les paramètres géométriques (forme, côtes ou états de surface fonctionnels) des surfaces fonctionnelles en fonction des modes de fabrication disponibles dans le réseau. La règle s'applique aux surfaces fonctionnelles retenues par l'équipe de conception. D'un point de vue maintenance il est important de soumettre les côtes fonctionnelles et les états de surfaces retenus à un examen approfondi quant à leur faisabilité dans le réseau existant. Dans certains réseaux, il sera possible de réaliser une côte d'une précision de l'ordre du 5/100 et pour d'autres non. En effet, un équipement dont les pièces spécifiques sont très précises aura beaucoup de difficultés à être maintenu car les structures qui fabriquent les pièces de rechange sont souvent bien moins équipées que les fabricants. On pourra l'appliquer à partir d'un dispositif de représentation comme la CAO.

b. Intégration des réseaux d'approvisionnement : la règle 4

La règle 4 est appliquée à ce niveau au regard des circuits d'approvisionnement existant dans le réseau et du CD2E_R. La définition d'un équipement nécessite des choix et il faudra intégrer en priorité dans la conception, les matériaux et composants disponibles dans le

réseau existant. Ceci permettra de réduire le coût des pièces de rechange et d'éviter que les équipements soient modifiés ou délaissés parce que l'utilisateur n'arrive pas à trouver la pièce. Par contre pour des pièces de structure, non soumises à l'usure quotidienne, le concepteur pourra utiliser des éléments non disponibles dans le réseau.

c. Intégration de la fabrication : la règle 5

La règle 5 est appliquée à ce niveau sur la solution définie de l'équipement. Elle est appliquée en tenant compte du CD2E_R et du modèle de réseau de maintenance. Les solutions proposées pendant la phase de définition d'un équipement doivent tenir compte des modes de fabrication existant pour ne pas complexifier les pièces spécifiques et le bâti de l'équipement. L'objectif de cette étape consiste à adapter les pièces complexes à la fabrication locale, d'un point de vue taille et forme. Il s'agit d'identifier ces pièces et d'en proposer d'autres faciles à réaliser dans le réseau. Dans le cas d'une technologie nouvelle, on pourra accepter un réseau fermé dans lequel seul le détenteur de la technologie aura la charge de la maintenance.

d. Intégration des pratiques de maintenance de l'utilisateur : les règles 6, 7, 8

La règle 6 facilite les opérations de maintenance des opérateurs en réduisant les effets de la maintenance curative alors que les règles 7, 8 réduisent les erreurs d'assemblage par un personnel formé sur le tas en facilitant l'auto maintenance (pokayokés)...

Nous recommandons en plus des règles 6, 7, 8 que les concepteurs couvrent systématiquement les éléments de transmission de puissance (chaînes courroies, engrenages) pour protéger l'opérateur des accidents.

e. Les indicateurs de défaillance

Les indicateurs chiffrés de la durée de vie, du coût et de la durée d'approvisionnement de pièce de rechange seront relevés pendant la phase de l'identification du réseau de maintenance pour permettre aux concepteurs d'avoir des données chiffrées à titre indicatif. Ces données obtenues sans traçabilité donc peu précises et concernent le réseau de maintenance d'un équipement existant. Elles serviront à documenter les règles : la durée de vie renseigne sur la fiabilité, le coût sur le pouvoir d'achat de l'utilisateur et la durée d'approvisionnement sur les distances pour accéder à une réparation. Les futurs équipements n'auront pas exactement les mêmes indicateurs mais ces informations aident les concepteurs sur ces trois indicateurs.

3. Mise en oeuvre de la démarche de conception orientée maintenance

L'identification du réseau de maintenance, la mise en œuvre des règles de conception et les séances de confrontation de solutions orientées maintenance constituent les principaux points de la démarche pour intégrer la maintenance.

3.1. Identification du réseau de maintenance : CESAM phase 2

Une équipe de concepteurs de préférence un binôme avec des compétences complémentaires (génie mécanique et sociologie ou génie mécanique et technologue) se rend sur le terrain avec des fiches d'enquêtes semi structurées (Annexe C) pour interviewer les utilisateurs potentiels retenus. Ensuite, elle interviewera tous les autres acteurs qui participent à la maintenance (chapitre III § II. 2).

Cette enquête se fera lors de l'enquête sur les attentes des utilisateurs à la phase 2 de CESAM pour réduire les frais. Les enquêteurs pourront si besoin s'entretenir avec des personnes ressources et consulter des documents qui vont aider à comprendre les relations entre les acteurs du réseau. La collaboration avec des structures de recherche ou de formation sur place sera précieuse pour collecter les informations non disponibles sur le terrain comme par exemple l'historique ou les données de suivi de la maintenance des équipements existant. Toutes ces informations recueillies permettront de représenter le (les) réseau de maintenance et de commencer la capitalisation des données techniques (CdCDT_R) et économiques. Ces résultats feront l'objet d'un échange dans une équipe pluridisciplinaire entre concepteurs pour retenir le modèle de réseau de maintenance. A ce niveau du processus de conception, on pose des jalons pour l'intéressement et l'enrôlement des acteurs qui participeront aux séances de confrontation des solutions filtrées ou définies orientées maintenance (phase 4 et phase 5 de la méthode CESAM), en cultivant des relations de confiance.

A la fin de la phase 2, un cahier des charges fonctionnel sera issu de l'analyse du besoin. Le réseau de maintenance et le CdCDT_R complètent le dossier « bilans sur les équipements et technologie ».

Ce travail d'identification du réseau de maintenance en un lieu donné, pour un type d'utilisateur donné, est lourd la 1^{ère} fois mais trouve tout son intérêt lors de nouvelles conceptions dans un contexte similaire. Par ailleurs il est probable que les réseaux soient semblables et leur description pourra être déclinée.

3.2. Mise en oeuvre des règles de conception : phase 3, 4, 5 de CESAM

Les règles portent en elles des champs disciplinaires comme la fabrication, la maintenance, la conception et concerne une large gamme de compétences dans la composition de l'équipe de conception. Elles sont utilisées par les concepteurs lors des activités de conception ou en équipe restreinte chargée de proposer des solutions (principe, solutions techniques, définition) (Fig. 4.4).

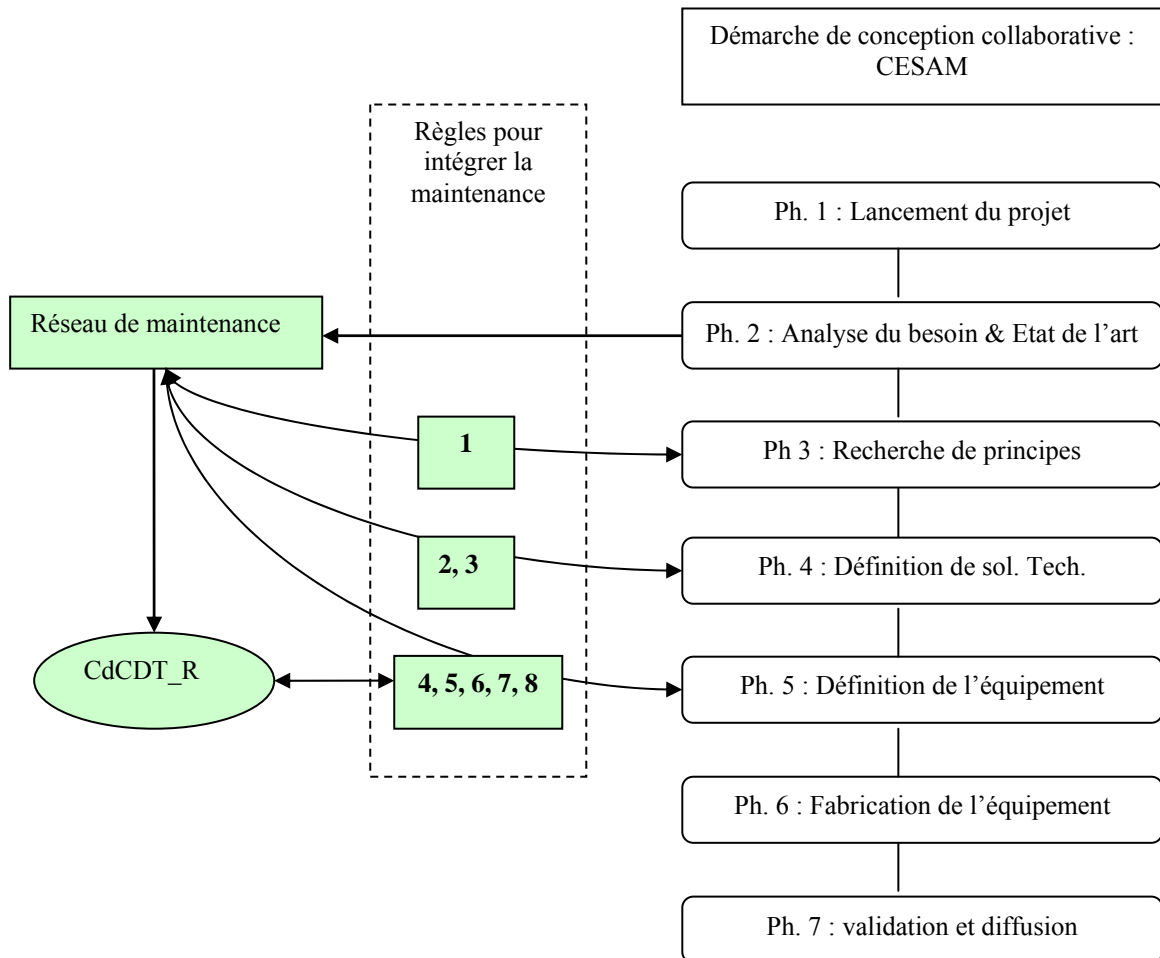


Fig. 4.4 : Mise en oeuvre des règles de conception

Parallèlement, deux séances de confrontation des solutions proposées au regard des règles orientées maintenance sont programmées dans le processus de conception avec des acteurs du réseau. La première séance vise à valider la solution filtrée et la deuxième, la solution définie orientée maintenance. Ce découpage évite une remise en cause de la solution filtrée à la phase 5. L'objectif de ces séances étant d'élargir l'équipe aux compétences

nécessaires, disponibles dans le réseau de maintenance comme les vendeurs de pièces ou de matière d'oeuvre.

Les règles sont énoncées en équipe de conception par le chef de projet ou l'animateur autour d'objets intermédiaires de conception : maquette fonctionnelle, plan, maquette numérique. Les actions correctives sont apportées sur la base du consensus.

La règle 1 intervient en fin de la phase 3 pour simplifier une fonction de service en éliminant les fonctions techniques qui peuvent se révéler complexes. Un compromis doit être trouvé entre les attentes des utilisateurs et les contraintes de maintenance si la simplification par les fonctions techniques remet en cause une fonction de service qui se doit d'être simple et adapté au type d'entreprise.

La règle 2 filtre les solutions techniques retenues en phase 4 des mécanismes complexes en fonction de la qualification des opérateurs intervenant dans la réparation de l'équipement disponible dans le réseau. On pourra associer des (ou un) acteurs du réseau intervenants directement dans la réparation des équipements : opérateurs, équipementier, mais à condition qu'ils soient à mesure de comprendre un schéma technologique. Leurs expertises sont souvent nécessaires.

La règle 3 filtre la solution proposée à la phase 4, cotes fonctionnelles et procédé de fabrication de pièce par rapport au réseau de maintenance (CdCDT_R). Les concepteurs pourront associer des acteurs du réseau comme pour la règle la précédente.

Les règles 4, 5, 6, 7, 8 s'appliqueront à la phase 5 de la méthode CESAM pendant la définition de l'équipement en se référant au modèle de réseau de maintenance et à son CdCDT_R : intégrer les approvisionnements disponibles dans le réseau, intégrer la fabrication et intégrer les pratiques de maintenance de l'utilisateur. Pour ces règles comme pour la précédente, l'équipe peut se déplacer sur le terrain pour choisir des composants ou matière d'œuvre et en profiter pour compléter le CdCDT_R.

3.3. Séances de confrontation des solutions orientées maintenance avec des acteurs du réseau de maintenance

Dans un processus de conception collaborative il est prescrit qu'à un niveau donné d'avancement du projet, on réunisse les concepteurs et les acteurs du réseau de maintenance pour des séances de confrontation. L'expérimentation de la méthode AMDEC montre qu'il est possible de faire collaborer une équipe de conception et des acteurs d'un réseau de maintenance. Cette méthode n'a pas été retenue car elle est lourde, fastidieuse, très analytique

et n'est pas très adaptée pour des acteurs appartenant à des structures différentes et qui ne travaillent pas vraiment sur le même équipement. En effet, l'AMDEC est conçue au départ pour un cadre où utilisateurs et maintenanciers travaillent sur le même outil de production de façon quasi synchrone (unité de temps et de lieu), ce qui n'est pas le cas des TPE, PE ou ME dans les PAO. Il est évident que la criticité n'a pas le même sens pour un acteur du réseau de maintenance et pour l'utilisateur.

Nous proposons deux séances de confrontation entre concepteurs et acteurs de la maintenance. Il s'agit d'analyser, d'évaluer et de valider les solutions proposées au regard des règles orientées maintenance. La confrontation consiste à mettre les concepteurs et les acteurs du réseau en présence, pour examiner en même temps l'intégration de la maintenance, dans les solutions préalablement retenues par les concepteurs. En cas de conflit de points de vue, le dernier mot revient à l'initiateur du projet de conception qui est l'animateur. Par rapport aux phases de la méthode CESAM (Fig. 4.1) : une première séance de confrontation est recommandée à la fin de la phase 3 et une deuxième séance a lieu à la fin de la phase 5 correspondant aux trois dernières étapes (Fig. 4.5).

