

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

Université BATNA 2
Faculté de Technologie
Département Génie Industriel

THÈSE



Présentée au Laboratoire d'Automatique et Productique
pour l'obtention du grade de



Doctorat Troisième Cycle

Spécialité : Génie Industriel

Option : Informatique Industrielle et Productique

Présentée par :

Khadija ABID

Master en Informatique : option Intelligence Artificielle

le 19/01/2017

Titre

**UNE APPROCHE À BASE D'AGENT MOBILE POUR UNE
M-MAINTENANCE INDUSTRIELLE**

Directeurs de thèse :

Pr. Leila-Hayet MOUSS et Pr. Okba KAZAR

JURY :

| | | |
|---------------|----------------------|--|
| Président | Mohamed Djamel MOUSS | Professeur À l'université de Batna2 |
| Examineur | Noureddine ZERHOUNI | Professeur À l'université de Besançon |
| Examineur | Mohammed BENMOHAMMED | Professeur À l'université de Constantine |
| Rapporteur | Leila-Hayet MOUSS | Professeur À l'université de Batna2 |
| Co-Rapporteur | Okba KAZAR | Professeur À l'université de Biskra |
| Invité | Laid KAHLOUL | M de conférence À l'université de Biskra |

2016-2017

Remerciements

Je remercie tout d'abord ALLAH le tout puissant, qui m'a donné la santé, le courage et la patience pour mener ce projet de doctorat.

Je suis très heureuse d'écrire ces remerciements à l'aboutissement de plusieurs années de travail, de patience et persévérance. Cet aboutissement que j'avais toujours rêvé depuis mon enfance. Durant toutes ces années, j'ai été assistée et conseillée par plusieurs personnes, auxquelles je dois leur adresser mes plus sincères remerciements.

C'est au professeur Leila Hayet MOUSS, directrice du LAP (Laboratoire d'Automatique et Productique) et directrice de ma thèse que je présente mes remerciements et mes sincères gratitude et reconnaissances pour ses multiples conseils et son attention qui m'a guidé à mener au mieux mon travail. Aussi, j'exprime toute ma reconnaissance à celui qui m'a initié à la recherche dans un domaine qui m'a toujours motivé, lui qui m'a encouragé de continuer par sa présence, le professeur Okba KAZAR. Je tiens à remercier aussi le Dr. Laid KAHLOUL, maître de conférences à l'université de Biskra, pour ses conseils, ses orientations et sa disponibilité permanente.

Je remercie également les membres du jury, Pr. Mohamed Djamel MOUSS, d'avoir acceptée de présider le jury de soutenance et pour l'intérêt qu'elle a bien voulu porter. Mes remerciements s'adressent également aux professeurs Nouredine ZERHOUNI de l'université de Besançon, ainsi qu'à Mohammed BENMOHAMMED de l'université de Constantine, pour avoir accepté de prendre part au jury.

Mes remerciements ne seront jamais suffisants à la personne qui a marqué un grand changement dans ma vie et qui m'a toujours encouragé, mon oncle Hasssan MOKHTARI.

J'exprime aussi mes sincères remerciements aux membres du laboratoire DISP à Lyon2. Je remercie Aicha SEKHARI de m'avoir accueilli au sein de son équipe. Également, je remercie Ikkal MANSOUR et Chantal BONNER CHERIFI pour leurs aides et leurs conseils.

Par ailleurs, je témoigne toute ma reconnaissance à Mlle REZKI Nafissa et au Dr. HAMIDA Souraya. Elles sont derrière tous mes progrès et mon avancement dans mon travail de thèse. Sans oublier Dr. REZGUI Wail.

Je voudrais également remercier mes amies : Hadjer LAGHBECH, Samah BEN MERBI, Ahlem BENTRAH, Nour BENALYA, Massouda LAHRACH et Meriem LAMOURI. Enfin mes remerciements vont également aux équipes de N'gaous conserve et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

MERCI À TOUS

Dédicaces

À mes très chers parents pour leur soutien et leur encouragement. Ils étaient toujours la flamme qui m'a guidé vers le progrès et la réussite.

À mon cher mari pour sa patience et sa compréhension

À ma chère et unique soeur

À mes adorables frères

À mon fils Amine

À ma famille

À toutes mes amies

Je dédie avec amour ce modeste travail.

Pensées

« Et au dessus de tout homme détenant la science il y a un savant [plus docte que lui]»

Saint Quran [12.76]

« Aucun théorème ne devrait être nouveau si dans sa démonstration n'intervenait un axiome nouveau ; le raisonnement ne pourrait nous rendre que les vérités immédiatement évidentes empruntées à l'intuition directe»

Henri Poincaré

« La science est toujours utile, on ne perd pas le temps employé à l'acquérir»

Proverbe chinois

« Appliquez vous à la recherche de la science, depuis le berceau jusqu' à la mort »

Prophète Mohamed S

ملخص

يحاول بحثنا إستغلال التطورات في مجال تكنولوجيا المعلومات والاتصالات من أجل التعامل مع التعقيد المتزايد للمعدات الصناعية. ولهذا نخطط لمواجهة مشكلة الصيانة عن طريق السماح للشركات الصناعية للحد من الوقت الضائع للمعدات والتكاليف المترتبة على ذلك.

من خلال هذا البحث، هدفنا هو توفير برنامجا يسمح للخبراء الحصول على المعلومات في وقت فعلي وعن بعد. وبالتالي، موضوع بحثنا موجود في تقاطع محورين. المحور الأول، يعامل قضايا الصيانة عن بعد. هذا النوع من الصيانة يحاول الاستفادة من تكنولوجيا المعلومات والاتصالات و يحاول إدماجها في عملية الصيانة للحد من تعطل المعدات. في حين أن المحور الثاني يدور حول وجود الذكاء الاصطناعي في المجال الصناعي. تحقيقا لهذه الغاية، نقترح نهجا للصيانة عن بعد يعتمد على تكنولوجيا الوكيل المتنقل والأجهزة النقالة.

في هذا السياق، تقدم أطروحتنا المبادئ الأساسية لنمذجة وتصميم النظام المقترح. استخدمنا لهذا أدوات النمذجة الشبه الرسمية و الرسمية لتقديم وصفا مفصلا لنهجنا. ويستند نهجنا في تصميم وهندسة برمجيات مفتوحة لدمج العديد من التطبيقات. لذلك، اخترنا العمارة متعددة الطبقات. لسهولة تكيفها مع السلوك العام طبقا لطلب مستخدميها.

الكلمات المفتاحية: الصيانة الصناعية، الذكاء الاصطناعي، تكنولوجيا المعلومات والاتصالات، الصيانة عن بعد، الهندسة متعددة الطبقات، العميل المحمول، والنمذجة الرسمية

Abstract

Our research tries to exploit the evolution of Information and Communication Technologies (ICT) in order to cope with the increasing complexity of industrial equipment. We plan well to meet the maintenance problem by allowing industrial companies to reduce inactive time of their equipment and the costs involved.

Our goal is to provide a platform that allows experts to be informed in real time remotely. Therefore, our background investigation is in an area mainly involving two research areas. The first axis treats industrial maintenance issues remotely. This takes advantage of ICT and its integration in a maintenance process to reduce equipment downtime. While the second axis, revolves around the presence of the Artificial Intelligence (AI) in the industrial field. To this end, we propose a mobile maintenance approach (M-Maintenance) based on mobile agent technology and mobile devices. In this perspective our thesis presents the basic principles of modeling and design of the proposed system. Semi-formal and formal modeling tools were used to provide a detailed description of our approach.

Our approach is based on the design of open software architecture for integrating several environmental applications. Therefore, we chose the n-tier architecture. It offers easy adjustment that fits the overall behavior of the environment as required by its users.

Keywords : *industrial maintenance, artificial intelligence, ICT, M-maintenance, n-tier architecture, mobile agent technology, formal modeling.*

Résumé

Notre travail de recherche tente d'exploiter les évolutions des Technologies de l'Information et de la Communication (TIC) afin de faire face à la complexité croissante des équipements industriels. Nous envisageons ainsi de répondre à la problématique de maintenance, permettant aux entreprises industrielles de réduire les délais d'inactivité de leurs équipements ainsi que les coûts engendrés.

Notre objectif est de fournir une plateforme qui permet aux experts d'être informés à distance en temps réel. Par conséquent, notre contexte d'investigation s'inscrit dans un domaine impliquant principalement deux axes de recherches : le premier axe, traite la problématique de maintenance industrielle à distance. Ce dernier tire profit des TIC et leur intégration dans un processus de maintenance dans le but de réduire les temps d'arrêt des équipements. Le deuxième axe tourne autour de la présence de l'Intelligence Artificielle (IA) dans le domaine industriel. A cet effet, nous proposons une approche de maintenance mobile (M-Maintenance) basée sur la technologie agent mobile et les dispositifs mobiles.

Dans cette perspective, notre thèse présente les principes de base de modélisation et de conception du système proposé. Les outils de modélisation semi-formelle et formelle ont été utilisés afin d'offrir une description détaillée de notre approche.

Notre démarche repose sur la conception d'une architecture logicielle ouverte pour un environnement intégrant plusieurs applications. Par conséquent, nous avons adopté l'architecture n-tiers. Elle offre un ajustement facile qui s'adapte au comportement global de l'environnement conformément aux exigences de ses usagers.