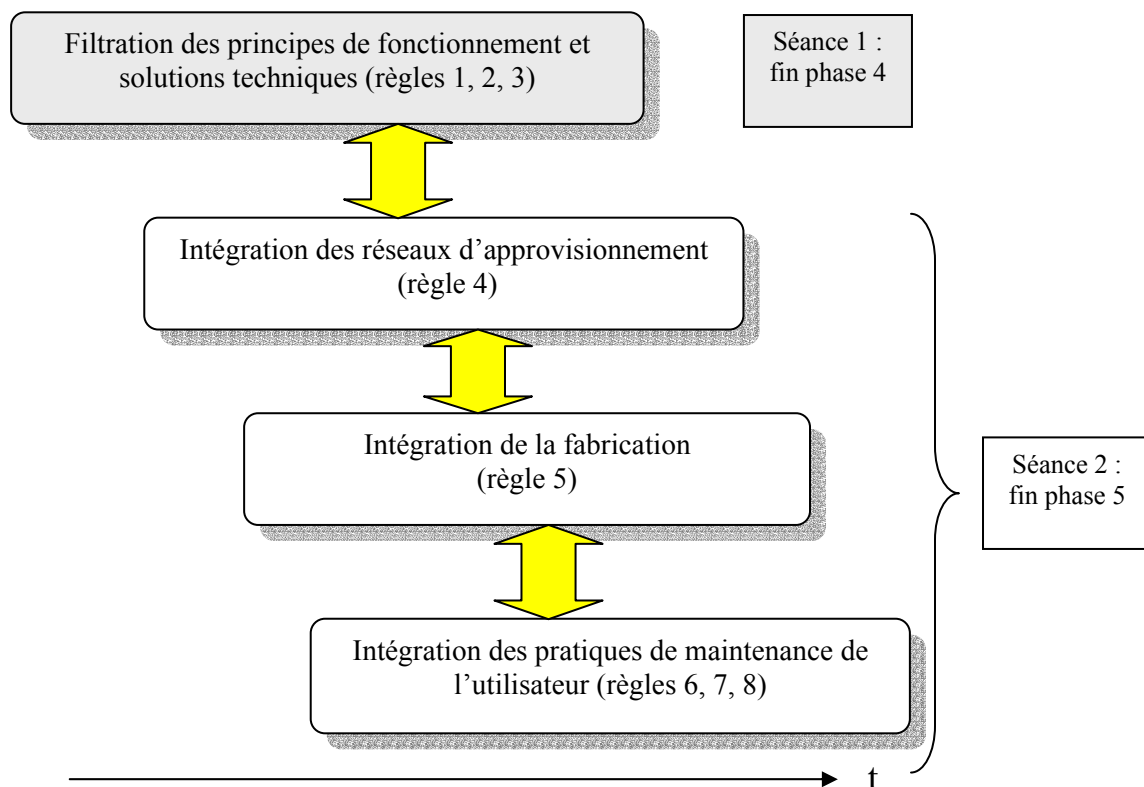


Fig. 4.5 : Les quatre étapes pour intégrer la maintenance des équipements dans la conception

Il est souhaitable pour la compréhension de tous les acteurs que les solutions soient présentées de façon la plus réaliste possible, en 3D (maquette numérique) ou sous d'autres formes (maquettes, etc.). Plusieurs vues facilitent la compréhension. Dans le cas d'une reconception, les photos et pièces elles même ou de l'équipement existant aideront à la compréhension de la représentation. Nous nous appuyons sur la démarche de mise en œuvre de l'AMDEC (Ridoux, 1998; Landy, 2002) et les conclusions de son déroulement pour proposer une mise en œuvre de la confrontation. Une demi journée de réunion doit suffire pour la première séance et une journée pour la deuxième séance. La démarche de mise en œuvre est la suivante :

⇒ La préparation

- Faire émerger un acteur leader dans le réseau qui sera chargé avec l'équipe de conception de réunir une équipe d'acteurs du réseau de maintenance. Ces acteurs sont enrôlés pendant l'identification du réseau. La confiance entre les acteurs du réseau est indispensable pour faciliter la communication : ils doivent se connaître et sont déjà informés de l'objectif des concepteurs consistant à intégrer la maintenance dans un projet de conception.
- Préparer les moyens logistiques de la réunion : salle, paper board (2) et feutres de différentes couleurs, crayon, collation pour la pause.
- Déterminer le planning de travail : une réunion préparatoire avec le leader doit définir les une ou deux séances de travail de 3- 4 heures.
- Établir les invitations aux réunions en précisant les objectifs, les dates, le lieu et heure de réunion
- Préparer le matériel de projection etc.
- Préparer les documents et supports de l'expérimentation (OIC) : modèle de réseau, CdCDT_R, plans, schémas, bloc diagramme fonctionnel (BDF), cahier de charges fonctionnel, représentation de l'équipement, pièces de rechange, photos etc.

⇒ Animation de la séance

- L'animateur explique l'objet de la réunion : vérifier que la définition de l'équipement intègre bien la maintenance et proposer une politique de maintenance.
- Présenter les règles de conception orientées maintenance et expliquer comment elles ont été prises en compte dans les phases de conception.

- Pour chaque pièce telle qu'elles sont définies au départ, les règles sont successivement énoncées et l'animateur fait participer tous les acteurs sur la prise en compte de la maintenance.
- Rechercher un consensus à chaque étape.
- A la deuxième séance l'équipe validera la notice d'utilisation et la politique de maintenance qui aura été définie préalablement par les concepteurs du futur équipement:
- La notice d'utilisation : le fonctionnement, le graissage, les réglages, le nettoyage
- l'outillage de maintenance,
- La politique de maintenance : maintenance curative pour les pièces d'usure dont la défaillance n'influe pas sur la détérioration d'une autre pièce, maintenance prédéterminée à un signe avant coureur (analysé manuellement) pour les pièces d'usure pouvant occasionner la détérioration de pièces voisines en cas de défaillance complète.

L'ouverture à des personnes extérieures à l'équipe de conception au niveau de la seconde séance de confrontation n'est pas sans conséquence car elle favorise la copie de la solution originale orientée maintenance. Pour éviter cela, le choix des acteurs du réseau de maintenance devant participer à ces séances doit être essentiellement basé sur la confiance réciproque. Cet aspect est évoqué au début des séances en attirant l'attention sur le caractère confidentiel des travaux. Toutefois il est difficile que les concepteurs contrôlent les copies une fois que l'équipement est fabriqué et installé chez un utilisateur, d'autant plus que la protection de droit propriété ne soit pas très développée dans les PAO.

III. Expérimentation de la démarche de conception orientée maintenance

Une mission au Bénin effectuée dans le cadre d'un projet AUF a permis une validation partielle de notre démarche de conception orientée maintenance. L'objectif est de valider des règles d'intégration de la maintenance lors d'un projet de conception d'équipements de mise en forme de pâte d'arachide en kluiklui. Le kluiklui est actuellement obtenu par un procédé traditionnel manuel. Il est très consommé dans les PAO. La pâte d'arachide humidifiée et

partiellement déshuilée est pétrie, découpée et roulée en forme de bâtonnet par les femmes (Godjo, 2005). Ces bâtonnets sont ensuite frits dans de l'huile et directement commercialisés pour la consommation humaine. Le projet Kluiklui, initié en 2003 par l'INRAB, a pour mission de mécaniser la mise en forme de la pâte en bâtonnet avec des bouts effilés afin de réduire la pénibilité des travaux des femmes. Ce projet de conception d'équipement a mobilisé une équipe de conception pour réaliser les phases 1 à 5 de la méthode CESAM. Il s'agit des phases lancement du projet, analyse du besoin et état de l'art, recherche de principes, choix de solutions technologiques et définition de l'équipement.

1. Matériel et méthode

1.1. Fiches d'enquêtes

L'objectif est de recenser les informations indispensables sur la maintenance pour construire le réseau de maintenance et disposer d'un inventaire de matériaux et pièces les plus utilisés. Ces fiches sont une amélioration des fiches d'enquêtes 2004 (annexe C) pour tenir compte de l'inventaire du CdCDT_R.

- La fiche utilisateur :

Son objectif est de : définir le type d'entreprise, recenser les équipements utilisés et leurs pannes, décrire la démarche suivie pour les réparations et représenter le modèle du réseau d'acteur de maintenance, déterminer les indicateurs mini et maxi de Coût des pièces de rechange (Cp), Durée d'approvisionnement (Da) et Durée de vie de la pièce (Dv).

- La fiche équipementier :

Elle permet de recueillir des informations sur le savoir-faire, les compétences, les moyens de production, les pièces difficiles à fabriquer (côtes, process, matériaux) et les circuits d'approvisionnement de la matière première.

- La fiche fournisseur :

Elle permet de connaître le profil du fournisseur et de recenser la liste des matériaux qui se vendent le plus. Il s'agit également de connaître les circuits d'approvisionnement des pièces de rechange concernées et de compléter la représentation du réseau d'acteur de maintenance.

1.2. Les plans de l'équipement

Ils sont constitués du dessin d'ensemble et de la définition des pièces (maquette numérique en 3 D).

1.3. Constitution d'une équipe de conception

Une équipe pluridisciplinaire a été constituée. Elle est composée de deux (2) ingénieurs en génie industriel, un (1) chercheur en conception d'équipements dans les pays du Sud, un (1) ingénieur en génie mécanique, un (1) ingénieur en technologie alimentaire. Deux (2) séances de 4 heures de conception autour des plans ont porté sur l'intégration de la maintenance pour les règles relatives aux phases 2, 3, 4 et 5 de la méthode CESAM. L'équipe s'est déplacée plusieurs fois sur le terrain pour échanger avec des acteurs du réseau de maintenance.

1.4. Identification d'utilisateurs potentiels

Une équipe de deux concepteurs s'est déplacée sur le terrain pour identifier le réseau de maintenance utilisé par des groupements de femmes en activité. Les groupements de transformatrices de kluiklui choisies devaient posséder des équipements fabriqués localement et ne pas être trop éloignés de Cotonou. Durant la semaine de la mission au Bénin, un seul groupement de femmes répondant à ce cahier des charges a été identifié.

- Description du groupement de transformation de kluiklui :
- Nombre du personnel : Trois (3) opératrices et un opérateur en charge du moulin ;
- Moyens de production :
 - Presse manuelle à cage (système vis écrou) d'extraction d'huile,
 - Décortiqueur manuel d'arachide,
 - Moulin à meules métalliques dont les défaillances sont répertoriées dans le tableau 4.5. Le moulin broie les graines d'arachide pour produire de la pâte. Les femmes extraient l'huile de la pâte d'arachide grâce à la presse manuelle à vis. La pâte humidifiée et partiellement déshuilée est utilisée par les femmes pour fabriquer manuellement le kluiklui.
- Organisation de la maintenance : maintenance curative.
- Les opérations de maintenance sont assurées par l'opérateur du moulin et un soudeur, externe au groupement de femmes.

Tabl. 4.5 : Défaillances rencontrées sur le moulin

Description de la défaillance (mode de défaillance et organe)	Fréquence	Durée d'ap-provisionnement (h)	Coût de réparation (Fcfa)	
			Prestation	Pièce de rechange
Usure du coussinet	2 fois /an	24	(opérateur)	2x1000
Rupture du roulement	3 fois /an	1	(opérateur)	2x6500
Usure de la trémie	3 fois /an	2	Soudeur = 1500 F	1500
Rupture de la poulie	1 fois /an	2	Soudeur	2000
Usure de l'arbre	1 fois /an	2	(Opérateur /Soudeur)	5000

Ces données permettent de déterminer la disponibilité opérationnelle du moulin (voir chapitre III § 33):

Par an, il y a 10 pannes, la durée totale d'arrêt est de :

$$\text{Somme des TA} = (24 * 2 + 3 * 1 + 3 * 2 + 2 * 1 + 2 * 1) = 61 \text{ heures}$$

$$\text{Soit MTA} = 61 / 10 = 6,1 \text{ h}$$

Le temps d'ouverture est estimé à 6 h par jour donc :

$$\text{MTBF} = (6 * 365 - 6,1) / 10 = 218,3 \text{ heures}$$

$$\text{Do} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTA}) = 218,3 / (218,3 + 6,1) = 97 \%$$

La disponibilité opérationnelle du moulin est de 97 %. Cet équipement fabriqué localement à une disponibilité opérationnelle satisfaisante grâce au réseau de maintenance existant. La disponibilité est meilleure que celle des équipements étudiés Burkina Faso.

1.5. Identification du réseau

L'objectif est d'identifier le réseau d'acteurs de maintenance qui aura en charge la maintenance du futur équipement. Les informations recueillies auprès des utilisateurs ont conduit à interviewer d'autres acteurs (Tabl. 4.6) concernés directement par la maintenance de ces équipements.

Tabl. 4.6 : liste des acteurs enquêtés

Acteurs	Désignation	Activités	Moyens de production	Localités
Utilisateurs (PE)	1 Groupement de femmes de transformation de pâte d'arachide en kluiklui	Fabrication de kluiklui	1 presse manuelle, 1 décortiqueur manuel d'arachide, 1 moulin à meules métalliques	Cotonou
Equipementiers	1 Construction Mécano soudée, caoutchouc et plastique (CMCP)	Conception et réalisation d'équipements	Matériel de soudure, machines outils (tour, fraiseuses) et de pliage	Cotonou
	Equipementier : 1 Etablissement de soudeur de Montcheto Issa	Fabrication d'équipements agroalimentaire	Matériel de soudure	Cotonou
Fournisseurs	1 Vendeur de pièces et 2 vendeurs de matière d'œuvre de récupération Cotomey-Pk14	Commercialisation	--	Cotonou

L'intégration de la maintenance dans la conception s'appuiera sur les informations fournies par ce réseau

1.6. *Mise en œuvre des règles de conception*

La démarche de conception s'appuie sur la méthode CESAM pour proposer des modifications de la première solution de conception en fonction du réseau d'acteurs de maintenance identifié. L'intégration de la maintenance se fera en fonction des indicateurs coût, durée d'approvisionnement et durée de vie des pièces du futur équipement.

2. **Résultats**

Les résultats permettant d'intégrer la maintenance sont relatifs au trois outils de la méthode

2.1. *Réseau de maintenance ouvert*

L'utilisateur assure la maintenance ses équipements en relation avec plusieurs acteurs au sein d'un réseau ouvert (Fig. 4.6).

C : Composant
 S : pièce Spécifique
 M : Matière d'oeuvre

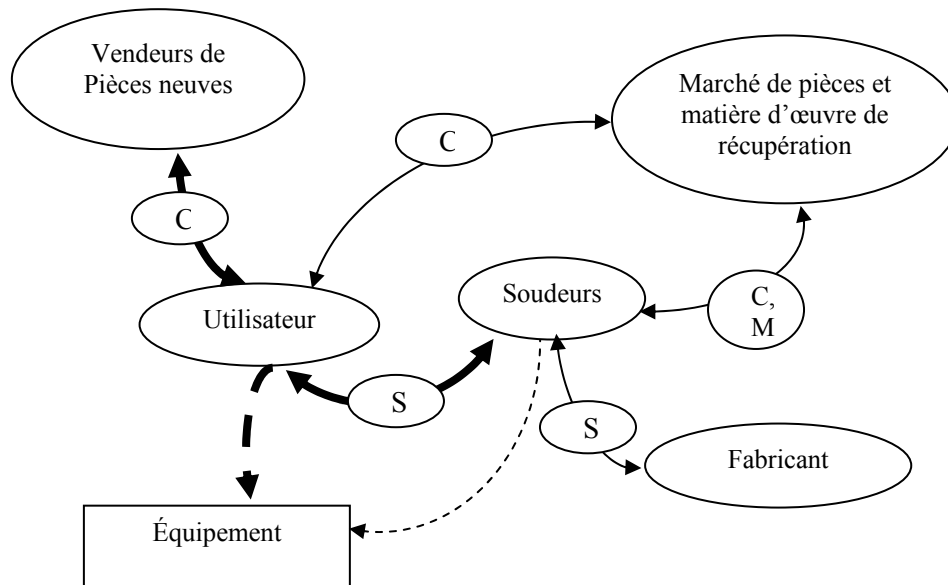


Fig. 4.6 : Réseau de maintenance du moulin à meules au Bénin

L'utilisateur s'approvisionne plus en composants neufs qu'en composants de récupération. Les composants neufs (les copies de composants standard) sont plus facilement accessibles qu'au Burkina parce qu'ils proviennent directement d'un pays limitrophe, le Nigeria. Les pièces spécifiques sont fabriquées par des soudeurs. Ces derniers sous traitent avec un fabricant pour les opérations d'usinage : par exemple l'arbre central (axe) du moulin, la vis de la presse etc.

Le plus souvent c'est l'utilisateur intervient sur l'équipement plutôt que le soudeur dans le souci de réduire les coûts de maintenance. Ce réseau de maintenance est ouvert car l'utilisateur est en relation avec plusieurs acteurs et c'est lui qui intervient le plus souvent sur son équipement. Il gère la maintenance de ses équipements.

Parmi les équipements recensés, seul le moulin a retenu notre attention car c'est un équipement utilisé régulièrement. L'analyse de ses défaillances permet de comprendre l'organisation de la maintenance. Les autres équipements (presse, decortiqueur manuelle d'arachide) sont entretenus par le même réseau d'acteurs. Ce réseau d'acteurs de maintenance du moulin servira de modèle pour intégrer la maintenance dans la conception de l'équipement pour la fabrication du kluiklui.

Données sur les indicateurs de défaillances du moulin:

* Durée d'approvisionnement D_a mini = 1h et D_a maxi = 24h

* Coût de pièces de rechange (C_p) mini = 1000 Fcfa et C_p maxi = 6500 Fcfa

* Durée de vie (D_v) mini = 4 mois et D_v maxi = 1 an

Ces valeurs sont fournies par l'utilisateur durant l'enquête.