Mots clés : *maintenance industrielle, IA, TIC, M-maintenance, architecture n-tiers, technologie agent mobile, modélisation formelle.*

Liste des abréviations

| | |
|---------------|---|
| AFNOR | Association Française de NORmalisation |
| API | Application Programming Interface |
| GMAO | Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur |
| IA | Intelligence Artificielle |
| TIC | Technologies d'Information et de Communication |
| RdP | Réseau de Pétri |
| SMA | Système Multi Agent |
| VI | Virtual Instrument |
| EMC | Embedded Markov Chain |
| REMC | Reduced Embedded Markov Chain |
| CBM | Condition Based Maintenance |
| RdPSG | Réseaux de Pétri Stochastiques Généralisés |
| RdPS | Réseaux de Pétri Stochastiques |
| RON | Reconfigurable Object Nets |
| CMI | Chaines de Markov Immergée |
| CMIR | Chaines de Markov Immergée Réduite |
| UML | Unified Modeling Language |
| MA-UML | Mobile Agent - Unified Modeling Language |

Publications

1. Khadija Abid, L. Hayet Mouss, Okba Kazar and L.Kahloul. Formal Specification of a Mobile Agent Based Maintenance for Manufacturing Systems. International Journal of Critical Computer-Based Systems. In press
2. Khadija Abid, Ikkal Arab Mansour, Chantal Bonner-Cherifi, L. Hayet Mouss, Okba Kazar. M-Maintenance Approach Based on Mobile Agent Technology. International Journal of Operations and Quantitative Management. Vol. 23 No. 1 (2017).
3. Khadija Abid, L. Hayet Mouss, Okba Kazar and L.Kahloul. A Novel Approach for Mobile Maintenance Using Mobile Agents Technology and Mobile Devices. Journal of Advanced Manufacturing Systems. Vol. 14, No. 2 (2015) 55-74.
4. Khadija Abid, L.Kahloul, L. Hayet Mouss, and Okba Kazar. Formal Specification of a Mobile Agent Based Maintenance for Manufacturing Systems. 7th International Workshop on Verification and Evaluation of Computer and Communication Systems Florence, Italy November 21-22, 2013. Best paper award
5. Rezki Nafissa, Mouss L. Hayet, Kazar Okba et Khadija Abid : Multi-agent system for joint product quality control and machine maintenance. In International Conference on Systems and Information (ICSIP), University of Guelma, Algeria, May 12-14, 2013.
6. Khadija Abid, L.Hayet MOUSS, Okba KAZAR , Laid KAHLOUL, Nafissa REZKI, Designing a mobile agent based M-maintenance : Formal modelling and simulation, Troisième conférence internationale sur l'ingénierie industrielle et Productique ICIEM'2014, Mai 2014, Université de Batna, Algérie.
7. BOUHAFNA Khirddine, Khadija Abid, MOUSS L.Hayet, REZKI Nafissa, Modélisation d'une chaîne de production : MaSE et SMA, Troisième conférence internationale sur l'ingénierie industrielle et Productique ICIEM'2014, Mai 2014, Université de Batna, Algérie.
8. Khadija Abid, L. Hayet Mouss, and Okba Kazar. Maintenance mobile : État de l'art et perspectives Journées Doctorales en Informatique (JDI'2012), 18-19 Novembre 2012 à l'Université 8 May Guelma.

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Introduction générale | 1 |
| A. Contexte | 1 |
| B. Objectif et motivations | 1 |
| C. Démarche et organisation des travaux | 1 |
| I Notions générales | 4 |
| I.1 Introduction | 4 |
| I.2 La fonction de maintenance | 5 |
| I.2.1 Définition de la fonction maintenance | 5 |
| I.2.2 Rôle de la maintenance | 5 |
| I.2.3 Politiques de maintenance | 6 |
| I.2.4 Les stratégies de maintenance | 10 |
| I.2.5 Les fonctions de maintenance | 12 |
| I.2.6 Internalisation-externalisation de la maintenance | 13 |
| I.3 Enjeux actuels de la maintenance | 13 |
| I.3.1 Nouveaux besoins de la maintenance | 13 |
| I.3.2 Évolution de la maintenance | 14 |
| I.4 Processus général de M-maintenance | 17 |
| I.5 Technologies d'information et de communication | 19 |
| I.5.1 Définition des technologies d'information et de communication | 19 |
| I.5.2 Effets des technologies d'information et de communication | 20 |
| I.6 Impact et intégration des TIC dans la maintenance industrielle | 22 |
| I.7 Le choix de maintenance prédictive | 23 |
| I.8 Conclusion | 27 |
| II Contexte et problématique | 28 |
| II.1 Introduction | 28 |

| | |
|---|-----------|
| II.2 Intelligence Artificielle | 29 |
| II.2.1 Intelligence Artificielle distribuée & systèmes multi agent | 29 |
| II.2.2 Agent mobile | 34 |
| II.3 Impact de l'IA dans l'industrie et la maintenance industrielle | 36 |
| II.4 L'apport de la technologie agent à l'industrie | 41 |
| II.5 Les TIC et la maintenance industrielle | 45 |
| II.6 La technologie agent et la m-maintenance | 50 |
| II.7 Synthèse | 55 |
| II.8 Conclusion | 57 |
| III Développement et modélisation d'une approche de m-maintenance | 58 |
| III.1 Introduction | 58 |
| III.2 Méthodologie adoptée | 59 |
| III.3 Architecture de m-maintenance proposée | 61 |
| III.3.1 Structure générale | 61 |
| III.3.2 Conception détaillée de l'approche | 62 |
| III.4 Structure interne des agents | 65 |
| III.4.1 Architecture de l'Agent Interface | 65 |
| III.4.2 Architecture de l'Agent Administrateur Mobile | 66 |
| III.4.3 Architecture de l'Agent Collecteur Mobile | 67 |
| III.4.4 Architecture de l'Agent Analyseur Mobile | 67 |
| III.4.5 Architecture de l'Agent Diagnostic Mobile | 68 |
| III.5 Modélisation formelle des agents du système | 69 |
| III.5.1 Modélisation semi-formelle | 69 |
| III.5.2 Les réseaux de Pétri reconfigurable | 72 |
| III.6 Conclusion | 77 |
| IV Implémentation de M(AM)² à un système agroalimentaire | 79 |
| IV.1 Introduction | 79 |
| IV.2 Unité de production | 80 |
| IV.2.1 Présentation de N'gaous-conserved | 80 |
| IV.2.2 Présentation de la chaîne de production | 81 |
| IV.3 Pasteurisation | 82 |
| IV.3.1 Processus de pasteurisation | 83 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|-------------|
| IV.3.2 Paramètres de pasteurisation | 83 |
| IV.4 Modélisation et analyse formelle de la chaine de production | 85 |
| IV.4.1 Modélisation de la chaine de production | 85 |
| IV.5 Implémentation du cas d'étude | 91 |
| IV.5.1 Machine de pasteurisation | 91 |
| IV.5.2 Les agents du système | 94 |
| IV.6 Conclusion | 96 |
| Conclusion générale & perspectives | 98 |
| A. Synthèse bibliographique | 98 |
| B. Modélisation de la problématique | 98 |
| C. Perspectives de recherche | 98 |
| I Services web | I |
| II Les réseaux de Pétri | V |
| III LabVIEW | IX |
| Bibliographie | XIII |

Liste des figures

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Démarche et organisation des travaux | 2 |
| I.1 | Différentes politiques de maintenance [6] | 6 |
| I.2 | Étape de maintenance prédictive | 8 |
| I.3 | Méthode CCEB [33] | 9 |
| I.4 | Méthode FCPB [33] | 10 |
| I.5 | Fonction de maintenance [19] | 12 |
| I.6 | Architecture de m-maintenance | 15 |
| I.7 | Organisation des systèmes de maintenance [10] | 16 |
| I.8 | Nouvelle organisation des systèmes de m-maintenance | 17 |
| I.9 | Processus de m-maintenance | 18 |
| I.10 | Pénétration des téléphones intelligents et ordinateurs de poche | 20 |
| I.11 | Maintenance prédictive et proactive sous Matlab | 24 |
| I.12 | Maintenance prédictive sous Matlab | 25 |
| I.13 | Temps de bon fonctionnement selon la maintenance adopté | 26 |
| II.1 | Contexte de l'IAD | 30 |
| II.2 | Illustration des SMA | 31 |
| II.3 | Taxonomie de l'IAD [14] | 32 |
| II.4 | Structure interne de l'agent mobile [60] | 35 |
| II.5 | Tendance du volume des ventes accumulé à un point de transition du produit [31] | 37 |
| II.6 | COndition-Monitoring Multi-Agent System (COMMAS)[42] | 42 |
| II.7 | Architecture du système proposé [49] | 43 |
| II.8 | Architecture de maintenance à distance à travers internet [62] | 47 |
| II.9 | Architecture de la plateforme PORTEUS | 48 |
| II.10 | Architecture mobile e-maintenance [13] | 52 |
| II.11 | Architecture hiérarchique à deux couches pour une maintenance intelligente [60] | 54 |

| | | |
|--------|--|----|
| III.1 | Architecture n-tiers | 60 |
| III.2 | Structure générale d'un système de m-maintenance | 62 |
| III.3 | Architecture de notre système de m-maintenance | 63 |
| III.4 | Maintenance prédictive & agents mobiles | 64 |
| III.5 | Architecture interne de l'agent interface | 66 |
| III.6 | Architecture interne de l'agent administrateur | 66 |
| III.7 | Architecture interne de l'agent collecteur | 67 |
| III.8 | Architecture interne de l'agent analyseur | 68 |
| III.9 | Architecture interne de l'agent diagnostic | 69 |
| III.10 | Diagramme de classe des agents mobile | 70 |
| III.11 | Diagramme de séquence des agents | 71 |
| III.12 | Réseau de Pétri de l'agent administrateur [32] | 72 |
| III.13 | Réseaux de Pétri des agents collecteur et analyseur [32] | 73 |
| III.14 | Réseaux de Pétri des agents diagnostic et interface | 74 |
| III.15 | Communication entre les agents | 75 |
| III.16 | Les agents sous l'éditeur RON [32] | 76 |
| III.17 | RdP des places règles (Règle 3,4 de la figure 15) [32] | 77 |
| IV.1 | Représentation de la chaine de production | 82 |
| IV.2 | La chaine de production sous ORIS | 86 |
| IV.3 | Les CMI pour les machines étudiées | 88 |
| IV.4 | Le modèle des chaines de Markov immergé réduit | 90 |
| IV.5 | VI de la machine de pasteurisation | 92 |
| IV.6 | Remplissage des réservoirs d'eau séquentiellement | 93 |
| IV.7 | Changement de température après remplissage | 93 |
| IV.8 | Graphe déroulant sur l'état du système | 94 |
| IV.9 | Agent interface sous Android | 95 |
| IV.10 | Activation de l'agent administrateur | 96 |
| IV.11 | Création et envoi de l'agent collecteur | 96 |
| 12 | Service : boucle d'interactions entre demandeur et fournisseur de service [50] | II |
| 13 | Logo de LabVIEW | X |
| 14 | L'outil de manipulation des bases de données | XI |
| 15 | Sauvegarde des données sous Microsoft Access | XI |

Liste des tableaux

| | | |
|-------|---|-----|
| I.1 | Classification des effets des TIC au sein d'une organisation [10] | 21 |
| I.2 | Résumé bibliographique de présence des TIC dans la maintenance | 23 |
| II.1 | Travaux utilisant la technologie agent dans l'industrie | 46 |
| II.2 | Présence des TIC dans la maintenance industrielle | 51 |
| III.1 | Les principaux domaines des styles architecturaux | 59 |
| IV.1 | Opérations de pasteurisation | 83 |
| IV.2 | Paramètres du processus de pasteurisation | 84 |
| IV.3 | Interprétation des places du RdP | 87 |
| IV.4 | Interprétation des transitions du modèle | 87 |
| 5 | Interprétation de la figure IV.11 | XII |

Introduction générale

A. Contexte

Les modes de travail des entreprises ont évolué vers de nouvelles notions d'e-service et d'organisation distribuée depuis l'avènement des TIC. L'apparition de ces derniers, a motivé les entreprises industrielles à profiter de leurs avantages afin d'accélérer les interventions sur les sites géographiquement distribués et de réduire le temps d'inactivité des équipements. Leur emploi dans le monde industriel vise aussi à améliorer la performance des systèmes en contribuant à la communication et à l'accès aux informations. Ce qui a permis d'envisager une maintenance à distance sans disposer nécessairement d'un personnel qualifié localement sur le site défectueux. Ainsi, un personnel qualifié peut apporter une aide effective depuis pratiquement n'importe quel endroit.