L'enquête a permis d'élaborer les rôles des différents acteurs dans le réseau (Tabl. 4.7).

Tabl. 4.7 : Rôles des acteurs

Acteurs	Caractéristiques	Rôles
Utilisateur	Formation sur le tas, personnel très mobile	Opération de maintenance de 1 ^{er} et 2 ^{ème} niveau
Fabricant	Moyen de production : tour, matériel de soudure Niveau de Formation : expérience ou CAP, difficulté de réalisation de côtes précises Possibilité de réalisation de surfaces cylindriques	Réalisation de pièces de rechange spécifiques non stockées
Soudeur	Moyen de production : Matériel de soudure personnel sans qualification particulier en maintenance	Opération de maintenance de 3 ^{ème} niveau
Vendeur de pièces	Commerce de pièces de rechange d'équipements y compris agroalimentaire, sans qualification particulière en maintenance. Ex : composants mécanique de vélo, motocyclette (Peugeot, Yamaha), de moulin et décortiqueur à céréales etc.	Fournisseur et magasin de stock
Marché de pièces et matière d'œuvre de récupération	Commerce spécialisé de pièces de rechange ou de matière première de récupération, personnel sans qualification particulière en maintenance On retrouve entre autre comme composants mécaniques des roulements, des engrenages etc., matière première de récupération : des tiges de vérins, des boites de vitesse, du fer rond, ressort de véhicule etc.	Fournisseur et magasin de stock

Les rôles ainsi décrits permettent de mieux comprendre le rôle des acteurs du réseau.

2.2. Intégration des règles de conception dans la définition d'équipements

L'équipe de quatre (4) concepteurs s'est réunie et les échanges ont permis de scinder la solution définie et préalablement retenue par les chercheurs de l'INRAB du projet « Equipement de mise en forme des bâtonnets de kluiklui » (Godjo, 2005) en deux solutions: une presse à piston et un laminoir avec empreintes pour la réalisation de kluiklui. Les figures 4.7 et 4.8 représentent les schémas des solutions retenues.

– La solution (1) de la presse

Sous l'action manuelle de la vis sans fin sur la plaque, la pâte déshuilée est poussée vers un orifice et sort sous forme de bâtonnet continu. La coupe des bouts est réalisée manuellement en biseau au couteau après dépose de bâtonnets sur une planche, les bouts sont donc biseautés et non effilés.

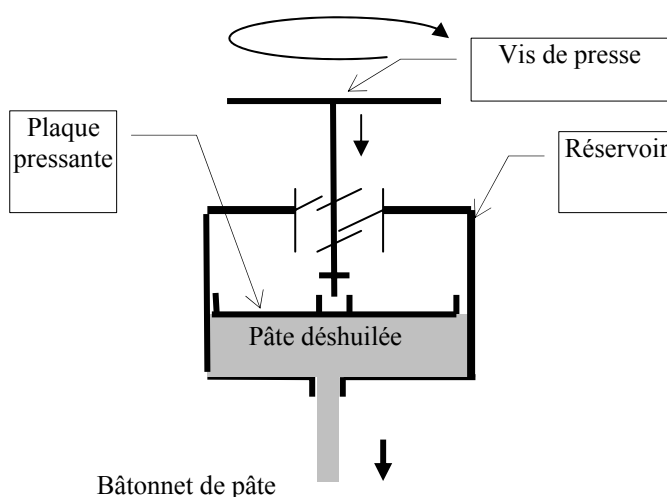


Fig. 4.7 : Schéma de principe de fonctionnement de la presse

– La solution (2) du Laminoir

La pâte entraînée sous l'action de la rotation des deux cylindres sort par le bas en forme de bâtonnet à bouts amincis dont la forme est donnée par la forme de l'empreinte creusée dans les cylindres.

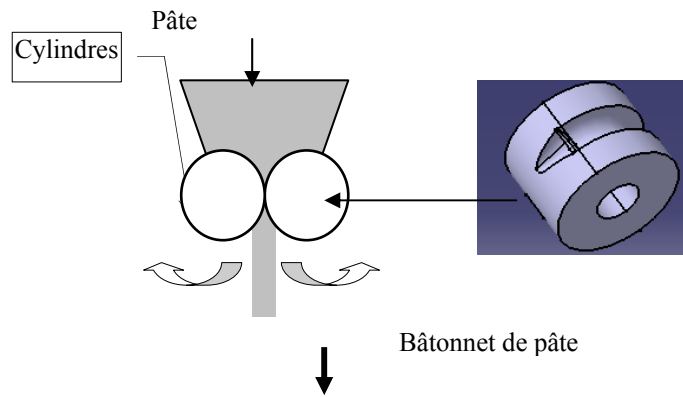


Fig. 4.8 : Schéma de principe de fonctionnement du laminoir

a. Etape de filtrage, phases 3 et 4 de CESAM

La règle 1 a conduit à s'interroger sur le moyen d'amincir les bouts des bâtonnets de kluiklui pour respecter la forme initiale. Il n'a pas été possible de trouver un principe de fonctionnement simple pouvant assurer cette fonction technique et, plutôt que de développer un dispositif complexe, la forme des bouts a été remise en question. Les bouts effilés sont remplacés par des bouts coupés en biseaux. Les kluiklui avec des bouts en biseau devront être testés auprès des consommateurs. La mise en forme des bouts avec le laminoir est faite automatiquement par les empreintes des cylindres, la règle 1 apporte donc une simplification pour la presse.

La Règle 2 pour le principe de la solution presse, présente des similitudes avec un système déjà éprouvé sur place et maîtrisé : les presses à cage à extraction d'huile d'arachide utilisées par les mêmes utilisateurs. Les mécanismes sont simples une seule transformation de mouvement de rotation en translation. La solution du laminoir est un principe nouveau même si les équipementiers du réseau connaissent le principe de laminage utilisé dans les opérations de forge. Le mécanisme utilisé est simple : deux mouvements de rotation des cylindres avec une inversion de sens de rotation.

La règle 3 a permis de vérifier que les choix de solution sont adaptés aux moyens et aux savoir-faire du fabricant qui dispose de machines outils (tours, fraiseuses). Les précisions des côtes sont de l'ordre de $2/10^{\text{ème}}$ de millimètre et les pièces cylindriques sont réalisables avec le tour et les empreintes sont plus délicates à réalisées.

b. Etapes d'intégration de l'approvisionnement, la fabrication et les pratiques de maintenance, phase 5 CESAM

Les règles 4, 5, 6, 7 ont été appliquées par l'équipe pour la définition des équipements.

La figure 4.9 montre le déroulement des échanges entre l'équipe de conception qui s'est souvent déplacé sur le terrain avec les acteurs du réseau.

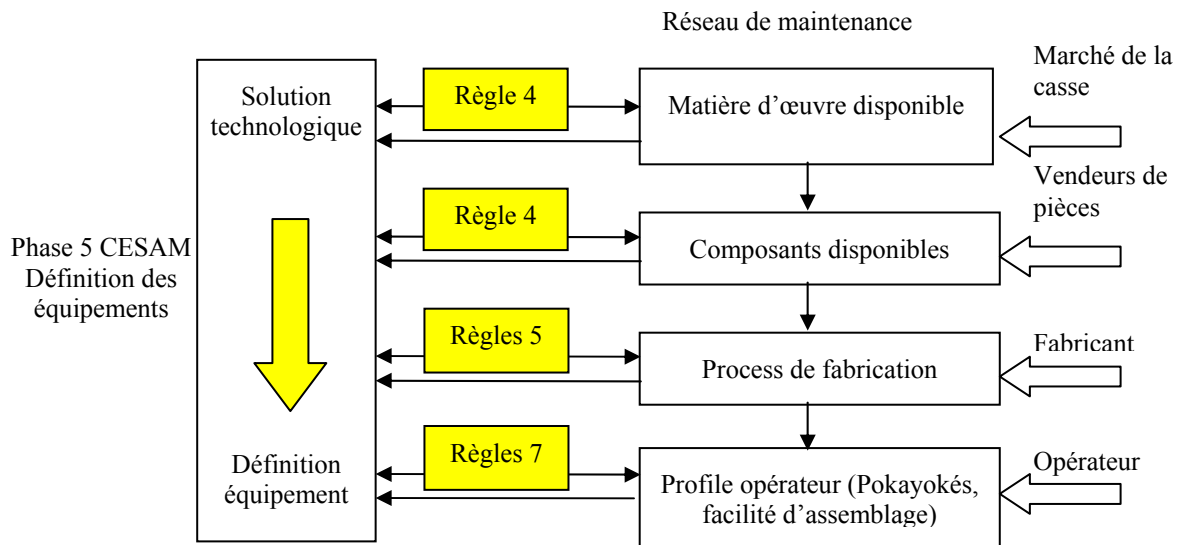


Fig. 4.9 : Interaction entre le réseau de maintenance et la définition de l'équipement

c. Le cas de la presse

La règle 4 a conduit l'équipe à choisir des matériaux disponibles chez le fabricant ou sur le marché de la casse (Photo 4.1). Le choix d'un tube épais a permis de définir la côte du cylindre de presse (diamètre de 128 mm). La vis sans fin a été choisie dans ce marché mais il n'y avait que 4 exemplaires de ces vis, pour des raisons de délai, l'équipe a fait un choix qui n'intègre pas parfaitement la maintenance.

La règle 5.1 a été respectée (fabrication par mécano soudure et tournage) ainsi que la 5.2 mais sans modification car les pièces étaient initialement simples.

La règle 7.1 a conduit à placer des chanfreins, des épaulements pour faciliter le montage de la crapaudine et de la plaque perforée.

La règle 7.2 a surtout permis de penser à placer un détrompeur à l'arrière de la plaque perforée pour conserver la position des trous et éviter qu'elle ne soit montée à l'envers.



Tubes en acier

Fer rond plein diamètre supérieur à 100 mm

Fer plat supérieur à 5

Photo 4.1 : Matière d'œuvre chez un vendeur de Cotonou

d. Le cas du laminoir

La règle 4.1 a conduit à choisir des matériaux disponibles et accessibles d'un point de vue coût en orientant la transmission de mouvement vers une solution chaîne plus pignon plutôt les engrenages initialement prévus par l'équipe de conception. En effet, la solution pignons plus chaîne est 2 (ou) trois fois moins chère que la solution engrenage et surtout la disponibilité est nettement meilleure car ce sont des composants de mobylette et de vélo disponibles a priori dans tous les marchés du pays.

La règle 4.2 a conduit à fabriquer des paliers mécano soudés à partir de roulements 6204 car le prix des paliers à semelle du commerce sont trop élevés (7500 Fcfa l'unité). Les roulements 6204 sont disponibles sur tous les marchés et le prix est de 1000 Fcfa et autant de coût de fabrication pour la partie mécano soudée. Cette solution intègre parfaitement la capacité de maintenance du réseau. Le choix de roulements autolubrifiants et disponibles a été délaissé au profit de roulements à billes simples et coûtant 2000 Fcfa l'unité (inférieur au Cp du réseau).

Cependant le fabricant a proposé pour les roulettes une solution en acier avec revêtement chromé pour éviter le contact des produits alimentaires avec l'acier. Cette solution est satisfaisante pour des raisons d'hygiène alimentaire surtout pour accéder à des débouchés internationaux. La solution chromée n'est pas sans conséquence car elle fait référence à une à un réseau fermé de maintenance (Fig.4.10).

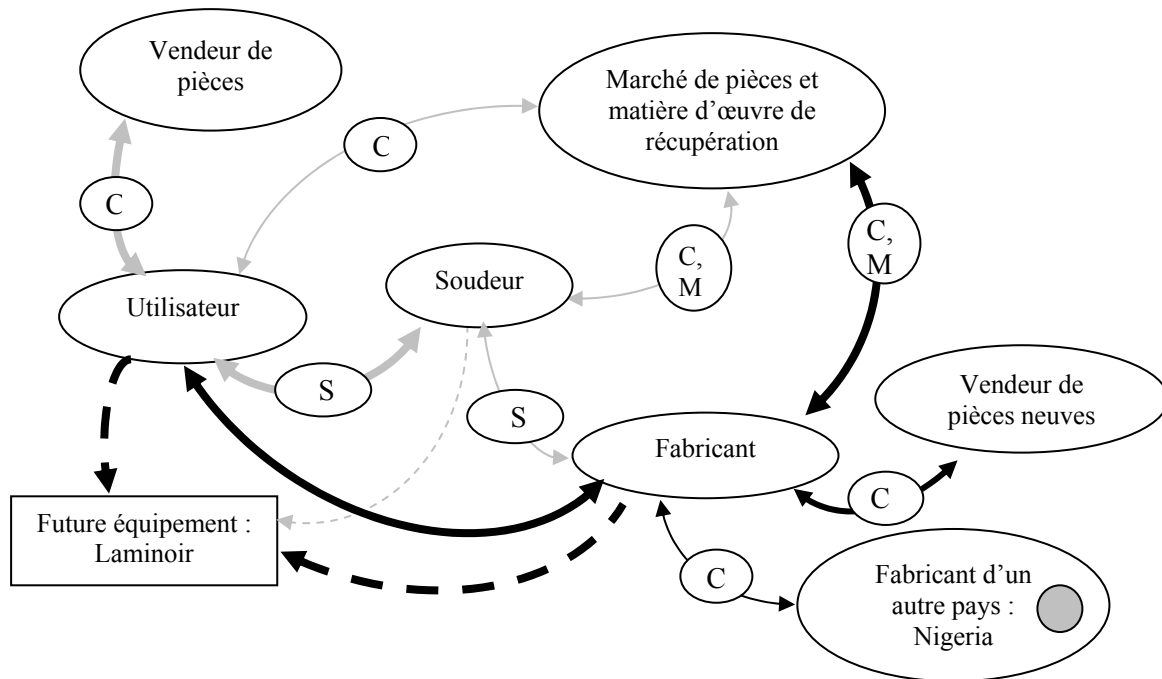


Fig. 4.10 : Transformation du réseau ouvert existant de l'utilisateur en réseau fermé

Si une telle solution est retenue, le réseau sera fermé car l'utilisateur ne pourra pas réparer les cylindres sans passer par le fabricant. Cela peut être une solution transitoire pour lancer l'équipement (représenté en traits forts sur la figure 4.10). Mais d'autres solutions répondant aux contraintes hygiéniques peuvent être envisagées. Pour le pilote une solution ne répondant pas à ces contraintes a été retenue : l'utilisation d'acier sans revêtement.

IV. Conclusion

Nous avons proposé une démarche de conception orientée maintenance qui prend en compte les pratiques de maintenance des petites unités de transformation dans les PAO et le contexte socio économique et technique. Son expérimentation assure une meilleure intégration de la maintenance lors de la conception d'un équipement pour la fabrication des kluikliu. L'identification préalable d'un réseau de maintenance d'un équipement utilisé par des PE a aidé les concepteurs dans leurs choix de conception. Pour concevoir une pièce, il faut penser aux divers acteurs qui pourront à temps, la fabriquer ou la fournir, la monter sans difficulté, à des conditions économiques satisfaisantes. Les circuits d'approvisionnement, l'intensité des relations, la proximité avec l'utilisateur sont fournis par le modèle de réseau de

maintenance. L'intégration de la maintenance a été possible grâce à l'utilisation des règles orientées maintenance. Les règles 1, 2 et 3 ont permis de tester la pertinence du filtrage des principes et des solutions techniques, les règles 4 d'intégrer les circuits d'approvisionnement en matière d'œuvre et en composants, les règles 5 de définir des solutions de fabrication ... Les indicateurs *Coût de pièces* et *Durée d'approvisionnement* ont orienté les décisions de conception respectivement en fonction du pouvoir d'achat de l'utilisateur. Cet exemple de conception montre bien qu'il est possible d'intégrer l'environnement de la maintenance de l'utilisateur : penser maintenance pendant la conception en anticipant les pannes redoutées de l'utilisateur de PAO.