La maintenance a subi de fortes évolutions pendant ces dernières années. Ces évolutions répondent aux besoins économiques et techniques, consolidant ainsi son rôle dans le fonctionnement des entreprises. Elle est devenue un support de performance incontournable qui conditionne les performances des systèmes manufacturiers. Les coûts des actions de maintenance ne sont pas négligeables, particulièrement ceux liés aux arrêts de production. Ils ont un impact très fort sur la production.

Éviter les arrêts totaux de production tel est l'objectif principal de la maintenance à distance comme la maintenance mobile (M-maintenance). Cette dernière est basée sur les TIC et sur les stratégies de maintenance préventive ou corrective. Le personnel peut être informé à temps réel via son dispositif mobile.

Les TIC ne sont pas les seules technologies qui ont développé la maintenance industrielle. L'intelligence artificielle (IA) a marqué à son tour un grand développement ainsi qu'une grande évolution dans l'industrie. Nous étudierons dans le cadre de ce projet de recherche la mainte-

nance mobile (M-Maintenance), ses évolutions et les différents travaux réalisés afin de guider l'intégration et l'usage des TIC et des techniques de l'IA dans la maintenance industrielle.

B. Objectif et motivations

Notre travail de thèse porte sur le développement d'une approche de maintenance mobile en profitant des avantages des TIC et des techniques de l'IA. L'originalité de cette thèse réside dans l'aboutissement à un système de maintenance mobile avec zéro panne. Ceci nous a mené à choisir la maintenance prédictive. Nous démontrerons qu'elle est plus avantageuse que les autres politiques.

Nos objectifs sont le choix et l'intégration d'une technique d'IA convenable dans le processus de maintenance.

C. Organisation de la thèse

Dans l'intention de répondre à cette problématique, nos travaux sont organisés en quatre chapitres et peuvent être synthétisés selon l'organisation schématisé sur la figure 1.

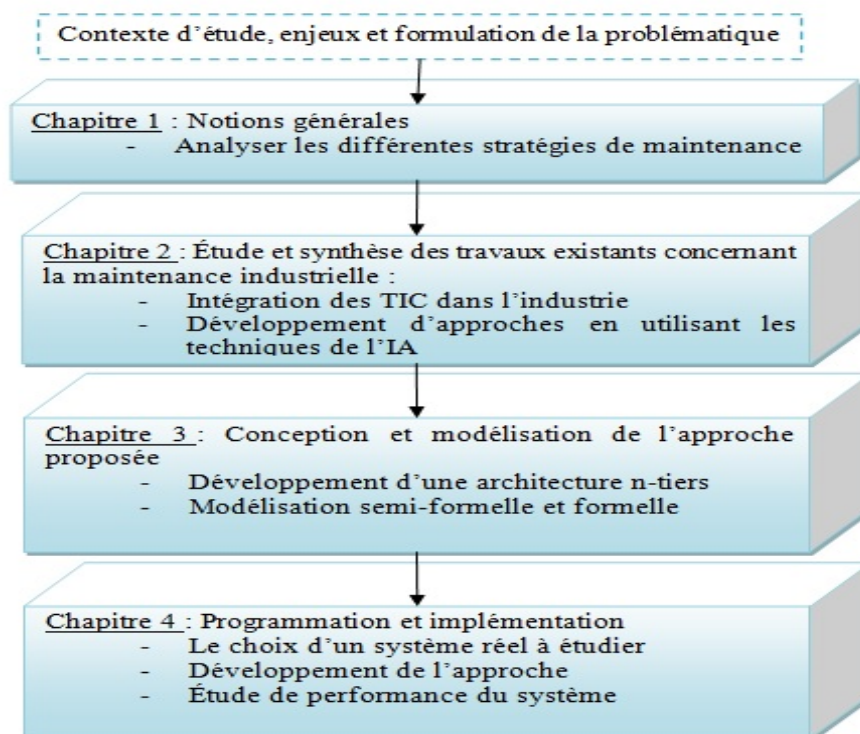


FIGURE 1 – Démarche et organisation des travaux

Le premier chapitre est divisé en deux parties. La première est dédiée à la présentation de la notion de maintenance ainsi que ses différentes stratégies et politiques. Dans la deuxième partie, nous avons mis l'accent sur les TIC, leur développement ainsi que leur apport dans l'industrie. À la fin de ce chapitre nous concluons par une analyse critique sur les différentes stratégies de maintenance.

le deuxième chapitre, est consacré à la présentation d'un ensemble de travaux existants qui se rapportent à notre problématique dans les domaines de la maintenance, des TIC et l'IA.

Nous avons commencé par l'étude de l'impact de l'IA sur l'industrie et la maintenance. Nous nous sommes focalisés ensuite sur l'apport de la technologie agent à l'industrie. Les derniers travaux discutent la l'intégration des TIC et de la technologie d'agent dans la maintenance. À la fin de ce chapitre nous nous trouvons face à une problématique dans laquelle une solution doit être trouvée.

Le chapitre trois, est réserve au développement d'une architecture multi-tiers qui répond aux besoins de la problématique affrontée. Il expose en premier lieu les différentes étapes de la stratégie de maintenance choisis, ensuite l'accomplissement des ces différentes étapes par les agents proposés. Une modélisation semi-formelle et formelle est effectuée en utilisant le langage UML et les réseaux de Pétri de haut niveau.

Le dernier chapitre est dédié à l'implémentation de notre approche. Nous avons étudié une des chaines de production du système manufacturier N'gaous conserve à N'gaous. Nous avons utilisé LabVIEW, afin de programmer les automates des machines de la chaine étudiée. Nous avons également utilisé les réseaux de Pétri généralisé stochastique afin d'étudier les performances du système. Ce choix est motivé par les points suivants :

- Ils offrent des spécifications temporelles.
- La possibilité d'avoir les résultats théoriquement.
- Ils expriment la synchronisation et le parallélisme.
- La possibilité d'effectuer des études quantitatives et qualitatives.

Enfin, nous concluons cette thèse en présentant les conclusions auxquelles nous avons abouties, ainsi que les perspectives qui s'ouvrent à notre travail de recherche. Dans l'intention de dégager les directions à suivre en perspective de compléter notre travail, et d'adapter les composants développés conformément aux besoins du processus de maintenance industrielle.

Chapitre I

Notions générales

I.1 Introduction

Notre premier chapitre met le point sur les principaux domaines au croisement desquels est positionnée notre problématique. Les Technologies d'Information et Communication (TIC) et leur intégration dans l'atmosphère industrielle représentent le cadre applicatif de la nouvelle forme de maintenance industrielle. Le coût de la maintenance est l'un des problèmes le plus important dans le secteur manufacturier qui peut augmenter ou diminuer les gains d'une entreprise. Selon Mobley [54], les coûts de la maintenance peuvent représenter entre 15 et 40% des coûts des produits fabriqués. D'autre part, T. Wireman [61] estime après une étude effectuée que le coût de maintenance pour un groupe d'entreprises sélectionné a augmenté de 200 milliards de dollars en 1979 à 600 milliards de dollars 1989. Ce facteur est l'un parmi plusieurs autres tel que la qualité et la sécurité. Ils ont rendu la maintenance un domaine important à étudier et à développer. Leurs développements anticipent les exigences du marché, en termes de diminution de coût, de croissance de production, d'assurance de sécurité et d'amélioration de qualité.

Dans ce chapitre nous avons consacré la première partie pour présenter la fonction maintenance, son rôle, ses enjeux actuels et ses différentes politiques. Nous présentons aussi dans cette partie les différentes formes de maintenance. Dans la deuxième partie, nous nous intéressons aux TIC. Nous commençons par les définir ensuite présenter les évolutions récentes. Nous terminons cette partie en évoquant leurs impacts lors de leurs intégrations et leurs utilisations dans la maintenance industrielle. A la fin de ce chapitre nous allons pouvoir nous positionner dans notre cadre de recherche.

I.2 La fonction de maintenance

I.2.1 Définition de la fonction maintenance

Afin de bien entourer les points essentiels matérialisant le cycle évolutif d'une maintenance industrielle, il est important de mettre en place les principales définitions. Selon le dictionnaire Robert 2004 [1], la maintenance est définie comme suit :

« *L'ensemble de tout ce qui permet de maintenir ou de rétablir un système en état de fonctionnement* ».

La maintenance se définit selon la Norme AFNOR [4] comme étant :

« *Un ensemble d'actions techniques et administratives correspondantes, y compris les opérations de surveillance et de contrôle, destinées à maintenir ou à rétablir une entité dans un état spécifié ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement (disponibilité, fiabilité et sécurité), lui permettant d'accomplir une fonction requise* ».

Dans la définition de la maintenance, nous trouvons deux mots-clés : *maintenir* et *rétablir*. Le premier mot « *maintenir* » évoque une action de prévention. Tandis que le deuxième « *rétablir* » fait allusion à l'action de correction.

I.2.2 Rôle de la maintenance

Selon A. Ahmed [2] la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise doit être mise en œuvre par le service maintenance. Cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production. Cependant, d'un point de vue maintenance, tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance. Le service devra donc, dans le cadre de la politique globale, définir les stratégies les mieux adaptées aux diverses situations. La fonction maintenance sera alors amenée à établir des prévisions ciblées [2] :

- *Prévisions à courts termes* : elles peuvent être de l'ordre de la semaine, de la journée, voire de quelques heures. Dans ce cas, le souci est de perturber le moins possible la production. Les interventions seront de courte durée, car elles sont minutieusement préparées.
- *Prévisions à moyen terme* : la maintenance doit se faire la plus discrète possible dans le planning de charge de la production. Il est donc nécessaire d'anticiper les interventions en fonction des programmes de production. La production doit aussi prendre en compte les impératifs de suivi de l'unité de production.

— *Prévisions à long terme* : elles concernent les travaux de longues durées, planifiées et budgétées. Ce sont des prévisions qui sont le plus souvent dictées par la politique globale de l'entreprise, ou bien imposée par la loi du marché.

I.2.3 Politiques de maintenance

Dans la littérature nous trouvons différents concepts de politiques de maintenance. Nous résumons ces différents concepts dans la figure I.1.