Cependant, cette validation reste très partielle car toutes les règles n'ont pas été mises en œuvre dans ce projet et de plus nous n'avons pas pu expérimenter les séances de confrontation proposées dans la démarche. Il aurait fallu tester également les conflits possibles créés par l'application des règles : l'ajout d'indicateurs d'usure par exemple peut nécessiter un mécanisme qui complexifie la réalisation de l'équipement. Néanmoins, cette expérience permet de voir concrètement la pertinence des outils proposés dans la prise en compte de la maintenance.

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'analyse des pratiques traditionnelles de maintenance dans les petites entreprises agroalimentaires des PAO d'une part, et les concepts issus des outils et méthodes de conception de produits ou de prise en compte de la maintenance développés dans les Pays du Nord d'autre part, ont débouché sur une proposition de méthode de conception orientée maintenance dans les Pays du Sud. Celle-ci a été partiellement expérimentée dans un projet de conception mené au Bénin par une équipe locale de conception.

L'état de l'art sur la problématique de la maintenance dans les PAO a montré que les petites entreprises connaissent un environnement économique et social contraignant qui correspond le plus souvent à une économie de subsistance, faiblement monétarisée. Cela pèse sur les pratiques de maintenance des équipements de transformation; la très faible disponibilité monétaire conduit les utilisateurs à donner le plus souvent la priorité aux produits les moins chers. Ce contexte spécifique aux pays du sud explique d'une manière générale les pratiques de maintenance essentiellement curative, les conditions d'utilisation et de maintien sévères des équipements, la faible durée de vie des pièces détachées. La réparation des équipements et l'approvisionnement en pièces de rechange sont effectués par de nombreux acteurs : transformateurs, fabricants, soudeurs, vendeurs, forgerons, commerçants, etc. La maintenance des équipements nécessite des modes d'organisation qui impliquent des acteurs de diverses structures pour la maintenance. Intégrer la maintenance dans la conception nécessite donc de prendre en compte tous ces éléments.

Au regard de cette problématique de la maintenance, l'analyse croisée des concepts de maintenance développés dans les PdN met en évidence des outils tels que le DFX qui permet de prendre en compte dans la conception les caractéristiques du métier considéré. Un autre concept intéressant est celui du réseau d'acteur pour l'analyse de cet environnement sociotechnique de la maintenance car il permet de prendre en compte les relations entre les acteurs de diverses structures participant à la maintenance.

Une enquête de terrain effectuée au Burkina Faso auprès de 39 transformateurs utilisant des équipements de transformation, de 11 équipementiers et de 12 autres structures constituées de maintenanciers et de vendeurs de pièces de rechange ont permis de caractériser finement l'environnement de la maintenance. Il apparaît que les pratiques dans le réseau de maintenance permettent une disponibilité opérationnelle des équipements encore loin des standards industriels mais cependant relativement satisfaisante, étant donné le contexte. Même avec une médiocre fiabilité des composants, l'utilisateur se sert du réseau pour éviter la panne redoutée (coûteuse ou longue). Les travaux soulignent les différences entre les types d'utilisateurs: concevoir des équipements pour les TPE nécessite une très forte intégration du réseau de maintenance, alors que pour les ME celle-ci est moins nécessaire, l'entreprise ayant à la fois plus de moyens financiers et plus de capacité d'auto-maintenance. Enfin, une expérimentation de la méthode AMDEC avec un groupe de 13 acteurs d'un réseau de maintenance a enrichi nos connaissances sur les pratiques de maintenance avec une explication des relations au sein du réseau. Elle a montré la possibilité d'un travail de collaboration entre les acteurs du réseau.

La démarche de conception orientée maintenance pour les PAO que nous proposons comporte trois outils et une démarche :

- Un outil de représentation et d'analyse du réseau de maintenance existant. Il prend en compte les dimensions sociales, techniques, économiques et spatiales du contexte spécifique dans lequel se situent les petites unités. Il fournit au concepteur les informations nécessaires sur l'organisation du réseau de maintenance, les circuits d'approvisionnement et de réparation existants.
- Un Cahier de Charge de Données Techniques du Réseau (CdCDT_R) capitalise systématiquement les données techniques. Il accompagne le modèle de réseau de maintenance et présente les informations du réseau sur les savoir-faire de fabrication, sur la disponibilité des composants et la matière d'œuvre pour l'utilisateur de PAO.
- Un ensemble de règles de conception orientées maintenance pour les PAO permettent d'intégrer la maintenance en se référant aux réseaux de maintenance existant. Cet outil se positionne dans la lignée des outils du DFX.
- Une démarche de conception orientée maintenance pour les PAO, permettant la mise en œuvre de ces trois outils dans la méthode CESAM avec deux séances de confrontation entre équipe de conception et acteurs du réseau de maintenance. Ces

séances de confrontation avec les représentants du réseau d'acteur de maintenance permettent de vérifier que la solution proposée par l'équipe de conception intègre bien la maintenance.

L'expérimentation de la démarche au Bénin a montré la pertinence de la proposition et son applicabilité dans les pays du sud. Ces travaux enrichissent la méthode CESAM et offrent aujourd'hui la possibilité aux équipes locales de mieux prendre en compte la maintenance. L'originalité de la proposition réside dans le fait qu'elle apporte une réponse réelle à l'intégration du réseau d'acteurs de maintenance, donc de l'environnement de la maintenance dans la conception. Il permet de proposer des équipements faciles à maintenir à un coût supportable pour les PE et les TPE.

Au niveau des perspectives opérationnelles, il conviendrait de :

- ⇒ Lancer d'autres validations des outils et de la démarche pour prendre en compte la diversité des situations de conception dans les pays du Sud. Il s'agira d'apprécier comment la démarche s'adapte aux différents environnements et d'analyser son appropriation par les équipes locales de conception.
- ⇒ Faire évoluer les pratiques traditionnelles de maintenance dans les PAO pour aider les utilisateurs à mieux gérer et maîtriser la maintenance de leurs équipements. Il s'agira de rechercher des outils de gestion prédictive de la maintenance qui s'accommodent bien avec la gestion très sociale des petites entreprises.
- ⇒ Enrichir les outils de capitalisation relatifs à la maintenance dans les PAO, pour des petites unités de transformation (CdCDT_R). Ces éléments de décision construits à partir de retour d'expérience aideront les concepteurs à prendre en compte la maintenance..

Au niveau des perspectives de recherche, il serait souhaitable de :

- ⇒ Proposer un catalogue de solutions technologiques standard d'intégration de la maintenance dans la conception sur la base des règles de conception orientées maintenance pour faciliter l'intégration de la maintenance par les équipes locales. L'intérêt de ce catalogage dépasse le cadre des PAO mais l'ensemble des pays du Sud.
- ⇒ Travailler à l'intégration plus fine des aspects maintenance et fabrication car les réseaux sont souvent très proches et pourquoi pas une intégration usage, maintenance et fabrication. On pourrait, par exemple, utiliser le modèle de réseau pour tracer les réseaux de fabrication.

Ces points constituent un champ de recherche future concernant la capitalisation des connaissances en maintenance mais également de l'amélioration continue des pratiques

traditionnelles vers des pratiques plus évoluées au sein des unités de transformation. Un rapprochement entre concepteur et acteurs de réseau de maintenance-fabrication permettra d'améliorer la communication entre ces acteurs.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Adebiyi, K. A., Ojediran, J. O., Oyenuga, O. A. (2004). An appraisal of maintenance practice in food industries in Nigeria. *Journal of Food Engineering* N° 62: pp.131-133.
- AFNOR (2005). Normes et documents utiles en maintenance. CD-Rom. AFIM, AFNOR, CNOMO. Paris.
- Agunwamba, J. C. (2000). Optimal maintenance of rural bore-hole schemes. *Nigerian Journal of Engineering Management* N°1: pp.13-22.
- Akrich, M., Callon, M., Latour, B. (1988). A quoi tient le succès des innovations : Premier épisode : l'art de l'intéressement. *Annales des mines* juin 1988: pp. 4-17.
- Akrich, M., Callon, M., Latour, B. (1988). A quoi tient le succès des innovations : Deuxième épisode : l'art de choisir les bons porte-paroles. *Annales des mines* septembre 1988: pp.14-29.
- Allen, K. D. (1987). Processing alternatives for cost reduction. *Annals of CIRP* N°36/2/1987: pp. 431-434.
- Anon. (1995). Gestion des données. Traitements graphiques version 2.0 ITCF- CIRAD.
- Anon. (2004). Document de stratégie de développement rural à l'horizon 2015. Ministère de l'agriculture et des ressources halieutiques. Burkina Faso.
- Anon. (1989). Standards book, ASAE, St. Joseph, Michigan-USA. Paper of American Society of Agricultural Engineers: pp. 91 - 97.
- Anon. (1996). Appui à la transformation alimentaire à petite échelle / Stratégies des ONGs et perspectives pour améliorer leur efficacité. Stuttgart, FAKT. Atelier organisé par FoodNet/RESAA - 25-26 avril 1996.
- Anon. (2001). Ministère de l'Agriculture, cellule de coordination du P.A.S.A., 2001. Plan d'actions sur les céréales (mil, sorgho, maïs) : document final. Ouagadougou. 105 p.
- Anon. (2003a). La promotion et le financement des petites et moyennes entreprises (PME) dans l'UEMOA. Tome 1. Diagnostic et stratégie au niveau régional. Lomé : Performances Management Consulting, Banque Ouest Africaine de Développement (BOAD).
- Anon. (2003b). Ministère de l'Agriculture de l'Hydraulique et des ressources Halieutiques / Secrétariat Permanent de la Politique Sectorielle Agricole SP/CPSA Burkina Faso. Diagnostic actualisé et stratégie de développement de la filière des oléagineux. Rapport Final Projet 8 ACP BK 014 (8 ème FED), Fonds d'Observation Economique et Sociale du Monde Rural (FOESMR). 95 p.
- Anon. (2006a). Bulletin du réseau TPA N°14 - Avril 1997. Paris.

- Anon. (2006b). Répertoire des entreprises agroalimentaires du Burkina Faso. Chambre du Commerce, d'Industrie et d'Artisanat du Burkina Faso (CCIA-BF).
- Anon. (2006c). www.fao.org/SPFS/pdf/mali.pdf, www.fao.org/SPFS/pdf/Niger.pdf, www.fao.org/SPFS/pdf/Gabon.pdf. Date de consultation 01/07/2006.
- Aoussat, A., Le Coq, M. (1998). Contraintes d'assemblage. In : Tollenaere M. Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils. Paris, Hermès : pp.185-200.
- Azouma, Y. O. (2005). Intégration de la fabrication et de la maintenance dans une démarche de conception pluridisciplinaire d'équipements agricoles et agroalimentaires pour l'Afrique. Thèse de doctorat U.F.R des Sciences et Techniques de l'Université de Franche-Comté. Besançon.
- Bardini, T. (1996). Changement et réseaux sociotechniques : de l'inscription à l'affordance. Réseaux N°76 CNET: pp. 125-153. <http://www.enssib.fr/autres-sites/reseau-cnet/76/08-bardi.pdf>. Date de consultation 02/07/2004.
- Barro, I. (2005). Microfinance et petites entreprises au Sénégal, (BIM), 2005. <http://microfinancement.cirad.fr/fr/news/bim/Bim-2005/BIM-19-04-05.pdf>. Date de consulté le 30 10 2006.
- Bassey, M. W., Schmidt, O. G. (1990). Les Décortiqueurs à disques abrasifs en Afrique: de la recherche à la diffusion: Ottawa (CAN): CRDI, 1990. 106 p.
- Bationo, F. (2003). Proposition d'une démarche structurée et intégrée de la maintenance industrielle dans le cadre d'une méthode de conception participative (CESAM). DEA de génie Industriel. Ecole Nationale Supérieure de Génie Industriel (ENSGI) de l'Institut National Polytechnique de Grenoble (INP-G), Université Pierre Mendès France, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- Bazabana, J. J. M. (1995). Entreprenariat, organisation et fonctionnement en réseaux : la transformation du manioc au Congo. Université de Montpellier I, Faculté des sciences Economiques. Thèse de doctorat en Sciences Economiques, Economie du développement agro-alimentaire et rural. Soutenue le 13 décembre 1995 Montpellier.
- Betzwar, W., Karlsson, D. (1987). Parts, maintenance and service. Mechanization of field experiments in semi arid areas. Proceedings of a conference, Aleppo, Syria, 23 27 May 1987. Pub. as ICARDA 115 En., International Center for Agricultural Research in the Dry Areas; Aleppo; Syria.
- Blanco, J. D. (1999). Sûreté de fonctionnement et maîtrise des risques, la maintenabilité. Institut de Sûreté de Fonctionnement, CETIM (Centre Technique des Industries Mécaniques). ISBN N° 2-85400-494-X.
- Boothroyd, G., Alting, L. (1992). Design for Assembly and Disassembly. Annals of the CIRP N° 41. pp. 625-636.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P. (1986). Product design for assembly. Handbook. Wkefield, RI : Boothroyd Dewhurst, Inc.

- Boothroyd, G., Dewhurst, P. (1991). Product Design for Assembly. Handbook. Boothroyd Dewhurst. 138 Main Street. Wakefield.
- Boujut, J.-F., Blanco, E. (2003). Intermediary objet as a mean to foster co-operation in engineering design. Computer supported cooperative Work N°12: pp. 205-219.
- Boujut, J.-F., Laureillard, P. A. (2002). Co-operation framework for product-process integration in engineering design. Design studies N°23: pp.497-513.
- Bréchet, Y., Asbhy, F., Dipeux, M., Louchet, F. (1990). Choix des matériaux. In Technique de l'ingénieur, traité Génie Industriel.
- Bressy, G., Konkuyt, C. (2004). Economie d'entreprise. Editeur Dalloz, Paris.
- Brissaud, D., Garro, O. (1998). Conception distribuée, émergence. In : Tollenaere M. Conception de produits mécaniques : méthodes, modèles et outils. Paris, Hermès.
- Callon, M. (1986). Éléments pour une sociologie de la traduction : La domestication des coquilles St-Jacques et des marins pêcheurs dans la baie de St. Briec. La Sociologie des Sciences et des Techniques N°36: pp.169-208.
- Chapouille, P. (1999). Fiabilité. Maintenabilité. T 4 300. In Techniques de l'Ingénieur, traité L'entreprise industrielle. Paris.
- Charrel, P., Galarreta, D., Keller, P., Rothenburger, B. (1993). Multiple Viewpoints for complex Systems Design, The third European-Japanese Seminar on Information Modelling and Knowledge Bases, Budapest, Hungary, May 31-june 3.
- Chaze, C., Traoré, F. (2000). Les défis de la petite entreprise en Afrique. Editeur, Charles Léopold Myer, Paris. 101 p.
- Chen, L., Cai, J. (2003). Using Vector Projection Method to evaluate maintainability of mechanical system in design review. Reliability Engineering and System Safety N°81: pp. 147–154.
- Corbett, J., Dooner, M., Meleka, J., Pym, C. (1991). Design for manufacture - stratégies, principes and techniques. Reading: MA: Addison-Wesley.
- Creusot, A. C. (2000). Dispositifs d'appui aux micro et petites entreprises en Afrique (BIM), 2000 : <http://microfinancement.cirad.fr/fr/news/bim/Bim-2000/BIM-28-11-00.pdf>. Consulté le 15-10-2006.
- De Groote, P. (1995). The transfer of technology in the Third World Countries in the field of equipment maintenance. Bulletin des Seances Academie Royale des-Sciences d'Outre-Mer (Belgium). N°41(2) : pp. 261-271.
- Diallo, M. (2000). Rapport d'audit de maintenance - SODEPAL. Burkina Faso, Cabinet d'Ingénierie Conseil en Maintenance (CINCOM-SARL), Ouagadougou: 23 p.
- Diawara, B. (2003). Les Procédures de programmation des activités de Recherche et de la Valorisation des Produits de la Recherche. IRSAT/DTA Ouagadougou Edt. IDELYS/ACC.

- Dodier, N. (1993). Les appuis conventionnels de l'action : Eléments de pragmatique sociologique. Réseaux N°62 CNET.
- Dumez, B. (1993). Le soutien logistique intégré au sein de GIAT industries. Proceedings of international conférence ILCE 93, EC2, Montpellier.
- Eti, M. C., Ogaji, S. O. T., Probert, S. D. (2004). Reliability of the Afam electric power generating station, Nigeria. Applied Energy N°77: pp. 309–315.
- Fall, B. A. (1990). Fabrication et maintenance du matériel agricole en Afrique: Situations et perspectives de Coopération avec les Industriels Européens. In congrès Euro-Africain du Machinisme Agricole.1990/02/13-17; Bruxelles (BEL): Wageningen (NLD) : CTA, 1990.
- Francastel, J. C. (2003). Ingénierie de la maintenance : De la conception à l'exploitation d'un bien. Dunod, Paris. 485 p.
- GAMA (1998). Modélisation des contraintes de fabrication en conception (DFM). In : Tollenaere M. Conception de produits mécaniques, méthodes, modèles et outils. Hermès, Paris.
- Gautier, F. (2003). Pilotage économique des projets de conception et développement de produits nouveaux. Economica, Paris.
- Giroux, F. (2000). Pour une conception coopérative dans les Pays du Sud : Application aux équipements de petite capacité dans les domaines agricole et agroalimentaire. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches (HDR), Institut National Polytechnique de Grenoble: 71 p.
- Giroux, F., Gueye, M., Marouzé, C. (1999). Conception intégrée au service de l'innovation produit dans les pays en développement. In : 3e Congrès international de génie industriel. L'intégration des ressources humaines et de technologies : le défi, Montréal, mai 1999, Montréal (CAN) : Presses internationales polytechniques, 1999. 10 p.
- Godjo, T. (2005). Rapport d'activité du Projet Kluiklui. Protocole de recherche PE 23, Exercice 2005, PTAA/CRA-Agonkanmey/INRAB Porto - Novo.
- Grange, P. (1996). Piloter les coûts des produits industriels. Outils et méthodes pour concevoir au moindre coût. Dunod, Paris.
- Grenier, C. (2003). Rôle de l'objet intermédiaire pour mieux comprendre et piloter la structuration d'un réseau organisationnel et technologique d'acteurs : Cas d'un réseau de soins. Communication à la 8 ème Conférence de l'Association Information Management, Grenoble.
- Grusenmeyer, C. (2002). Interactions maintenance exploitation et sécurité. Hygiène et sécurité du travail N°186: pp. 53-66.

- Gubert, F., Roubaud, F. (2003). Le financement des très petites entreprises urbaines : étude d'impact d'un projet de micro-finance à Antananarivo (Madagascar), Techniques financières & développement, (73), ESF, 2003: http://esf.asso.fr/portail/IMG/pdf/TFD73_Article_GUBERT_ROUBAUD.pdf. Consulté le 15-10-2006.
- Hassanain, M. A., Froese, T. M., Vanier, D. J. (2003). Framework model for asset maintenance management. Journal of Performance of Constructed Facilities N°17(1): pp. 51-64.
- Havard, M., Mazot, J. L. (1995). Gestion des systèmes Mécanisés. Conditions et facteurs de mise en place de la mécanisation. Dossiers de cours. CIRAD-SAR/N°78/95. Montpellier : CIRAD-SAR, 1995, 19 p.
- Heijboer, J. P., Sow, M., Wanders, A.A. (1990). Introduction et fabrication locale de la batteuse VOTEX Ricefan : Office du Niger, projet Arpon, Mali.
- Huang, G. Q., Shi, J., Mak, K. L. (2000). Synchronized system for "Design for X" guidelines over the WWW. Journal of Materials Processing Technology N°107: pp. 71-78.
- Ireson, W. G., Coombs, J. C. F. (1988). Handbook of reliability engineering and management. New York, Mc Graw-Hill.
- Jouët, J. (2000). Retour critique sur la sociologie des usages. Réseau N°18(100) : pp. 1-23.
- Kapur, K. C., Lamberson, L. R. (1977). Reliability in Engineering Design. Wiley, New-York: pp. 291-338.
- Kirkland, C. (1988). Meet two architects of design-integrated manufacturing. Plastics World: pp. 46-50.
- Kuo, T. C., Huang, S. H., Zhang, H. C. (2001). Design for manufacture and design for 'X' : concepts, applications, and perspectives. Computers & Industrial Engineering N°41: pp. 241-260.
- Landy, G. (2002). AMDEC Guide pratique. Afnor: 218 p.
- Lavina, Y. (1996). Réussir l'Auto maintenance. Edition d'Organisation Paris.
- Lazega, E. (1995). Analyse de réseaux et structure Organisationnelles. Revue des questions N°36: pp. 293-311.
- Le Thiec, G. (1996). Agriculture africaine et traction animale. France, Edition CIRAD - CTA.
- Ligeron, J. C., Lyonnet, P. (1988). Le management des grands contrats, prise en compte des aspects qualité et sûreté de fonctionnement. Tec et Doc Lavoisier Paris.

- Limbrey, R., Dembner, S. (1988). Agricultural engineering in development. The organization and management of replacement parts for agricultural machinery FAO Agricultural services bulletin. N°72/2.
- Malone, T., Crowston, K. (1994). " The interdisciplinary study of coordination". Computing Surveys N°26/1: pp. 87-119.
- Mahmoud, H. A., Amir, B. S., A AI Kareem H.A., Imad, H. (1999). Tractor repair and maintenance costs in Sudan I : Development of a standard Model. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America N°30(2): pp. 15-18.
- Manata, J. P. (1996). Approche méthodologique de la conception des lignes de production industrielles intégrant les impératifs de maintenance, de performance et de coût global de possession. Application à des équipements sidérurgiques. Doctorat de l'Université Henry Pointacre, Université Nancy I.
- Marouzé, C. (1999). Proposition d'une méthode pour piloter la trajectoire technologique des équipements dans les pays du Sud. Application au secteur agricole et agroalimentaire. Thèse de doctorat de Génie Industriel Aix-en-Provence ENSAM Paris.
- Marouzé, C., Kouakou, V., Giroux, F. (1997). Analyse de la conception des décortiqueurs à café en Côte d'Ivoire. Congrès franco-qubécois de Génie Industriel, Albi, les 3-5 septembre 97.
- Monchy, F. (2000). Maintenance, Méthodes et Organisation. Dunod, Paris. 449 p.
- Mortureux, Y. (2001). La sûreté de fonctionnement : méthodes pour maîtriser les risques. Traité l'Entreprise Industrielle.
- N'Daw, B. (1998). Intégration de la maintenance dans la démarche de conception d'équipements dans les pays du Sud. Application aux moulins à céréales et aux décortiqueurs de riz au Sénégal. Mémoire de DEA en Génie industriel ENSAM Paris: 59 p.
- Nakajima, S. (1989). La Maintenance Productive Totale (TPM) : Mise en œuvre. AFNOR Gestion, Paris.
- Nikolopoulos, K., Metaxiotis, K., Lekatis, N., Assimakopoulos, V. (2003). Integrating industrial maintenance strategy into ERP. Industrial Management & Data Systems N°103(3-4): pp. 184-191.
- Norman, D. (1993). " artefacts cognitifs ", in Conein, B., Dodier, N., Thévenot, L., (éds.), Les objets dans l'action, Raison Pratiques, 4, Paris, Ed. de l'EHESS.
- Nzie, W. (2006). Intégration de la maintenance en conception : application à un équipement agroalimentaire. Thèse de doctorat : Sciences pour l'Ingénieur. Université de technologie de Belfort-Montbéliard.
- Ogier, M. (1989). L'industrie du matériel de transport rural : Afrique, Vienne (AUT) : ONUDI, 77 p.

- Ouattara, A. (1998). Etude sur la fabrication artisanale d'équipements agricoles au Burkina Faso, PAMA/DPV, Ouagadougou: 33 p.
- Ouattara, A., Ouedraogo, A. (1999). Fabrication locale et artisanale de matériel agricole : Synthèse d'études et actions de formation. Ouagadougou, PAMA: 53 p.
- Ouédraogo, A., Yaméogo, C., Sawadogo, M. (2003). Etude sur la qualité des huiles de coton produites dans la région Ouest. Rapport de synthèse projet EIDev. Chambre de Commerce de l'Industrie et de l'Artisanat du Burkina Faso (CCIA-BF) : 81 p.
- Palmer, D. (2002). Think asset management when the chips are down. *Manufacturing Computer Solutions* N°8(8): pp. 12-15.
- Pesqueux, Y. (2002). " Le modèle de l'organisation en réseau " ; in Pesqueux Y., *Organisations : modèles et représentations*. PUF Gestion pp.197-220.
- Pimor, Y. (2001). *Logistique, techniques et mise en oeuvre*. Dunod, Paris. 579 p.
- Pons, E. Waroquier, C. (1993). *La logistique intégrée*. Edition Hermes, Paris.
- Reynaud, J. D. (1988). Les régulations dans les organisations : régulation de contrôle et régulation autonome. *Revue française de sociologie*: pp. 5-18.
- Ridoux, M. (1998). AMDEC-Moyen. AG 4220. In *Techniques de l'Ingénieur, traité L'entreprise industrielle*. Paris.
- Riout, J. (1994). *Le guide de l'AMDEC machine*. Sentis, CETIM.
- Rivier, M., Medha, L., Djiboubou, B., Hien, T., Namata, H. (2003). Diagnostic technique des entreprises burkinabé de transformation de céréales (mil, sorgho, maïs, fonio, riz). Rapport Projet EIDev. CIRAD AMIS, Groupe EIER ETSHER PAA : 48 p.
- Rojot, J. (1994). *La négociation*. Vuibert: 213 p.
- Salaü, I. (1995). *La conception distribuée : Théorie et méthodologie*. Thèse de doctorat de l'Université de Nancy 1.
- Schoefs, Y. (2001). *Guide d'organisation industrielle*. Delagrave, Paris.
- Shiba, S. (1995). *La conception à l'écoute du marché*. Edition INSEP, Paris.
- Shiba, S., Graham, A., Walden, D. (1996). *4 révolutions du Management par la Qualité Totale, Manuel d'apprentissage et de mise en oeuvre du TQM*. Dunod, Paris.
- Shirose, K. (1994). *Le guide TPM de l'unité de travail*. Dunod, Paris: 133p.
- Smith, R. P. (1997). The historical roots of concurrent engineering fundamentals. *IEEE transactions on engineering Management* N°14: pp.67-78.
- Sohlenius, G. (1992). Concurrent engineering fundamentals. *Annals of the CIRP* N°41/2: pp.645-655.

- Son, G. (2004). Amélioration des techniques de préparation du sol dans les exploitations à traction animale de la zone cotonnière ouest du Burkina Faso : Développement et mise en œuvre d'un décompacteur à dents. Thèse IAV HASSAN II N°GR/2/2004, Rabat.
- Spinelli, S. (1996). Etude de cas de la conception / fabrication des matériels de transport à traction animale au Burkina Faso. CIRAD-SAR/N°27.96. Montpellier : CIRAD-SAR, 1996: 20p.
- Starkey, P. (1985). Programme de traction animale: nécessité d'un échange d'informations. In *Machinisme Agricole Tropical (FRA) N°91*: pp. 69-71.
- Starkey, P. (1994). Système d'attelage et matériel à traction animale. Publication de GATE, Eshborn : GTZ, 278 p.
- Stoll, H. W. (1988). Design for manufacture. *Manufacturing Engineering*: pp. 67-73.
- Tchinda, K. A. G. (2000). Fabrication des agro-équipements de traction animale dans la province du Nord de Cameroun : place et rôle de l'artisanat du fer. Cameroun, Institut de Recherche Agricole pour le Développement (IRAD) et pôle régional de recherche appliquée au développement des savanes d'Afrique centrale, Université de Dshang: 108 p.
- Tichkiewitch, S. (1998). Les enjeux des nouvelles techniques de conception. In *Conception de produits mécaniques, méthodes, modèles et outils*. Hermès, Paris.
- Vanier, D. J. (2001). Why industry needs asset management tools. *Journal of Computing in Civil Engineering* N°15(1): pp. 35-43.
- Vinck, D. (1999). Les objets intermédiaires dans les réseaux de coopération scientifique. Contribution à la prise en compte des objets dans les dynamiques sociales. *Revue française de sociologie* N°2: pp. 385-414.
- Yacoub, I., Garro, O., Desmorieux, H., Menguy, G. (2006). Transfert de technologie, un problème d'innovation. Quelle méthodologie pour les transferts de technologie ? *International journal of design and innovation research (IJODIR)* N° 3 et 4.

ANNEXES

Sommaire : ANNEXES

<i>ANNEXE A : Fiche d'enquêtes</i>	<i>1</i>
1. FICHE U : Utilisateurs	1
2. FICHE C : Equipementiers	7
3. FICHE F : Structures participant à la maintenance.....	13
<i>V. ANNEXE B : Supports expérimentation AMDEC</i>	<i>19</i>
1. La presse à graines de coton SOAF	19
2. Grilles de cotation AMDEC.....	21
<i>VI. ANNEXE C : Fiches d'enquêtes identification réseau</i>	<i>23</i>
1. FICHE U : Utilisateurs	23
2. FICHE C : Equipementiers	27
3. FICHE F : Structures participant à la maintenance.....	29

ANNEXE A : Fiche d'enquêtes

1. FICHE U : Utilisateurs

QUESTIONNAIRES: INTEGRATION DE LA MAINTENANCE DANS LA CONCEPTION

Avis important !

Objet : le présent questionnaire vise à récolter des informations sur l'intégration de la maintenance dans la conception des équipements de transformation agroalimentaire.

Confidentialité des réponses : cette enquête s'inscrit dans le cadre d'une Thèse au compte du CNRST à Ouagadougou, du CIRAD à Montpellier, et de GILCO à Grenoble. Les personnes déléguées pour la réalisation assureront une stricte confidentialité des réponses qui seront fournies. Les institutions précitées remercient les entreprises et leur personnel pour leur collaboration et la fiabilité des informations communiquées.

Réalisé le/...../2004 à.....

Utilisateurs type: Artisan PME semi-industrielle ou industrielle

Identification Répondant

- Nom & Prénom :
- Profession :
- Responsabilité :
- Profil de formation :
- Coordonnées/Adresse :

Identification de l'entreprise

Nom de l'entreprise/Société et statue juridique :

- Année de création et Domaine d'activité :
- Effectif total du personnel :
- Types de produits fabriqués :
- Organigramme hiérarchique :
- Chiffre d'affaires annuel :
- Coordonnées /Adresse : Code Postale Ville Quartier / secteur.....
- Tel Fax Email.....

U-1 Quels sont les principaux équipements Agro alimentaire utilisés ?

Nbre	Identification des équipements (model, l'année d'acquisition, marque et origine de fabrication)	<ul style="list-style-type: none"> • L'énergie utilisée ; • Temps d'utilisation moyenne/jour ; • Capacité de production coût d'achat.