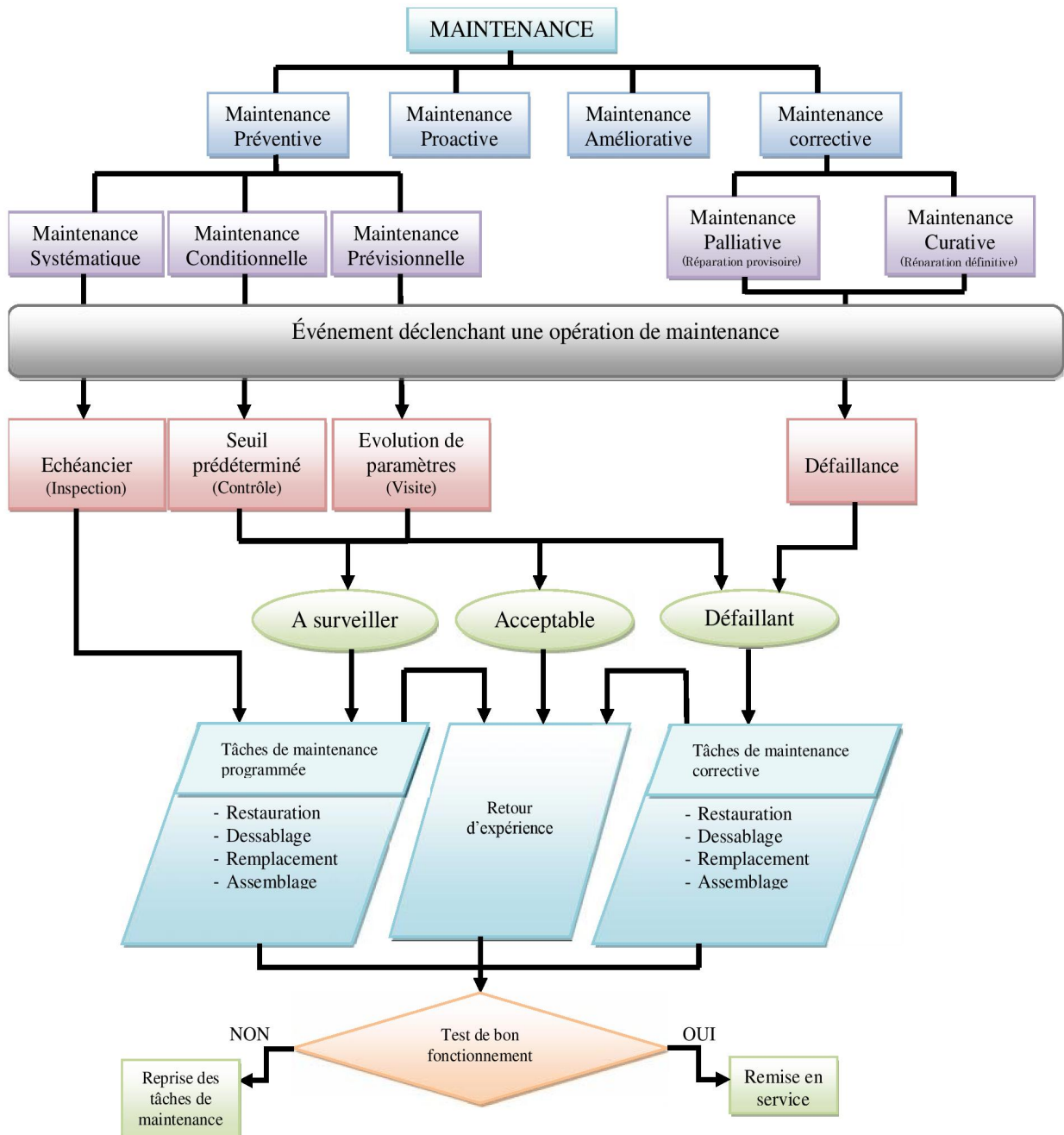


FIGURE I.1 – Différentes politiques de maintenance [6]

Maintenance corrective

Une *maintenance corrective* concerne l'ensemble des activités réalisées après l'apparition de la défaillance d'un bien ou la dégradation de l'une de ses fonctionnalités, dans l'intention de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Ces activités tournent autour de la localisation partielle ou complète de la défaillance ainsi que la remise en état nominal avec ou sans modification suivi d'un contrôle de bon fonctionnement [17].

La « *maintenance palliative* » est principalement constituée d'actions à caractère provisoire qui devront être suivies d'actions curatives. Cette dernière a pour but de rétablir un bien dans un état spécifié et de lui permettre d'accomplir une fonction requise. Les actions effectuées peuvent être des réparations, des modifications ou aménagements ayant pour objet de supprimer les défaillances.

Maintenance préventive

La *maintenance préventive* est une intervention de maintenance prévue, préparée et programmée avant la date probable d'apparition d'une défaillance [18]. Elle a pour but la réduction de probabilité de défaillance ou la dégradation d'un bien. Les activités correspondantes sont déclenchées selon un échéancier établi à partir d'un nombre prédéterminé d'unités d'usage ou selon un intervalle de temps. Ce type de maintenance est connu sous le nom « *maintenance systématique* ». Selon H. Kaffel [24], dans ce type de maintenance, la périodicité des remplacements est déterminée selon deux méthodes. La première est de type bloc tandis que la seconde est de type âge. La politique de remplacement de type âge consiste de remplacer l'équipement à la panne ou après T unités de temps de bon fonctionnement. La politique de type bloc suggère de remplacer l'équipement après une période prédéterminée de temps indépendamment de l'âge et de l'état du composant.

Par ailleurs, dans la maintenance préventive conditionnelle, les activités peuvent être déclenchées en se basant sur des critères prédéterminés significatifs de l'état de dégradation du bien. Ce type de maintenance est une maintenance subordonnée à un type d'événement prédéterminé [24]. Selon H. Kaffel [24] plusieurs outils, tels que l'analyse d'huile ou la vibration du système, permettent de détecter les signes de dégradation d'un équipement. Ceci s'effectue en mesurant, à chaque inspection, la valeur d'un paramètre de contrôle tel que l'amplitude de déplacement, la vitesse ou l'accélération des vibrations, le degré d'acidité, ou la teneur de particule solide dans l'huile. L'action ne se déclenche que lorsque le paramètre de contrôle dépasse un seuil

déterminé empiriquement, fixé par le constructeur ou par les normes de santé et de sécurité au travail.

Une autre forme de la maintenance préventive a vu le jour en 1975 dans le domaine de l'industrie nommée « *maintenance prévisionnelle* » ou « *maintenance prédictive* ». Le cœur de cette maintenance est le processus de surveillance de l'état du bien, où les signaux sont surveillés en permanence en utilisant certains types de capteurs ou d'autres indicateurs appropriés [33]. Dans cette maintenance, une analyse de l'évolution de certains paramètres significatifs liés à la dégradation du bien doit être effectuée. Cette analyse représente la base sur laquelle la maintenance va être programmée (prise de décision). Ainsi, la possibilité de mieux planifier ou de retarder les interventions peut être effectuée.

Les deux étapes principales de la maintenance prédictive sont : la surveillance de l'état (*Condition Monitoring*) et la prise de décision (*Decision Making*), illustrés dans la figure I.2 [33].



FIGURE I.2 – Étape de maintenance prédictive

1. Surveillance de l'état : est divisée selon A. Jardine [27] en deux sous étapes ; l'acquisition et le traitement des données.
 - *L'acquisition des données* : est un processus de collecte et de stockage des données utiles sur des actifs physique ciblés. Le collecte de données est catégorisé en deux types : données événementielles et données relative à la surveillance de l'état. Les données événementielles comprennent les informations sur ce qui est arrivé (par exemple, l'installation, la rupture, la révision, etc., et l'originalité des causes) et / ou ce qui a été fait (par exemple, des réparations mineures, l'entretien préventif, changement d'huile, etc.) à la cible physique active [27]. Tandis que dans la deuxième catégorie, données relative à la surveillance de l'état, les données sont les seuls mesures liées à l'état de santé de l'actif physique.
 - *Le traitement des données* : La première étape est le nettoyage des données et la suppression des erreurs. Les erreurs sont généralement liées aux données événementielles qui sont saisies à la main. Ces erreurs peuvent être causées par le facteur humain, comme elles peuvent être causées techniquement ; par exemple les capteurs.

Cette étape joue un rôle important pour assurer des données claires pour la prochaine analyse et la prochaine modélisation. La deuxième étape est l'analyse des données collectées afin de mieux les comprendre et les interpréter. Un algorithme va être choisi dans le chapitre trois pour une analyse correspondante à notre type de données.

2. Prise de décision : peut être effectuée à travers les méthodes de : diagnostic ou pronostic. Le diagnostic de défaut se concentre sur la détection, l'isolement et l'identification des défauts quand ils se produisent. Le pronostic, cependant, tente de prédire les dégradations ou les pannes avant qu'elles ne surviennent.

Selon A. Rosmaini [33], [9] la prise de décision est classifiée en deux techniques : l'évaluation basée sur l'état actuel (*Current Condition Evaluation-Based* ou *CCEB*) et la prédiction basée sur l'état futur (*Future Condition Prediction-Based* ou *FCPB*).

La méthode CCEB (figure I.3) évalue les conditions actuelles de l'équipement afin de lui approprier une maintenance convenable. Une fois les données collectées, le processus de modélisation est réalisé afin de définir l'état actuel de l'équipement. Ce dernier va être comparé à un seuil prédéterminé, s'il est atteint une maintenance est requise [33].

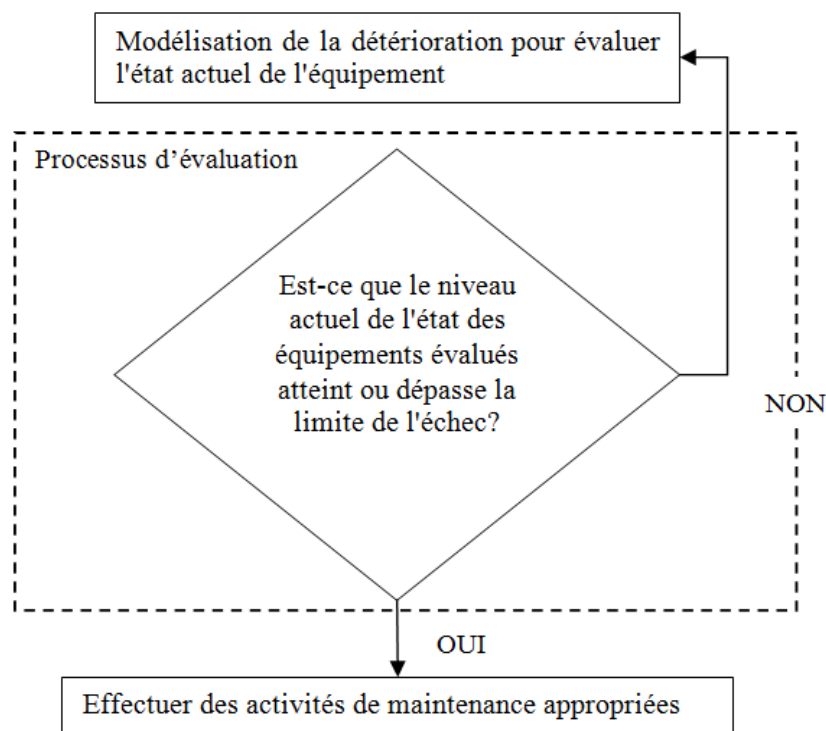


FIGURE I.3 – Méthode CCEB [33]

La méthode FCPB (figure I.4) est une autre méthode de prise de décision qui prédit les tendances futures d'un équipement. En se basant sur les prédictions du processus de modélisation ;

si l'équipement atteint ou dépasse un certain seuil, une maintenance appropriée est planifiée. Autrement l'équipement est considéré en bonne condition et reste en opération.