U-2 Organisation de la maintenance dans votre PME

Nbre	Qualification du personnel / opérateurs en charge de l'entretien	Niveau de formation	Salaire approximatif

- Comment assurez-vous l'entretien dans votre entreprise en cas de panne d'un équipement ?
(Entretien systématique ou les dispositions logistique)
- Est-ce que les opérateurs observent les consignes suivantes envers les machines ?
Le rangement Oui Non , l'ordre Oui Non , la discipline Oui Non
L'inspection Oui Non , la propreté Oui Non
- Existe-t-il un plan de formation d'entretien du personnel ? Oui Non

Description pannes	Fréquence pannes / an	Durée d'arrêt (Heure)	Coût réparation (Fcfa)		Perte production / unité de temps évalué en coût (Fcfa)
			Interventions	Organe	

- Quelle est la fréquence par an des accidents de travail ? Donnez le détail de deux ou trois exemples ?

Etude de cas d'un équipement : Désignation.....

Appréciez les critères de maintenance suivants
Est-ce que la plupart des composants mécaniques ou électriques sont standards (normalisé) ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Est-ce que le démontage et le remontage de l'équipement sont faciles ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Est-ce que la localisation , le diagnostic ou la détection de certains organes en cas de pannes sont faciles et rapides ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Donnez des exemples concrets
Est-ce que les sous-ensembles de composants (module ou bloc) sont interchangeables en cas de pannes ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Est-ce qu'on retrouve facilement (disponibilité) la matière première utilisée pour la fabrication des pièces défectueuses ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Est-ce que vous assurez vous-même un certain nombre de réparation ? Si oui lesquelles ?
Quelles sont les pannes que vous ne pouvez pas réparer ? Pourquoi ?
Qu'est-ce qui vous faciliterai la réparation par vous-même ?
La qualification des opérateurs / exploitants est-elle prise en compte pour la réparation ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Est-ce qu'en cas de pannes on trouve facilement des réparateurs ou des services après vente de pièces de rechange proches ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si Non dite à quel distance ?.....
Est-ce que le temps de réglage de votre équipement pour un type de produit donné (préciser) est acceptable ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Pourquoi ?
Est-ce qu'il est aisé de déplacer votre équipement en cas de besoin ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Pouvez-vous trouver (disponibilité) facilement les pièces de rechange ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Y'a-t-il d'autres avantages ou inconvénients qui facilitent les réparations de l'équipement ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si Oui vous pouvez les lister. - -

U-3 Que représente une panne grave pour vous ?

.....
.....

U-4 Avez-vous des périodes d'entretiens systématiques de vos équipements ? Oui Non

.....

- Avez-vous des stocks de pièces de rechange ? Oui Non
- Où est-ce que vous achetez vos pièces de rechange ?
.....

- Que pensez-vous des délais de dépannage des équipements localement fabriqués et ceux importés ?
.....
.....

U-5 Quels sont vos moyens pour la réparation ou le contrôle des défaillances ?

.....
.....
U-6 Quelles sont les relations entre vous et les principaux fournisseurs de vos équipements ?
.....
.....

U-7 Utilisez-vous de la documentation technique pour la maintenance ? Oui Non

Fiche Enquête Complémentaire : Evaluation de critères du niveau de criticité de défaillances d'un équipement ou d'une petite chaîne de transformation

Type: Concepteur Fournisseur Utilisateur

Identification des Acteurs / Entreprise

Répondant

Nom & Prénom :

Profession :

Responsabilité :

Profil de formation :

Coordonnées/Adresse :

Identification de l'entreprise

Nom de l'entreprise/Société et statue juridique :
.....
.....

Année de création:

Domaine d'activité :

.....
.....
Équipement évalué
.....
.....

Que représente la fréquence (F) d'apparition de pannes ?

Valeurs de F	Définition de la fréquence d'apparition d'une défaillance
1	Défaillance pratiquement inexistante veut dire : ↑ Une panne tous les 10 ans ↑ Une panne tous les 5 ans ↑ Autres explications :
2	Défaillance rarement apparue veut dire : ↑ Une panne tous les 2 ans ↑ Une panne par an ↑ Autres explications :
3	Défaillance occasionnellement apparue veut dire : ↑ Une panne par an

	↑ Trois pannes par an ↑ Autres explications :
4	Défaillance fréquemment apparue veut dire : ↑ Au moins quatre pannes tous les 3 mois ↑ Au plus six pannes tous les 3 mois ↑ Autres explications :
5	Défaillance très fréquente veut dire : ↑ Au moins deux pannes tous les mois ↑ Au plus huit pannes tous les mois ↑ Autres explications :
x	Autres propositions En moyenne, quel taux de pannes seriez-vous prêts à accepter ? Pourquoi ?

Tableau 1 – Indice de fréquence F

Que représente la gravité (G) d'une défaillance (1) ?

Valeurs de G	Définition de la gravité (G) d'une défaillance (1)
1	Défaillance mineure ou dégradation faible veut dire : ↑ Temps d'interruption inférieur ou égal à 1 heure ↑ Temps d'interruption égal à 4 heures Ou ↑ Quelques défauts non remarquables du produit sans conséquences sur la consommation et la vente ↑ Accident d'un opérateur ne nécessitant pas de soins ↑ Pollution non remarquable et sans dangers pour l'environnement ↑ Autres explications :
2	Défaillance moyenne ou remise en état de courte durée veut dire : ↑ Temps d'interruption d'une demie (1/2) journée ↑ Temps d'interruption d'une (1) journée Ou ↑ Quelques défauts remarquables du produit sans conséquences sur la consommation et la vente ↑ Accident d'un opérateur nécessitant seulement des soins sur place ↑ Pollution remarquable mais sans dangers pour l'environnement considérable ↑ Autres explications :
3	Défaillance majeure nécessitant une intervention de longue durée veut dire : ↑ Temps d'interruption au moins (2) journées ↑ Temps d'interruption au plus quatre (4) jours Ou ↑ Défauts remarquables du produit avec quelques conséquences sur la consommation et la vente ↑ Accident d'un opérateur nécessitant des soins dans un centre hospitalier avec reprise du travail ↑ Pollution remarquable avec quelques dangers pour l'environnement considérable ↑ Autres explications :
4	Défaillance grave nécessitant une grande intervention veut dire : ↑ Temps d'interruption au moins une (1) semaine ↑ Temps d'interruption au plus deux (2) semaines Ou ↑ Défauts remarquables du produit avec conséquences sur la consommation et la vente ↑ Accident d'un opérateur nécessitant des soins urgents avec un repos ↑ Pollution dangereuse pour l'environnement ↑ Autres explications :

5	Défaillance très grave (sécurité/Qualité) veut dire : ↑ Temps d'interruption d'au moins trois (3) semaines ↑ Temps d'interruption de plus de un (1) mois Ou ↑ Défauts remarquables du produit très dangereux pour la consommation ↑ Accident d'un opérateur nécessitant une hospitalisation ↑ Pollution très dangereuse pour l'environnement ↑ Autres explications :
x	Autres propositions ou suggestions.....

(1) L'effet de la défaillance s'exprime en termes de durée ou de non-conformité de pièces produites, de sécurité de l'opérateur.

Tableau 2 – Indice de gravité G

Que représente la probabilité de Non-détection de la défaillance (1)

Valeurs de D	Définition de la possibilité de détection (D) d'une défaillance (1)
1	Détection total veut dire : ↑ Les dispositions prises assurent une détection complète des défaillances ↑ Les dispositions prises assurent une détection partielle des défaillances ↑ Autres explications :
2	Détection possible veut dire : ↑ Il existe au moins un signe avant l'apparition de la défaillance ↑ Il existe des signes avant l'apparition de la défaillance ↑ Autres explications :
3	Détection faible veut dire : ↑ La cause et/ou le mode de défaillance sont difficilement décelables ↑ les éléments de détection sont peu exploitables ↑ Autres explications :
4	Détection impossible veut dire : ↑ Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise ↑ impossible de prévenir les défaillances ↑ Autres explications :
x	Autres propositions.....

Signes avant-coureurs : bruit, vibration, accélération, jeu anormal, échauffement, visuel...

Tableau 3 – Indice de non-détection D

cotations	Autres indices que ceux de l'AMDEC

Autres indices que ceux de l'AMDEC pourraient être intéressants : à vous de faire des propositions ! ... et de voir si des échelles de cotation sont envisageables...

2. FICHE C : Equipementiers

Réalisé le/...../2004 à.....

Equipementier type: Artisan PME semi-industrielle ou industrielle

Identification du répondant

- Nom&Prénom :
- Profession :
- Responsabilité :
- Profil de formation :
- Coordonnées/Adresse :

Identification de l'entreprise

Nom de l'entreprise/Société et statue juridique :

- Année de création et Domaine d'activité :
- Effectif total du personnel :
- Types de produits fabriqués :
- Organigramme hiérarchique :
- Chiffre d'affaires annuel :
- Coordonnées /Adresse : Code Postale Ville Quartier / secteur
- Tel Fax Email.....

C-1 Quel sont les principaux équipements agroalimentaires que vous fabriquez ?

Désignation et caractéristiques techniques des équipements	Nbre / an	Coût unitaire (Fcfa)
<u>Conçu</u> - -		
<u>Adapté</u> - -		
<u>Reproduit</u> - -		

- Avez-vous une équipe de réalisation de vos équipements ? Oui Non

Fonction occupée	Niveau de formation / années d'expérience	moyens de production
- -		

Comment s'organise la mise au point de vos équipements ?

.....
.....
.....
.....
.....

C-2 *Appréciation de la maintenance dans la conception (Étude de cas d'un équipement)*

Désignation de l'équipement identifié :

Est-ce que la plupart des composants mécaniques sont standards (normalisés) ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	Observations
Connaissez-vous approximativement la durée approximative de démontage et de remontage complet de votre équipement par personne qualifiée ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Connaissez-vous la durée approximative de démontage et de remontage complet de votre équipement par l'opérateur ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	Observations
Avez-vous pensez à faciliter la localisation , le diagnostic ou la détection de certains organes en cas de pannes ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	Observations
Avez-vous pensez à fabriquer des sous-ensembles de composant (module ou bloc) que l'on peut changer en cas de panne dans le but de réduire le temps de réparation ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	Observations
Est-ce que l'on retrouve facilement (disponibilité) sur place la matière première utilisée pour la fabrication de vos pièces ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	Observations
La qualification des opérateurs est-il pris en compte pour la réparation ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	Observations
En cas de panne avez-vous pensez à des centres de proximité pour la réparation ou des services après vente de pièces de rechange ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	Observations
Connaissez-vous approximativement le temps global pour régler votre équipement par exemple sur un produit ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	Observations
La facilitation de la manutention de l'équipement est-t-elle prisent en compte ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	Observations
En cas de panne les utilisateurs peuvent-t-ils trouver à un coût raisonnable (par apport au coût d'acquisition) les pièces de rechange ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> En cas de panne les utilisateurs peuvent-t-ils trouver les pièces de rechange chez des fournisseurs proches de leurs entreprises ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> En cas de panne les utilisateurs peuvent-t-ils trouver avoir les pièces de rechange dans un délais raisonnable ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	Observations

<p>Avez-vous pris en compte d'autres critères pour faciliter la réparation de votre équipement ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui vous pouvez les lister. -</p>	<p>Observations</p>
--	---------------------

- La livraison des équipements est-elle suivie de formation ou de notices d'utilisation et de maintenance? Oui Non
- Connaissez-vous approximativement à l'avance les fréquences de pannes (rupture ou usure) de quelques composants ? Oui Non si oui donnez au moins quatre exemples.

Pièces d'usures/organes	Fréquences de pannes	observations
-		
-		
-		

- Avez-vous un exemple concret d'amélioration déjà réalisé au regard de problèmes de maintenances soulevé par les utilisateurs ou les mainteneurs ?

.....

C-3 Utilisez-vous les pièces de récupérations ? Oui Non Pourquoi ?

.....

C-4 Quelle est la nature des relations (garanties ou contrats) entre vous et vos utilisateurs pour le suivi des équipements sur le terrain? Verbal Ecrit Aucune

C-5 Avez-vous reçu des formations en maintenance ?

Oui Non Si oui par qui ?et sur quel thème..... durée.....

C-6 Quelles sont les zones de diffusion de vos équipements ?

.....

C-7 Comment vivez-vous la concurrence de vos équipements et ceux importés ?

.....

C-8 Que représente pour vous une panne grave ?

.....

Fiche Enquête Complémentaire : Evaluation de critères du niveau de criticité de défaillances d'un équipement ou d'une petite chaîne de transformation

Type: Concepteur Fournisseur Utilisateur

Identification des Acteurs / Entreprise

Répondant

Nom & Prénom :

Profession :

Responsabilité :

Profil de formation :

Coordonnées/Adresse :

Identification de l'entreprise

Nom de l'entreprise/Société et statue juridique :

.....

.....

Année de création:

Domaine d'activité :

.....

Équipement évalué

.....

.....

Que représente la fréquence (F) d'apparition de pannes ?

Valeurs de F	Définition de la fréquence d'apparition d'une défaillance
1	Défaillance pratiquement inexistante veut dire : ↑ Une panne tous les 10 ans ↑ Une panne tous les 5 ans ↑ Autres explications :
2	Défaillance rarement apparue veut dire : ↑ Une panne tous les 2 ans ↑ Une panne par an ↑ Autres explications :
3	Défaillance occasionnellement apparue veut dire : ↑ Une panne par an ↑ Trois pannes par an ↑ Autres explications :
4	Défaillance fréquemment apparue veut dire : ↑ Au moins quatre pannes tous les 3 mois ↑ Au plus six pannes tous les 3 mois ↑ Autres explications :
5	Défaillance très fréquente veut dire : ↑ Au moins deux pannes tous les mois ↑ Au plus huit pannes tous les mois

	↑ Autres explications :
x	Autres propositions
	En moyenne, quel taux de pannes seriez-vous prêts à accepter ? Pourquoi ?

Tableau 1 – Indice de fréquence F

Que représente la gravité (G) d'une défaillance (1) ?

Valeurs de G	Définition de la gravité (G) d'une défaillance (1)
1	<p>Défaillance mineure ou dégradation faible veut dire : ↑ Temps d'interruption inférieur ou égal à 1 heure ↑ Temps d'interruption égal à 4 heures Ou ↑ Quelques défauts non remarquables du produit sans conséquences sur la consommation et la vente ↑ Accident d'un opérateur ne nécessitant pas de soins ↑ Pollution non remarquable et sans dangers pour l'environnement ↑ Autres explications :</p>
2	<p>Défaillance moyenne ou remise en état de courte durée veut dire : ↑ Temps d'interruption d'une demie (1/2) journée ↑ Temps d'interruption d'une (1) journée Ou ↑ Quelques défauts remarquables du produit sans conséquences sur la consommation et la vente ↑ Accident d'un opérateur nécessitant seulement des soins sur place ↑ Pollution remarquable mais sans dangers pour l'environnement considérable ↑ Autres explications :</p>
3	<p>Défaillance majeure nécessitant une intervention de longue durée veut dire : ↑ Temps d'interruption au moins (2) journées ↑ Temps d'interruption au plus quatre (4) jours Ou ↑ Défauts remarquables du produit avec quelques conséquences sur la consommation et la vente ↑ Accident d'un opérateur nécessitant des soins dans un centre hospitalier avec reprise du travail ↑ Pollution remarquable avec quelques dangers pour l'environnement considérable ↑ Autres explications :</p>
4	<p>Défaillance grave nécessitant une grande intervention veut dire : ↑ Temps d'interruption au moins une (1) semaine ↑ Temps d'interruption au plus deux (2) semaines Ou ↑ Défauts remarquables du produit avec conséquences sur la consommation et la vente ↑ Accident d'un opérateur nécessitant des soins urgents avec un repos ↑ Pollution dangereuse pour l'environnement ↑ Autres explications :</p>
5	<p>Défaillance très grave (sécurité/Qualité) veut dire : ↑ Temps d'interruption d'au moins trois (3) semaines ↑ Temps d'interruption de plus de un (1) mois Ou ↑ Défauts remarquables du produit très dangereux pour la consommation ↑ Accident d'un opérateur nécessitant une hospitalisation ↑ Pollution très dangereuse pour l'environnement ↑ Autres explications :</p>
x	Autres propositions ou suggestions.....