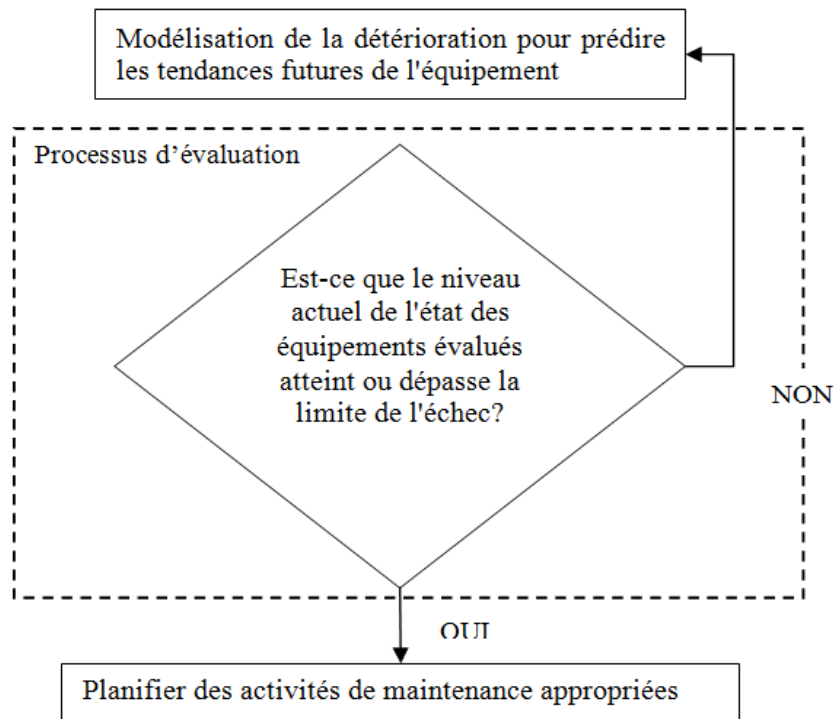


FIGURE I.4 – Méthode FCPB [33]

Maintenance améliorative

Dans l'objectif d'accomplir à travers un système de nouvelles fonctions ou d'améliorer les conditions des fonctions existantes, la politique de maintenance améliorative, peut être envisagée [4]. Il s'agit là, d'examiner les possibilités d'adapter le comportement du système conformément aux situations réelles [17].

Maintenance proactive

Selon F. Monchy [22] la maintenance proactive est fondée sur le retour d'expérience et l'analyse approfondie des phénomènes pathologiques à l'origine des défaillances. Elle s'appuie aussi sur la maintenance préventive conditionnelle et la maintenance prévisionnelle.

I.2.4 Les stratégies de maintenance

Il existe dans la littérature plusieurs stratégies de maintenance parmi lesquels nous citons :

La Maintenance Productive Totale

« Maximisation du rendement global des installations, couvrir le cycle de vie global d'un équipement et la participation de tout le personnel », ce sont les trois significations qui enveloppent la maintenance productive totale [47],[48].

S. Nakajima [47],[48] définit la maintenance productive totale en quelques points importants : « La maintenance productive totale est une **approche multidisciplinaire préventive** qui permet d'assurer un **fonctionnement optimal** des installations. Ce type de maintenance peut être **réalisé par petits groupes autonomes** et implique tous les employés à différents niveaux. Elle inclut **la maintenance autonome et la détection des micro-dégradations** par un programme de propreté ».

La maintenance productive totale met l'accent sur l'organisation des ressources productives pour améliorer la disponibilité humaine ainsi que les équipements.

La maintenance basée sur la fiabilité

La maintenance basée sur la fiabilité est une approche de maintenance préventive. Elle est basée sur l'hypothèse que la fiabilité inhérente à un équipement est en fonction de la conception et de la qualité de construction [52]. En outre, elle essaie de minimiser les conséquences d'une défaillance en cherchant et en exécutant les tâches critiques de maintenance, et en identifiant les défaillances cachées.

L'objectif principal de la maintenance basée sur la fiabilité est de réduire le coût de la maintenance en se focalisant essentiellement sur les fonctions les plus importantes du système. En reléguant au second plan ou en évitant les actions de maintenance qui ne sont pas strictement nécessaires [52].

La télémaintenance

Le terme de Télémaintenance est d'origine latino-grecque, il est composé du mot grec « Tèle » signifiant loin et du mot latin « manutenerer » qui est composé de « Manu » comme la main et « Tenerer » comme tenir [17].

D. Racoceanu [18] définit la télémaintenance en tant qu'*une maintenance d'une unité fonctionnelle, assurée par télécommunication directe entre cette unité et un centre spécialisé*. Elle

envisage de gérer la maintenance des équipements à distance avec la mise en place des moyens de télécommunications (intranet, internet, téléphonie).

I.2.5 Les fonctions de maintenance

Selon D. Tazi [19] la mission principale de la maintenance est la gestion optimisée des équipements de production en fonction des objectifs propres à l'entreprise. Nous identifions trois fonctions associées à la maintenance présentées dans la figure I.5. Ces fonctions sont différentes dans leurs descriptions, complémentaires dans leurs finalités.

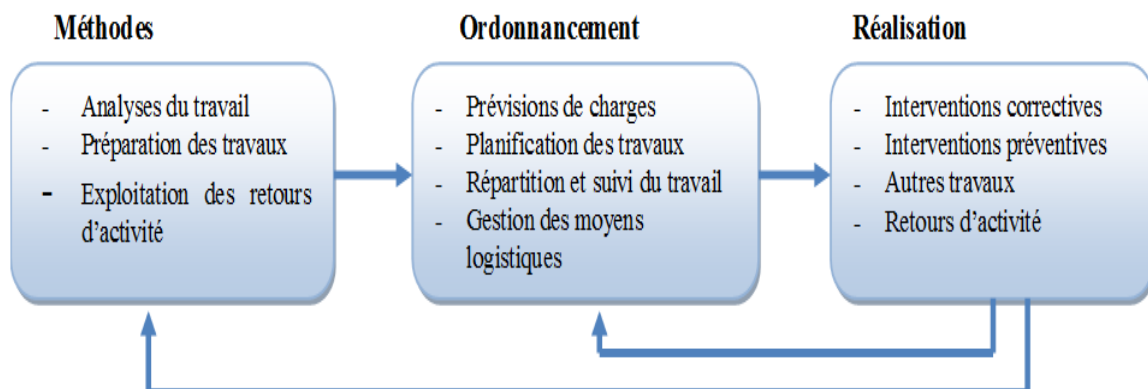


FIGURE I.5 – Fonction de maintenance [19]

a. La fonction méthodes

La vocation première des services méthodes est la préparation [19] :

- pour **la maintenance préventive**, cela consiste la définition d'un plan de maintenance d'un équipement, puis à évaluer son coût et son efficacité afin de l'optimiser ;
- pour **la maintenance corrective**, la préparation passe par l'anticipation des risques encourus, puis par une anticipation des problèmes qui peuvent freiner l'intervenant ;
- pour **la maintenance externalisée**, la préparation consiste à définir les règles et les procédures destinées au prestataire choisi, puis à «accompagner» le prestataire lors de ses travaux sur site.

b. La fonction ordonnancement

Le chef d'orchestre de la maintenance est la fonction ordonnancement. La synchronisation des actions de maintenance internes ou externe sont prise en compte par cette fonction. La planification des travaux, l'optimisation des moyens en fonction des délais et chemins critiques,

et le contrôle de l'avancement des travaux représentent les missions principales de la fonction ordonnancement.

c. La fonction réalisation

L'objectif de cette fonction est d'utiliser les moyens mis à disposition, suivant les procédures imposées, dans les délais recommandés, pour réaliser une tâche définie afin de remettre le matériel dans un état spécifié.

I.2.6 Internalisation-externalisation de la maintenance

L'externalisation est définie selon AFNOR [3] par le transfert total ou partiel d'une tâche ou d'une fonction de l'entreprise utilisatrice vers une entreprise extérieure.

La réussite de l'ensemble de l'entreprise est valorisée par les compétences de l'activité de protection, ce qui peut influencer positivement sur l'entreprise si elles sont gérées de manière adéquate. Selon A. Allali [2], deux choix se présentent, le premier choix est de sous-traiter toutes les activités de maintenance à condition de garantir la pérennité du service sous-traitant et avec un niveau de risque minimal. Le deuxième choix correspond à l'intégration d'un service de maintenance dans le système de production. Dans ce cas, munir chaque unité de production d'un service de maintenance devient vite très coûteux lors de l'investissement dans les ressources.

I.3 Enjeux actuels de la maintenance

I.3.1 Nouveaux besoins de la maintenance

Les nouveaux systèmes de maintenance font face à de nouveaux défis. Alors une amélioration est exigée à ce niveau en termes de coûts et de temps. Ces améliorations imposent un développement et une modification au processus de maintenance dans les entreprises. La mise en place des services intelligents est de plus en plus exigée afin de répondre à ces contraintes [45] : (i) Services d'aides à la décision pour la réutilisation des composants dans le but de diminuer les coûts, (ii) Services de retour d'expérience pour améliorer les activités d'expertises, de diagnostics, des interventions, ainsi que d'autres services intelligents.

Selon les auteurs de [36] les services nécessaires pour demain sont :

- un système orienté client (Customer-Intensive System) dans lequel les utilisateurs bénéficiaires des résultats participent au processus d'élaboration du système en fournissant les entrées nécessaires [45];
- un système instrumenté (Smart Agent);
- un système d'analyse intelligente;
- un système de gestion des connaissances métier.

Lee et al. [36] illustrent dans leur travail trois axes d'intelligence à appliquer pour la maintenance de demain; intelligence appliquée à l'équipement, intelligence appliquée aux opérations de maintenance et intelligence appliquée à l'information et sa synchronisation. De ce fait, une amélioration sera ajoutée au niveau de plusieurs services tel que les services de prédiction temporelle (fonctions d'anticipation de dégradation), des services à la demande édités par l'utilisateur exprimant ses besoins (les services d'aide à la décision) et ceux basés sur l'utilisation (c.à.d. le retour d'expérience) [45].

Une meilleure exploitation des technologies intelligentes et des connaissances métier permet d'obtenir une efficacité considérable du processus de maintenance ainsi qu'une réduction des pertes de temps et de coûts.