--	-------

(1) L'effet de la défaillance s'exprime en termes de durée ou de non-conformité de pièces produites, de sécurité de l'opérateur.

Tableau 2 – Indice de gravité G

Que représente la probabilité de Non-détection de la défaillance (1)

Valeurs de D	Définition de la possibilité de détection (D) d'une défaillance (1)
1	<p>Détection total veut dire :</p> <ul style="list-style-type: none"> ↑ Les dispositions prises assurent une détection complète des défaillances ↑ Les dispositions prises assurent une détection partielle des défaillances ↑ Autres explications :
2	<p>Détection possible veut dire :</p> <ul style="list-style-type: none"> ↑ Il existe au moins un signe avant l'apparition de la défaillance ↑ Il existe des signes avant l'apparition de la défaillance ↑ Autres explications :
3	<p>Détection faible veut dire :</p> <ul style="list-style-type: none"> ↑ La cause et/ou le mode de défaillance sont difficilement décelables ↑ les éléments de détection sont peu exploitables ↑ Autres explications :
4	<p>Détection impossible veut dire :</p> <ul style="list-style-type: none"> ↑ Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise ↑ impossible de prévenir les défaillances ↑ Autres explications :
x	Autres propositions.....

Signes avant-coureurs : bruit, vibration, accélération, jeu anormal, échauffement, visuel...

Tableau 3 – Indice de non-détection D

cotations	Autres indices que ceux de l'AMDEC

Autres indices que ceux de l'AMDEC pourraient être intéressants : à vous de faire des propositions ! ... et de voir si des échelles de cotation sont envisageables...

3. FICHE F : Structures participant à la maintenance

Structure participant type: Artisan PME semi-industrielle ou industrielle

Identification Répondant

- Nom & Prénom : ...
- Profession :
- Responsabilité :
- Profil de formation :
- Coordonnées/Adresse :

Identification de l'entreprise

- Nom de l'entreprise/Société et statue juridique :
- Année de création et Domaine d'activité :
 - Effectif total du personnel :
 - Types de produits fabriqués :
 - Organigramme hiérarchique :
 - Chiffre d'affaires annuel :
 - Coordonnées /Adresse : Code Postale Ville Quartier / secteur.....
- Tel Fax Email.....

P-1 Quel sont les types d'équipements agro alimentaire que vous fournissez?

Désignation équipements	Caractéristiques Technique	Coût TTC (Fcf)
Nous on fabriquent surtout les pièces de rechange pour également les équipements de transformation agro alimentaire : huilerie et autres. Mais l'objectif du PMEA c'est avant tout la réparation du matériel purement agricole.		

P-3 Quelles sont les difficultés liées à la maintenance des équipements fabriqués localement par les entreprises

P-4 Informations sur les pièces de rechange couramment utilisées

Equipement	Pièces de rechange	Origine livraison	Difficultés rencontrées

P-5 Etude de cas d'un équipement : Désignation...

Appréciez les critères de maintenance suivants
Les composants mécaniques sont-ils standards ? (normalisé) Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Est-ce- que le démontage et le remontage de votre équipement sont faciles par les réparateurs ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
La localisation , le diagnostic ou la détection de certains organes sont-ils faciles et rapides en cas de pannes ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Les sous-ensembles de composant (module ou bloc) sont-ils interchangeables en cas de pannes ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui lesquels ?
Est-ce que la matière première utilisée pour la fabrication des pièces défectueuses est coûteuse ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Pourquoi ?..... Est-ce que la matière première utilisée pour la fabrication des pièces défectueuses est disponible sur le marché ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Est-ce que les délais d'acquisition de la matière première utilisée pour la fabrication des pièces défectueuses sont très longs ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si Oui donnez la durée :.....
Le niveau de compétence des réparateurs est –elle prise en compte pour la réparation ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si Oui comment.....
Trouve-t-on à proximités des réparateurs ou des services après vente? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si Non dite à quel distance ?
Est-ce que le temps de réglage global de votre équipement pour un type de produit donné est négligeable ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si Non pourquoi ?
Est-ce que la manutention de l'équipement est-elle prise en compte ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Est-ce que les utilisateurs peuvent-ils trouver (disponibilité) facilement les pièces de rechange ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si Non pourquoi ?
Est-ce que les utilisateurs peuvent-ils acheter facilement les pièces de rechange ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Y'a-t-il des éléments particuliers qui facilitent les réparations de votre équipement ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Si oui les lesquels ? - - -
Est-ce que les réparations font appel à un outillage particulier, limité à quelques outils standard, et si oui lesquels ?
Y a-t-il démontage systématique de la machine avant diagnostic ?
Comment facturez-vous une réparation ? (forfait + pièces de rechange au prix coûtant, uniquement pièces de rechange, pièces +coût proportionnel au temps passé, etc.)

P-6 Que représente une panne grave pour vous ?

.....

.....

Fiche Enquête Complémentaire : Evaluation de critères du niveau de criticité de défaillances d'un équipement ou d'une petite chaîne de transformation

Type: Concepteur Fournisseur Utilisateur

Identification des Acteurs / Entreprise

Répondant

Nom & Prénom :

Profession :

Responsabilité :

Profil de formation :

Coordonnées/Adresse :

Identification de l'entreprise

Nom de l'entreprise/Société et statue juridique :

.....

Année de création:

Domaine d'activité :

.....

Equipement évalué

.....

Que représente la fréquence (F) d'apparition de pannes ?

Valeurs de F	Définition de la fréquence d'apparition d'une défaillance
1	Défaillance pratiquement inexistante veut dire : ↑ Une panne tous les 10 ans ↑ Une panne tous les 5 ans ↑ Autres explications :
2	Défaillance rarement apparue veut dire : ↑ Une panne tous les 2 ans ↑ Une panne par an ↑ Autres explications :
3	Défaillance occasionnellement apparue veut dire : ↑ Une panne par an

	↑ Trois pannes par an ↑ Autres explications :
4	Défaillance fréquemment apparue veut dire : ↑ Au moins quatre pannes tous les 3 mois ↑ Au plus six pannes tous les 3 mois ↑ Autres explications :
5	Défaillance très fréquente veut dire : ↑ Au moins deux pannes tous les mois ↑ Au plus huit pannes tous les mois ↑ Autres explications :
x	Autres propositions En moyenne, quel taux de pannes seriez-vous prêts à accepter ? Pourquoi ?

Tableau 1 – Indice de fréquence F

Que représente la gravité (G) d'une défaillance (1) ?

Valeurs de G	Définition de la gravité (G) d'une défaillance (1)
1	Défaillance mineure ou dégradation faible veut dire : ↑ Temps d'interruption inférieur ou égal à 1 heure ↑ Temps d'interruption égal à 4 heures Ou ↑ Quelques défauts non remarquables du produit sans conséquences sur la consommation et la vente ↑ Accident d'un opérateur ne nécessitant pas de soins ↑ Pollution non remarquable et sans dangers pour l'environnement ↑ Autres explications :
2	Défaillance moyenne ou remise en état de courte durée veut dire : ↑ Temps d'interruption d'une demie (1/2) journée ↑ Temps d'interruption d'une (1) journée Ou ↑ Quelques défauts remarquables du produit sans conséquences sur la consommation et la vente ↑ Accident d'un opérateur nécessitant seulement des soins sur place ↑ Pollution remarquable mais sans dangers pour l'environnement considérable ↑ Autres explications :
3	Défaillance majeure nécessitant une intervention de longue durée veut dire : ↑ Temps d'interruption au moins (2) journées ↑ Temps d'interruption au plus quatre (4) jours Ou ↑ Défauts remarquables du produit avec quelques conséquences sur la consommation et la vente ↑ Accident d'un opérateur nécessitant des soins dans un centre hospitalier avec reprise du travail ↑ Pollution remarquable avec quelques dangers pour l'environnement considérable ↑ Autres explications :
4	Défaillance grave nécessitant une grande intervention veut dire : ↑ Temps d'interruption au moins une (1) semaine ↑ Temps d'interruption au plus deux (2) semaines Ou ↑ Défauts remarquables du produit avec conséquences sur la consommation et la vente

	↑ Accident d'un opérateur nécessitant des soins urgents avec un repos ↑ Pollution dangereuse pour l'environnement ↑ Autres explications :
5	Défaillance très grave (sécurité/Qualité) veut dire : ↑ Temps d'interruption d'au moins trois (3) semaines ↑ Temps d'interruption de plus de un (1) mois Ou ↑ Défauts remarquables du produit très dangereux pour la consommation ↑ Accident d'un opérateur nécessitant une hospitalisation ↑ Pollution très dangereuse pour l'environnement ↑ Autres explications :
x	Autres propositions ou suggestions.....

(1) L'effet de la défaillance s'exprime en termes de durée ou de non-conformité de pièces produites, de sécurité de l'opérateur.

Tableau 2 – Indice de gravité G

Que représente la probabilité de Non-détection de la défaillance (1)

Valeurs de D	Définition de la possibilité de détection (D) d'une défaillance (1)
1	Détection total veut dire : ↑ Les dispositions prises assurent une détection complète des défaillances ↑ Les dispositions prises assurent une détection partielle des défaillances ↑ Autres explications :
2	Détection possible veut dire : ↑ Il existe au moins un signe avant l'apparition de la défaillance ↑ Il existe des signes avant l'apparition de la défaillance ↑ Autres explications :
3	Détection faible veut dire : ↑ La cause et/ou le mode de défaillance sont difficilement décelables ↑ les éléments de détection sont peu exploitables ↑ Autres explications :
4	Détection impossible veut dire : ↑ Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise ↑ impossible de prévenir les défaillances ↑ Autres explications :
x	Autres propositions.....

Tableau 3 – Indice de non-détection D

Signes avant-coureurs : bruit, vibration, accélération, jeu anormal, échauffement, visuel...

cotations	Autres indices que ceux de l'AMDEC

Autres indices que ceux de l'AMDEC pourraient être intéressants : à vous de faire des propositions ! ... et de voir si des échelles de cotation sont envisageables...

V. ANNEXE B : Supports expérimentation AMDEC

1. La presse à graines de coton SOAF

1.1. Analyse Fonctionnelle externe

Eléments du milieu environnant (Interacteurs) :

Séquence : Utilisation

Produit entrant :
Graines de coton non délintées
Disponible en sac,
Produit traité : Huile de coton
Energies disponibles : Electricité 380 V triphasé
Co-produits : Tourteaux
Opérateur
Propriétaire
Lieu d'utilisation : Atelier

Séquence Fabrication-commercialisation et Maintenance

Fabricant et vendeur
Acheteur, futur propriétaire
Moyen de transport : Camion
Matières d'œuvre et composants disponibles
Réparateur
Moyens de réparation : Outils disponible

Représentation du cahier des charges de la presse SOAF (Figure B.1)

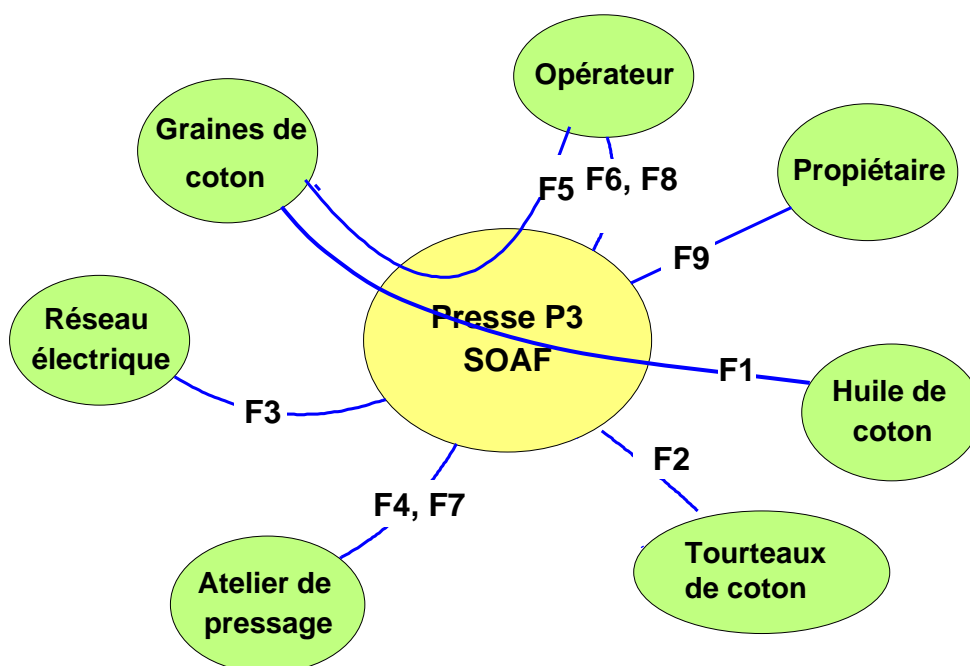


Figure B.1 : Analyse Fonctionnelle externe de la presse SOAF

Caractérisation des fonctions de service

Tab. B1: Cahier des charges des fonctions de service

Fonction	Critère	Niveau
<i>L'équipement doit</i> F1 : transformer les graines de coton en huile	Débit en graines	2 t en 8 h
	Rendement d'extraction	13 %
	Qualité du produit final	????
F2 : évacuer le tourteau	Hauteur de la sortie	0,6 m du sol
F3 : utiliser les énergies disponibles	Niveau de puissance disponible	?? kW électrique triphasé
F4 : résister à l'environnement et à l'utilisation	Durée de bon fonctionnement	?? jours
F5 : permettre à l'opérateur de charger les graines	Hauteur de chargement	1,2 m
	Capacité de stockage	40 kg
F6 : être d'un entretien courant facile par l'opérateur	Utilisation d'outils standard	Clefs 13, 17, 19,
	Niveau de compétences requis	Niveau ouvrier
	Durée du nettoyage	15 min
F7 : s'intégrer dans le lieu d'utilisation	Niveau de bruit accepté	
	Surface au sol	
F8 : permettre à l'opérateur d'effectuer le pilotage du procédé	Type de commande	
	Facilité de pilotage	
F9 : être rentable pour le propriétaire	Prix d'achat de l'équipement	2,3 millions de CFA
	Coût de fonctionnement	
F10 : requérir les matières d'oeuvre disponibles localement	Voir MO disponibles	
F11 : être transportable dans un camion de type	Poids	
	Encombrement	
F12 : être réalisable dans l'atelier du fabricant	Opérations de fabrication maîtrisées par le fabricant	
F13 : être réparable par le réparateur à un coût accessible pour l'utilisateur	Voir composants disponibles	
	Voir outils disponibles	
	Coût de réparation	?? FCFA