I.3.2 Évolution de la maintenance

Ces dernières années, l'intégration de la maintenance au monde de l'entreprise, lui a accordé une évolution technologique, organisationnelle et informationnelle. Ces évolutions sont liées et interdépendantes où elles ont profondément modifié les méthodes de travail des acteurs de maintenance.

a. Évolution technologique

Récemment, l'évolution rapide des TIC a fait surgir une nouvelle forme de maintenance; la maintenance à distance. La télémaintenance, e-maintenance et la m-maintenance font parties de cette dernière.

Une autre définition de la télémaintenance selon la norme AFNOR NF EN 13306 [5] : « *la maintenance d'un bien exécutée sans accès physique du personnel au bien* ». Ce concept de télémaintenance repose donc sur la perception de données ainsi que la prise de contrôle à distance [17].

L'évolution des TIC a permis aussi l'apparition de la notion d'e-maintenance basée sur les principes fondamentaux de la télémaintenance. L'e-maintenance est une nouvelle forme de maintenance à distance fortement influencée par l'évolution technologique. Non seulement elle intègre le principe de base de la télémaintenance mais elle lui associe une autre dimension considérable. Cette dimension est basée non seulement sur la coopération au niveau des informations mais aussi sur des hommes, des services (ingénierie, exploitation, maintenance, sûreté, ...) et des sociétés (clients / fournisseurs,...) [37].

La m-maintenance a le même principe que l'e-maintenance et converge vers les mêmes finalités. Néanmoins, la mobilité de l'expert ou du personnel de maintenance représente un élément de base. Les nouvelles technologies mobiles peuvent renforcer ce type de maintenance afin de couvrir les sites géographiquement éloignés.

En s'inspirant de l'architecture d'e-maintenance proposée par I.RASOVSKA [26], nous proposons l'architecture de m-maintenance illustrée dans la figure I.6.

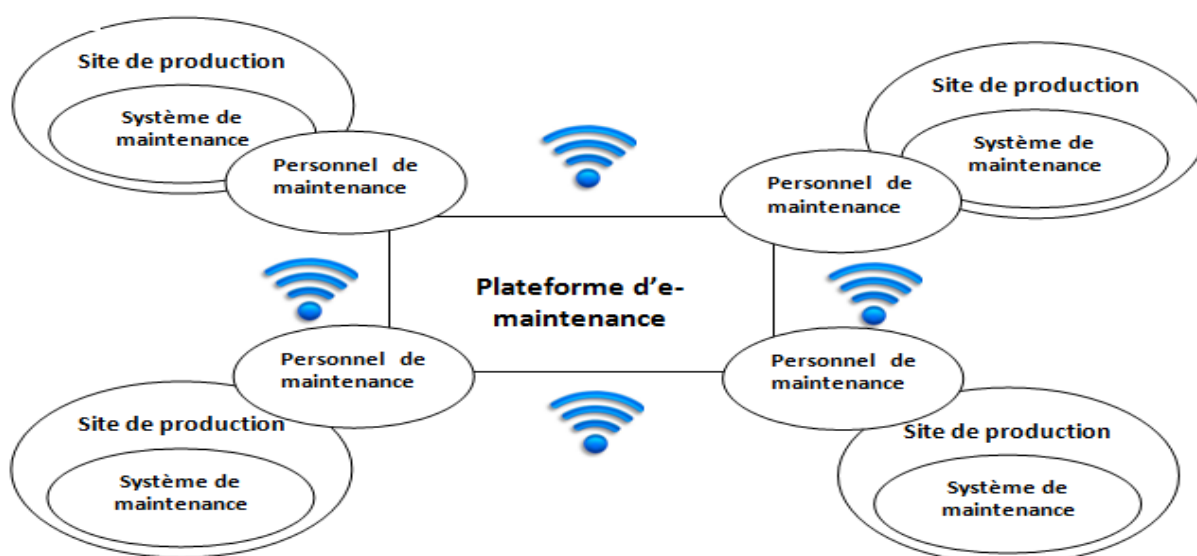


FIGURE I.6 – Architecture de m-maintenance

Elle consiste à fournir aux personnels des informations en temps réel sur l'état d'un système manufacturier afin de garantir ses performances. De ce fait, une surveillance en temps réel est requise. La surveillance est devenue un élément primordial à intégrer aux systèmes industriels afin de minimiser les défaillances et les coûts de maintenance. SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) le système de contrôle et d'acquisition de données peut être considéré parmi l'un des systèmes de surveillance de processus industriels. Tout système de surveillance exige une ou plusieurs bases de données où les informations vont être stockées. Les bases de

données sont caractérisées par divers facteurs tels que leur capacité à fournir un fiable stockage de données à long terme, un accès multi-utilisateur, un contrôle de concurrence, la récupération et les capacités de sécurité [13]. La liaison entre les différentes hôtes d'un système manufacturier est assurée avec une connexion internet.

b. Évolution organisationnelle

Simultanément aux évolutions technologiques, une évolution organisationnelle a émergé faisant évoluer l'organisation de la maintenance ; comme l'organisation spatiale. Les différentes organisations du système de maintenance font appel à des ressources appropriée :

- les équipements à maintenir se trouvent au même emplacement et le service de maintenance est distant (figure I.7.a) ;
- les équipements à maintenir sont dispersés (figure I.7.b) ;
- les éléments du système de maintenance sont dispersés (figure I.7.c).

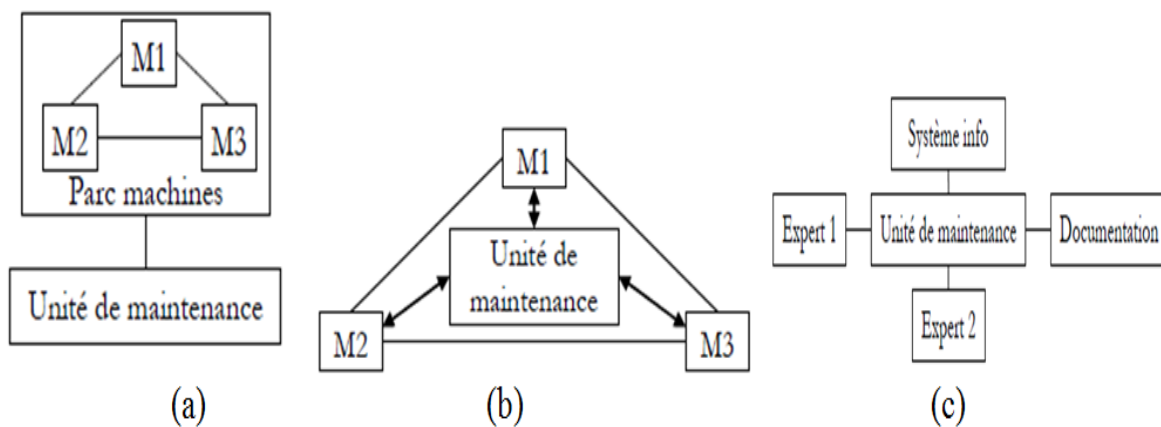


FIGURE I.7 – Organisation des systèmes de maintenance [10]

La m-maintenance correspond à une nouvelle organisation où le personnel de maintenance est hors et indépendant de l'unité de maintenance. L'organisation de la m-maintenance correspond à l'une des organisation de la figure I.8.

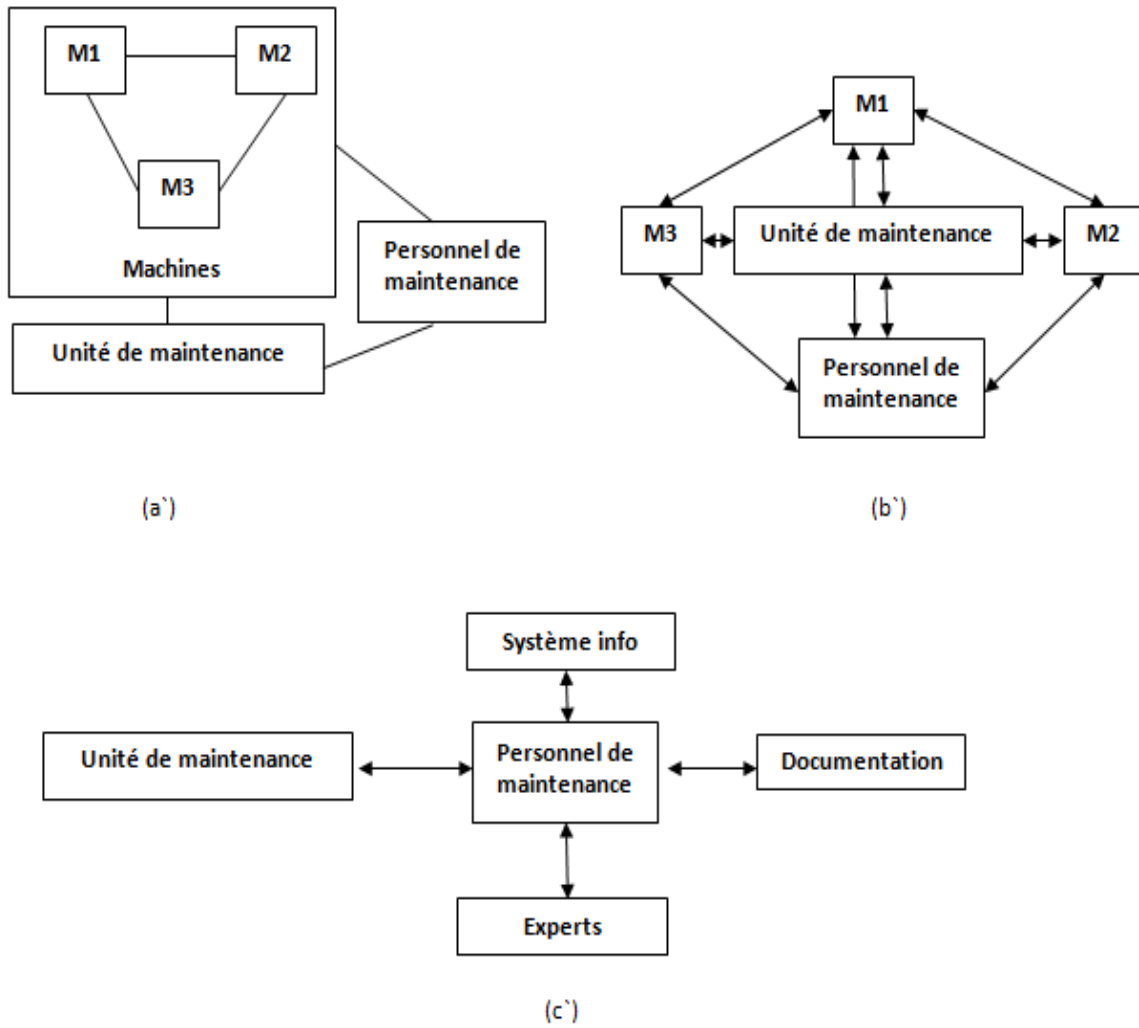


FIGURE I.8 – Nouvelle organisation des systèmes de m-maintenance

I.4 Processus général de M-maintenance

En se basant sur la définition proposée par I. Rasovska [26], nous allons présenter le processus de la m-maintenance. Nous définissons un processus de m-maintenance comme un enchaînement d'activités contrôlées ou interactives.

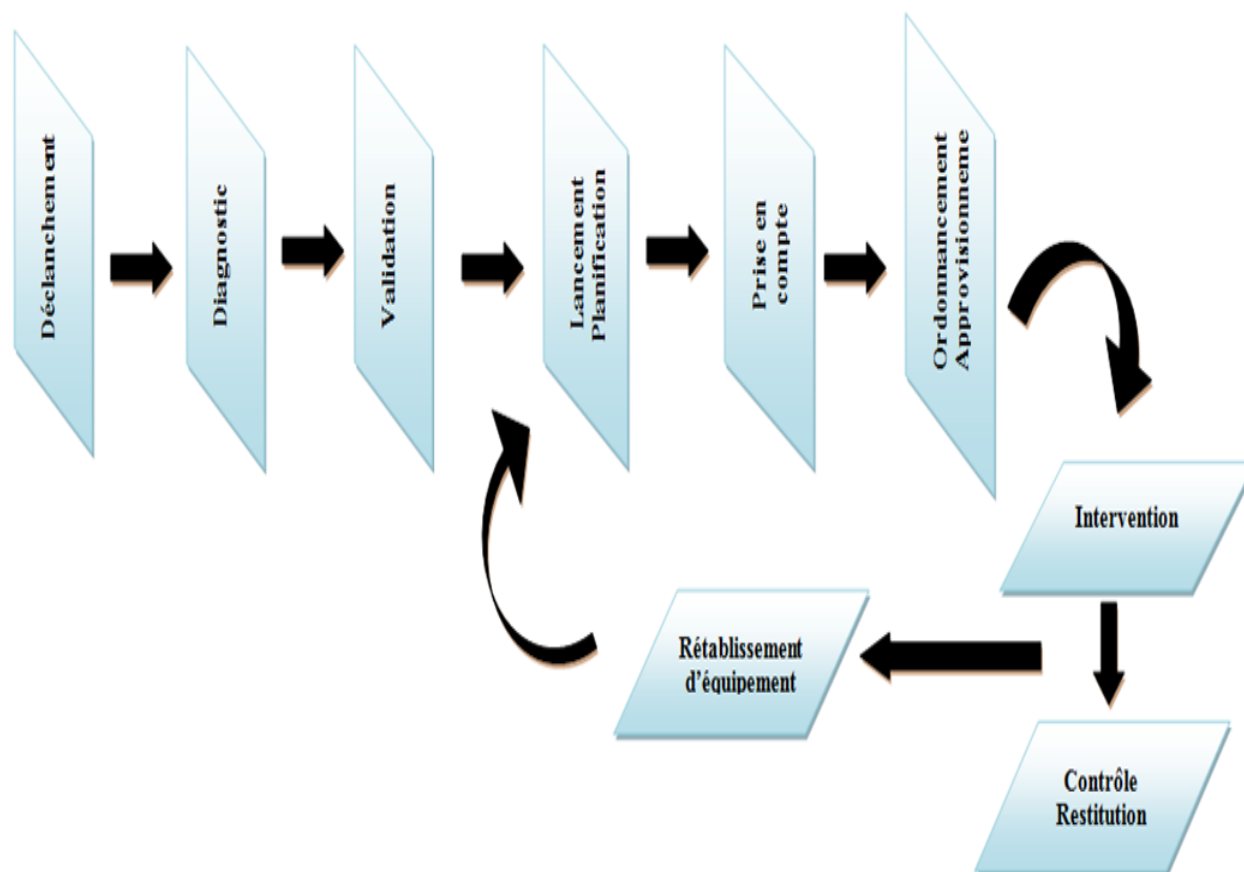


FIGURE I.9 – Processus de m-maintenance

Le déclenchement du processus constitue la demande d'intervention. Généralement, c'est une signalisation automatique d'un problème (défaillance ou dégradation). Cette requête est interne car elle est initiée par les capteurs ou plus généralement par le système de surveillance. Comme la m-maintenance est fondée sur une des techniques de prévention, une intervention est recommandée dès qu'un seuil prédéterminé est atteint.

En se basant sur les informations fournies par le système de surveillance, un diagnostic est déterminé pour entretenir l'équipement. Ainsi que la localisation, l'identification et parfois la cause du défaut est indiquée par le système de surveillance lui-même.

Dans certain cas, l'intervention peut être aussi déclenchée par un opérateur de maintenance qui signale une défaillance au cours de son contrôle habituel ou lors d'une autre intervention. L'opération de validation se fait après la réception de la demande d'intervention. Elle est confirmée par le prestataire de services de maintenance ou parfois par l'opérateur et doit être effectuée dans des délais courts pour éviter la panne des machines. La planification et le lancement de l'intervention se font suivant une requête. L'action d'intervenir au cours de la production pren-

dra en compte la disponibilité de l'équipement liée à la chaîne de production. La demande d'intervention implémentée sur le dispositif doit être complétée de la date précise d'exécution. Elle est communiquée à l'opérateur en tant qu'ordre de travail qui doit être envoyé par mail ou par message.

La prise en compte de l'intervention représente un moment important pour la production et pour le calcul des indicateurs élémentaires qui serviront à la gestion de maintenance. L'exploitation du retour d'expérience prendra en compte l'action et le temps de la maintenance.

Dans la phase d'ordonnancement et d'approvisionnement les outils et les pièces de rechange nécessaires pour la réalisation de l'intervention sont identifiés dans l'ordre de travail. Dans le cas de la non disponibilité ils peuvent être commandés si nécessaire par les acheteurs auprès des fournisseurs.

L'intervention représente une action d'entretien sur l'équipement donné. Un rapport d'intervention doit obligatoirement être fait par l'opérateur de maintenance. Ce rapport doit être vérifié et classé par la gestion de la maintenance où l'exploitation du retour d'expérience bénéficie.

Le contrôle et la restitution de l'équipement seront faits par l'opérateur de maintenance. Le client (opérateur de production) doit vérifier le bon fonctionnement de l'équipement tout en suivant le rapport de maintenance effectué.

I.5 Technologies d'information et de communication

La grande révolution des TIC a contribué à l'amélioration du quotidien de notre vie ainsi que la vie professionnelle. Cette amélioration a affecté différents secteurs notamment le secteur industriel. Nous allons mettre en évidence l'effet des TIC sur l'industrie, plus précisément la maintenance.

I.5.1 Définition des technologies d'information et de communication

Selon Larousse les TIC sont : « *Ensemble des techniques et des équipements informatiques permettant de communiquer à distance par voie électronique.* ». Les TIC permettent d'accéder, de produire, de diffuser et d'échanger des informations, à travers internet, intranet...etc. Elles

sont associées aux ordinateurs personnels, à la nouvelle génération de téléphone (téléphones intelligents), aux ordinateurs de poche, etc. Leurs développements ne cessent d'augmenter, ainsi que leurs capacités de stockage de données. Ceci a mené à une amélioration considérable des possibilités d'échange de données ainsi que leur disponibilité. Ce développement a permis de perfectionner la capacité de traitement d'informations dans un temps de transfert qui ne cesse de diminuer.

L'union internationale des télécommunications¹ illustre dans son dernier rapport les plus récents chiffres de la croissance des TIC en 2013. Ces statistiques montrent une croissance continue et presque universelle dans l'adoption de ces derniers (figure I.10).

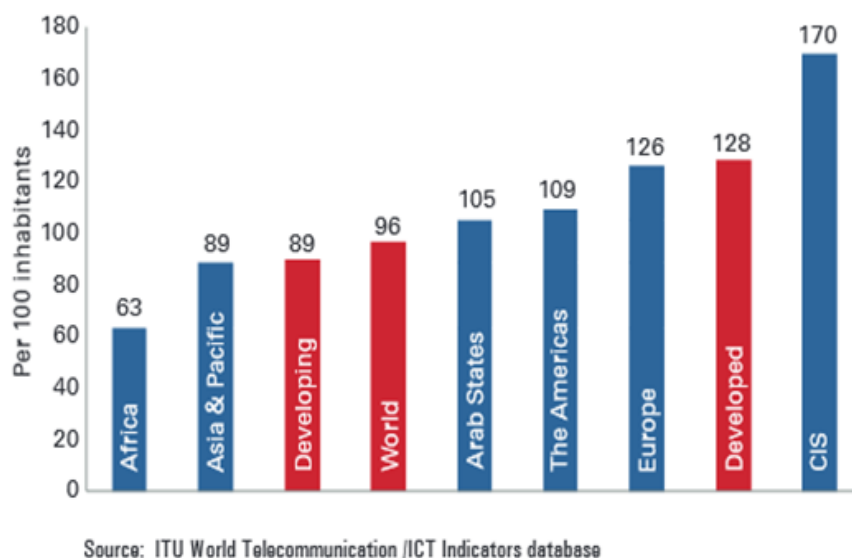


FIGURE I.10 – Pénétration des téléphones intelligents et ordinateurs de poche

I.5.2 Effets des technologies d'information et de communication

Les TIC ont de nombreux effets aussi bien positifs que négatifs. Trois principaux impacts sont extraits par A. Seguy [10] : technologique, économique et organisationnel. Le tableau I.1 illustre leur classification au sein d'une organisation.

1. Créée à Paris en 1865, <http://www.itu.int/>

TABLE I.1 – Classification des effets des TIC au sein d'une organisation [10]

| Type d'effet | | Nature de l'effet | |
|-----------------|---|---|---|
| | | Positifs | Négatifs |
| Technologique | Communication & échange | -Facilité d'échange et de communication à tout moment | -Risque de surabondance d'information |
| | Connaissances, système d'information Mobilité, système distribué | - Meilleur accès et gestion de l'information et des connaissances - Amélioration de la mobilité, du travail à distance | |
| Économique | Relation extérieure à l'entreprise | - Changement organisationnel (e-commerce) | - Dégradation de la productivité, des performances des employés |
| | Productivité, coûts | - Réduction des coûts - Gains et croissance de productivité | |
| Organisationnel | Aide à la décision | - Travail collaboratif - Aide de prise de décision | - Subjectivité, ambiguïté provoquées par les TIC |
| | Organisation, structure de l'entreprise Social | - Apports, aides stratégiques - Autonomie - Modification des relations, des liens hiérarchiques - Travail s'orientant vers des sous-groupes au lieu d'organisation globale | - Modification de l'organisation, des interactions |

I.6 Impact et intégration des TIC dans la maintenance industrielle

La compétitivité dans l'industrie tourne généralement autour de l'obtention des produits de hautes qualités, à faible coût et surtout innovants. La production est souvent traduite par des progrès en matière de TIC. L'intégration de ces derniers dans une chaîne de fabrication conduit à un processus plus puissant, qui engendre un produit plus efficace. Grâce à cette évolution technologique plusieurs domaines sont apparus tel que le télédiagnostic, la télésurveillance, la télémaintenance, etc. Fournir des produits et des services selon les préférences de la clientèle est devenue possible.