1.2. Analyse Fonctionnelle interne

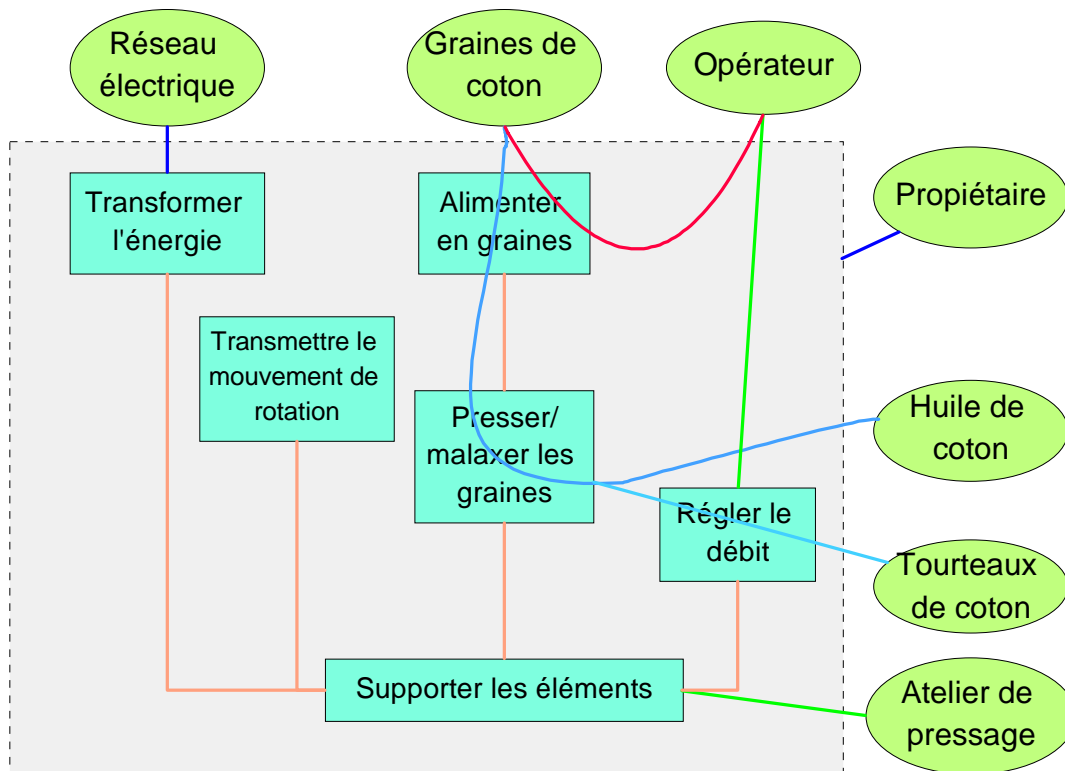


Fig. B.2 : Bloc diagramme de la presse SOAF

2. Grilles de cotation AMDEC

Tableau B. 2 : Grille de cotation de l'indice F (Fréquence des défaillances)

Indice de fréquence F		
Cotation	Fréquence d'apparition de la défaillance	Définitions
1	Défaillance rarement apparue	Défaillance qui apparaît tous les 6 mois ou plus souvent.
2	Défaillance moyenne	Défaillance qui apparaît entre 15 jours et 6 mois
3	Défaillance fréquemment apparue	Défaillance qui apparaît entre 5 jours et 14 jours
4	Défaillance très fréquente	Défaillance qui apparaît au moins tous les 4 jours

Tableau B. 3 : Grille de cotation de l'indice G (Gravité)

Indice de gravité G		
Cotation	Gravité de la défaillance (indice G)	Définitions
1	Défaillance mineure	Temps d'arrêt de moins de 2 heures
2	Défaillance moyenne	Temps d'arrêt de 2 heures à une journée
3	Défaillance grave	Temps d'arrêt de plus d'une journée à 1 mois
4	Défaillance très grave	Temps d'arrêt supérieur à 1 mois ou équipements hors d'usage sans possibilité de réparation

Tableau B. 4 : Grille de cotation de l'indice D (Non-Détection)

Indice de Détection D		
Cotation	Possibilité de détection d'une défaillance	Définitions
1	Détection possible	Il existe au moins un signe qui indique l'apparition d'une défaillance
2	Détection faible	La défaillance est difficilement décelable
3	Détection impossible	Rien ne permet de détecter la défaillance avant que l'effet ne se produise, il est impossible de prévenir les défaillances

VI. ANNEXE C : Fiches d'enquêtes identification réseau

1. FICHE U : Utilisateurs

Réalisé le/...../2006 à.....

Utilisateurs type : Micro entreprise PME semi-industrielle ou industrielle

Identification Répondant

- Nom & Prénom :
- Profession :
- Responsabilité :
- Profil de formation :
- Coordonnées/Adresse :

Identification de l'entreprise

- Nom de l'entreprise/Société et statue juridique :
- Année de création et Domaine d'activité :
 - Effectif total du personnel :
 - Types de produits fabriqués :
 - Organigramme hiérarchique :
 - Chiffre d'affaires annuel :
 - Coordonnées /Adresse : Code Postale Ville Quartier / secteur.....
- Tel Fax Email.....

Quels sont les principaux équipements Agro alimentaire utilisés ?

Nbre	<ul style="list-style-type: none"> • Identification des équipements (model, l'année d'acquisition, marque et origine de fabrication) • Description des principes technique et solutions technologiques 	<ul style="list-style-type: none"> • L'énergie utilisée ; • Temps d'utilisation moyenne/jour ; • Capacité de production coût d'achat.

Organisation de la maintenance dans votre PME

Nbre	Qualification du personnel / opérateurs en charge de la maintenance	Niveau de formation	Salaire approximatif

Comment assurez-vous la maintenance des équipements dans votre entreprise en cas de panne ?

(Maintenance systématique).....

Que représente une panne grave pour vous ?

Avez-vous des stocks de pièces de rechange ? Oui Non si oui lesquelles ?

Analyse des pannes cas d'un équipement :

Description de la défaillance (organe et mode de défaillance)	Fréquence	Durée d'approvisionnement	Coût réparation (Fcfa)		Perte production / unité de temps évalué en coût (Fcfa)
			Interventions	Organe	

Est-ce que vous assurez vous-même un certain nombre de réparation ? Si oui lesquelles et comment (matière d'oeuvre, fabrication pièce etc...)?

Quelles sont les pannes que vous ne pouvez pas réparer ? Pourquoi ?

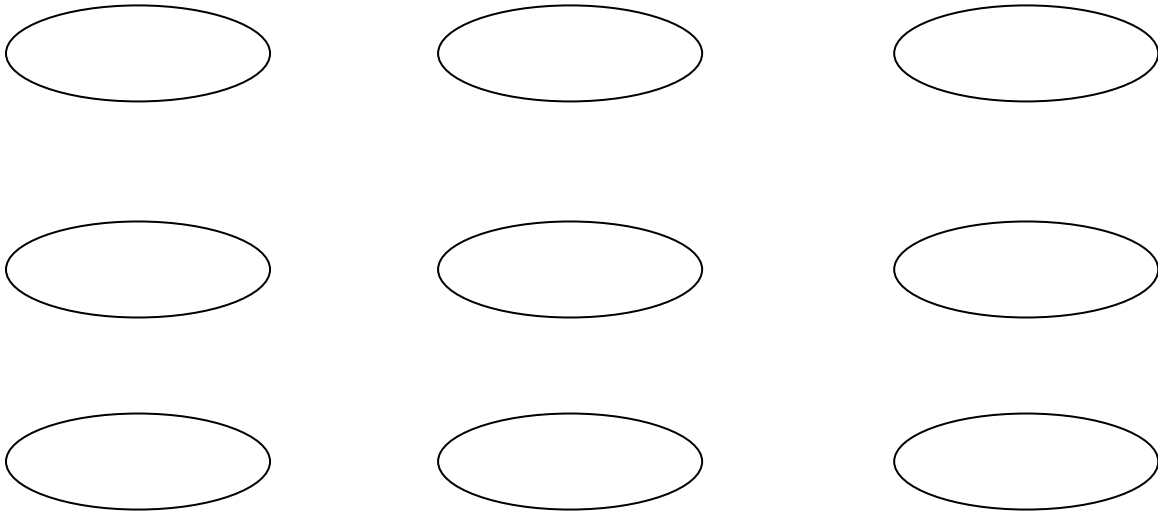
Qu'est-ce qui vous faciliterai la réparation par vous-même ?

Décrivez les circuits d'approvisionnement des pièces défectueuses et de réparation des défaillances citées ci-dessus en donnant principalement les informations sur :

- les acteurs qui participent à la maintenance et les durées ou trajets liés à vos différents déplacements.

- les objets déplacer et qui sert pour communiquer et les moyens de déplacement utiliser.

- Tracé du réseau d'acteur de maintenance



Y a-t-il des pièces que vous aimeriez protéger contre l'usure ? Si oui lesquelles et dites pourquoi et comment ?

.....

Avez-vous des difficultés pour remonter certaines pièces à leurs positions initiales ? Si oui lesquelles et dites pourquoi ?

.....

Y a-t-il des pannes que vous aimeriez éviter pendant la surveillance de vos équipements ? Si oui lesquelles et dites comment ?

.....

Remplir les tableaux :

Tableau 1

Délais d'approvisionnement (Da)	Définitions
Pas de délais d'approvisionnement	<i>Exemple : 1 à 4 Heures</i>
Délais d'approvisionnement pas long
Délais d'approvisionnement long

Tableau 2

Coût de pièces de rechange (Cp)	Définitions
Pièce pas chère	<i>Exemple : Montant inférieur à 10000 FCFA</i>
Pièce moyennement chère
Pièce très chère

Tableau 3

Durée de vie (Dv)	Définitions
Dv long	<i>Exemple : Un mois et demis à trois mois</i>
Dv moyenne
Dv faible

2. FICHE C : Equipementiers

Réalisé le/...../2006 à.....

Equipementier type: Artisan PME semi-industrielle ou industrielle

Identification du répondant

- Nom & Prénom :
- Profession :
- Responsabilité :
- Profil de formation :
- Coordonnées/Adresse :

Identification de l'entreprise

Nom de l'entreprise/Société et statue juridique :

- Année de création et Domaine d'activité :
- Effectif total du personnel :
- Types de produits fabriqués :
- Organigramme hiérarchique :
- Chiffre d'affaires annuel :

- Coordonnées /Adresse : Code Postale Ville Quartier / secteur.....

Tel Fax Email.....

Quel sont les principaux équipements agroalimentaires que vous fabriquez ?

Désignation et caractéristiques techniques des équipements	Nbre / an	Coût unitaire (Fcfa)

- Avez-vous une équipe de réalisation de vos équipements ? Oui Non

Fonction	Niveau de formation, années d'expérience/compétence	Décrire les moyens de production

Comment s'organise la mise au point de vos équipements ?

.....

<p>En cas de panne les utilisateurs peuvent-ils trouver à un coût raisonnable (par apport au coût d'acquisition) les pièces de rechange ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/></p> <p>En cas de panne les utilisateurs peuvent-ils trouver les pièces de rechange chez des fournisseurs proches de leurs entreprises ? Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/></p>	Observations
---	--------------

En cas de panne les utilisateurs peuvent-ils trouver avoir les pièces de rechange dans un délais raisonnable ?
Oui Non

- La livraison des équipements est-elle suivie de formation ou de notices d'utilisation et de maintenance?
Oui Non
- Connaissez-vous approximativement à l'avance les fréquences de pannes (rupture ou usure) de quelques composants ? Oui Non si oui donnez au moins quatre exemples.
- Avez-vous un exemple concret d'amélioration déjà réalisé au regard de problème de maintenance soulevé par les utilisateurs ou les mainteneurs ?

.....
.....

C-3 Utilisez-vous les pièces de récupérations ? Oui Non Pourquoi ?

.....
Quelles sont les côtes difficiles à réaliser ? Pourquoi ?

.....
Quelles sont les formes de pièces impossibles ou difficiles à réaliser ? Pourquoi ?

.....
Quels sont les matériaux et composants que vous utiliser le plus ? Pourquoi ?

.....
Pouvez-vous donner des exemples d'une pièce qui coûte chère et celles qui coûtent moins chère ? Si oui pourquoi ?

.....
Y a-t-il des matériaux impossibles à trouver sur place ? Quelles sont les pièces difficiles à reproduire ?

.....
Quelles sont vos sources d'approvisionnement ?

.....
Donner vos coûts horaires de fabrication des pièces en fonction des modes de fabrication (opérations élémentaires avec ou sans précision).

.....

3. FICHE F : Structures participant à la maintenance

Structure participant type: Artisan PME semi-industrielle ou industrielle

Identification Répondant

- Nom & Prénom : ...
- Profession :
- Responsabilité :
- Profil de formation :
- Coordonnées/Adresse :

Identification de l'entreprise

- Nom de l'entreprise/Société et statue juridique :
- Année de création et Domaine d'activité :
 - Effectif total du personnel :
 - Types de produits fabriqués :
 - Organigramme hiérarchique :
 - Chiffre d'affaires annuel :
 - Coordonnées /Adresse : Code Postale Ville Quartier / secteur.....
 - Tel Fax Email.....

Quels sont les types d'équipements agro alimentaire que vous fournissez?

Désignation équipements	Caractéristiques Technique	Coût TTC (Fcfa)

Quelles sont les difficultés liées à la maintenance des équipements fabriqués localement par les entreprises

Informations sur les pièces de rechange couramment utilisées

Equipement	Pièces de rechange	Origine livraison	Difficultés rencontrées

Y'a-t-il des éléments particuliers qui facilitent les réparations de votre équipement ? Oui Non
 Si oui les lesquels ?

-
-

Est-ce que les réparations font appel à un outillage particulier, limité à quelques outils standard, et si oui lesquels ?

.....

Y a-t-il démontage systématique de la machine avant diagnostic ?

.....

Comment facturez-vous une réparation ? (forfait + pièces de rechange au prix coûtant, uniquement pièces de rechange, pièces +coût proportionnel au temps passé, etc.)

.....

Donner la liste des composants les plus achetés pour la réparation des équipements de transformation ?

.....

Donner la liste des matériaux qui s'achète le moins.

.....

Les matériaux de récupérations les plus vendues et les moins vendues ? Pourquoi ?

.....

Quelles sont vos sources d'approvisionnement ?

.....

Quels sont les Dv et prix ?

Prise en compte du réseau sociotechnique de maintenance dans la conception d'équipements : cas des petites unités de transformation agroalimentaire des Pays d'Afrique de l'Ouest

Résumé :

Pour fournir des équipements aux transformateurs agroalimentaires des Pays Ouest Africains (PAO), il est indispensable compte tenu des spécificités du contexte socio-technique et économique de prendre en compte leur maintenance dès les phases de conception. Une proposition a été élaborée en partant de concepts issus du génie industriel développés dans les pays du Nord, d'une analyse des pratiques traditionnelles de maintenance dans les petites unités de transformation agroalimentaire du Burkina Faso et de l'expérimentation d'un outil d'intégration de la maintenance par une équipe locale regroupant des concepteurs, des utilisateurs et des acteurs de la maintenance.

Pour répondre à cet objectif, nous proposons trois outils et une démarche. Les outils sont : un modèle d'analyse et de représentation de réseau de maintenance existant, un cahier des charges permettant une capitalisation des données techniques et un ensemble de règles de conception orientées maintenance dans la lignée des outils du DFX. La démarche de conception orientée maintenance dans les PAO permet la mise en oeuvre de ces trois outils par une équipe pluricompetences.

L'expérimentation au Bénin par une équipe locale de conception d'une partie de la proposition a montré son applicabilité.

Mots-clés : Afrique de l'Ouest, Conception, Équipement agroalimentaire, Intégration de la maintenance, Règles de conception, Réseau de maintenance.

Taking maintenance sociotechnique network into account of the equipment design: case of the small scale units food processing of the Western African Countries

Abstract :

To provide food equipment to users of Western African Countries (WAC) it is required to take into account, since the phases of design, maintenance aspects as a function of specificities of the socio-technical and economic context of these countries. The proposal was elaborated using concepts from the industrial engineering developed in North-eastern countries, analysis of the traditional practices of maintenance in the food processing small scale units of Burkina Faso, and experimentation of a tool for integration of maintenance by a local team made up of designers, users and actors of maintenance.

For this purpose, three tools and one approach have been proposed. The tools are: a model of analysis and representation of existing maintenance network, a specification document allowing capitalization of technical data and a set of design rules oriented maintenance as DFX tools. The approach of design oriented maintenance in the WAC allows the use of these three tools by a multi-competences team. The experimentation in Benin by a local design team showed the applicability of these tools.

Keywords : West Africa, Design, equipment of food processing, Integration of maintenance, Rules of design, socio-technical maintenance Network