La maintenance est l'un des axes les plus influencés par les TIC. L'aide à la prévention et la détection de défaillance sont abordables grâce à l'accès aux informations en temps réel. De ce fait, l'acquisition, le stockage et l'exploitation d'informations peuvent être effectués à distance. Ce qui rend la prise de décision une tâche plus facile.

L'intégration des TIC en maintenance offre aussi une amélioration des performances. L'augmentation de la disponibilité des équipements maintenus et la minimisation des ressources utilisées dans un temps minimal sont le résultat de cette amélioration. Les TIC permettent d'accéder via un réseau depuis le site d'intervention à des ressources lointaines. Ces ressources s'avèrent primordiales dans la résolution de l'intervention [10].

Le tableau I.2 résume une étude bibliographique de certaines tâches dans quelques stratégies de maintenance où les TIC sont intégrés.

TABLE I.2 – Résumé bibliographique de présence des TIC dans la maintenance

| Politiques de Maintenance | TIC | | | | | |
|--|-------------------------|-------------------|--------------------------------------|--------------------------|---------------|-----------|
| Maintenance prédictive [13] | | | | | | |
| Maintenance conditionnelle [62] | | | | | | |
| Maintenance systématique [2] | | | | | | |
| Maintenance corrective [34] | | | | | | |
| Maintenance proactive [7] | | | | | | |
| Fortement utilisés Moins utilisés Pas utilisés | Stockage d'informations | Prise de décision | Acquisition de données en temps réel | Technologies prédictives | Planification | Détection |

I.7 Le choix de maintenance prédictive

Les différentes politiques de maintenance visent à éviter le passage imprévu en mode défaillant. Ce mode correspond à l'altération ou à la cessation de l'aptitude du système à accomplir une fonction de production. Nous avons présenté la maintenance prédictive dans la section I.2.3. Elle tente d'éviter et d'éliminer les tâches non nécessaires. Elle agit seulement quand des preuves de comportements anormaux d'un actif physique sont signalées. Ce type de maintenance réduit considérablement les coûts en minimisant le nombre programmé d'opérations inutiles (maintenance systématique). Son but principal est d'agir sur l'élément défaillant au plus près de sa période de dysfonctionnement sans l'attente d'un événement révélateur. Elle doit permettre

de réduire la fréquence des pannes tout en optimisant la périodicité des interventions préventives. Contrairement à la politique de maintenance systématique -qui consiste à remplacer des éléments du système selon un échéancier-, qui exige un arrêt total ou partiel du système de production. La maintenance prédictive n'influence pas la disponibilité des outils de production et conduit à une augmentation de productivité.

L'application de la maintenance conditionnelle est effectuée seulement dans le cas d'un dysfonctionnement dans la chaîne de production. L'événement révélateur d'une défaillance d'un équipement augmente le temps d'indisponibilité des outils de production.

D'après cette étude nous nous sommes intéressé à la maintenance prédictive. Les figures I.11, I.12, I.13 consolide notre choix. En se basant sur le tableau I.2, nous avons schématisé sous Matlab les politiques de maintenance où la politique prédictive reste toujours au sommet (figures I.11, I.12).

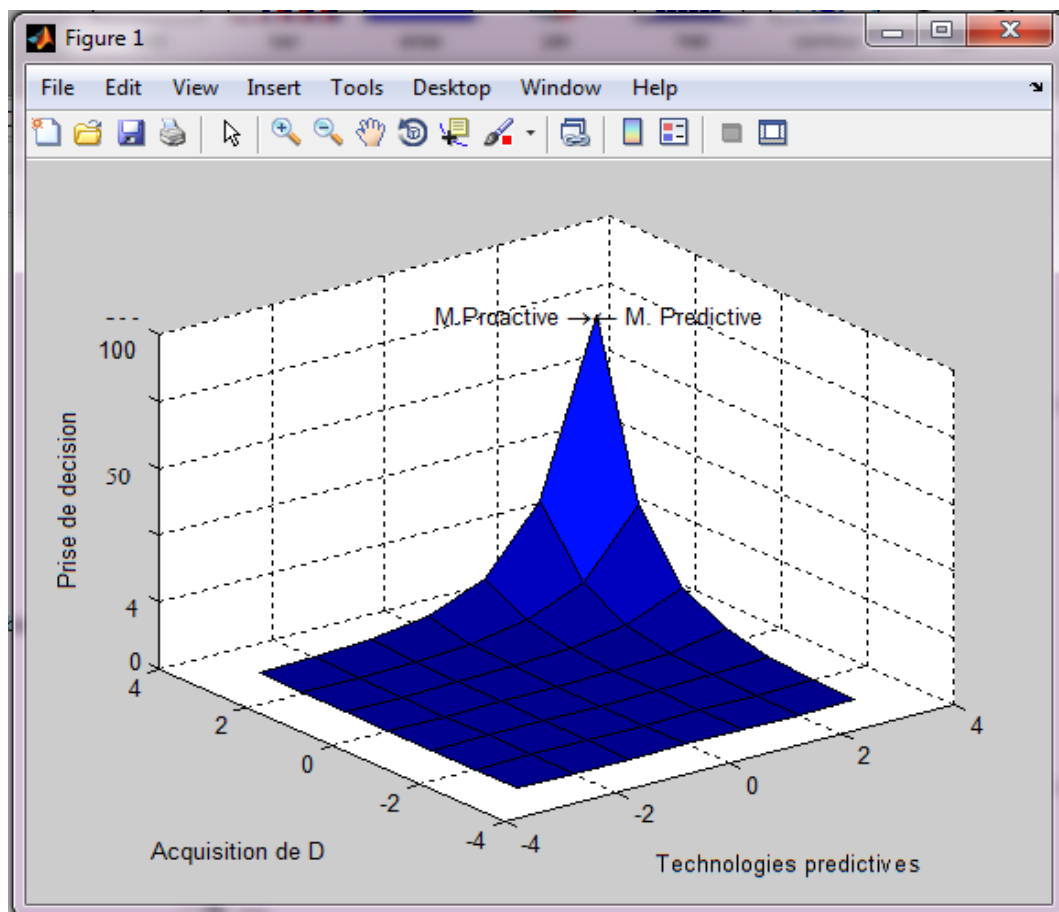


FIGURE I.11 – Maintenance prédictive et proactive sous Matlab

Sur la figure I.11 les politiques prédictive et proactive sont les plus efficaces au niveau de la prise de décision, l'acquisition de données en temps réel et et les technologies prédictives. Les autres stratégies ont été éliminées vu que la prise de décision, l'acquisition de données en temps

réel et les technologies prédictives sont moins utilisés.

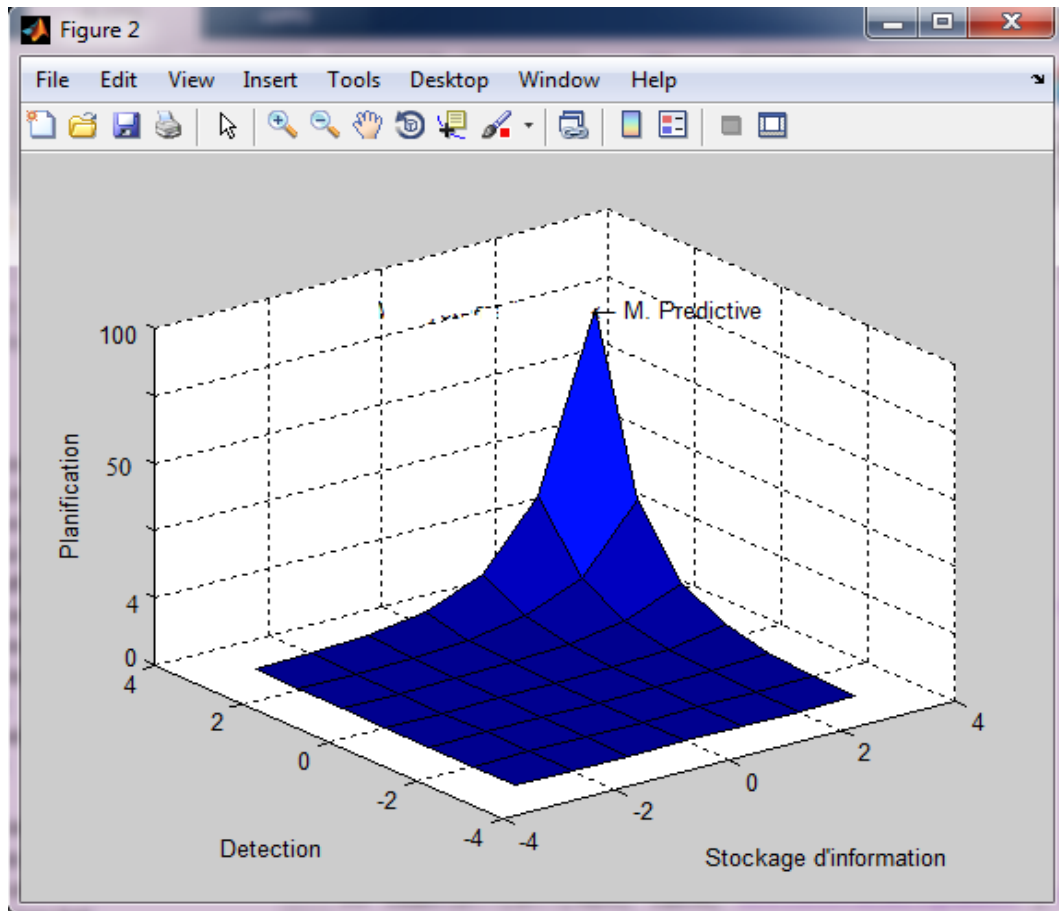


FIGURE I.12 – Maintenance prédictive sous Matlab

Comme les autres politiques de maintenance ont été éliminées sur la figure I.11, l'étude sur la deuxième figure (I.12) a été faite sur les deux politiques restantes. La maintenance proactive est moins performante où le stockage d'informations, la détection et la planification sont plus présente dans la maintenance prédictive.

La figure I.13 indique le temps d'indisponibilité de l'équipement dans les différentes politiques de maintenance. En additionnant le temps de bon fonctionnement des biens dans chaque type de maintenance, il est clair que leur disponibilité est plus élevée dans le cas de la maintenance prédictive ou prévisionnelle.

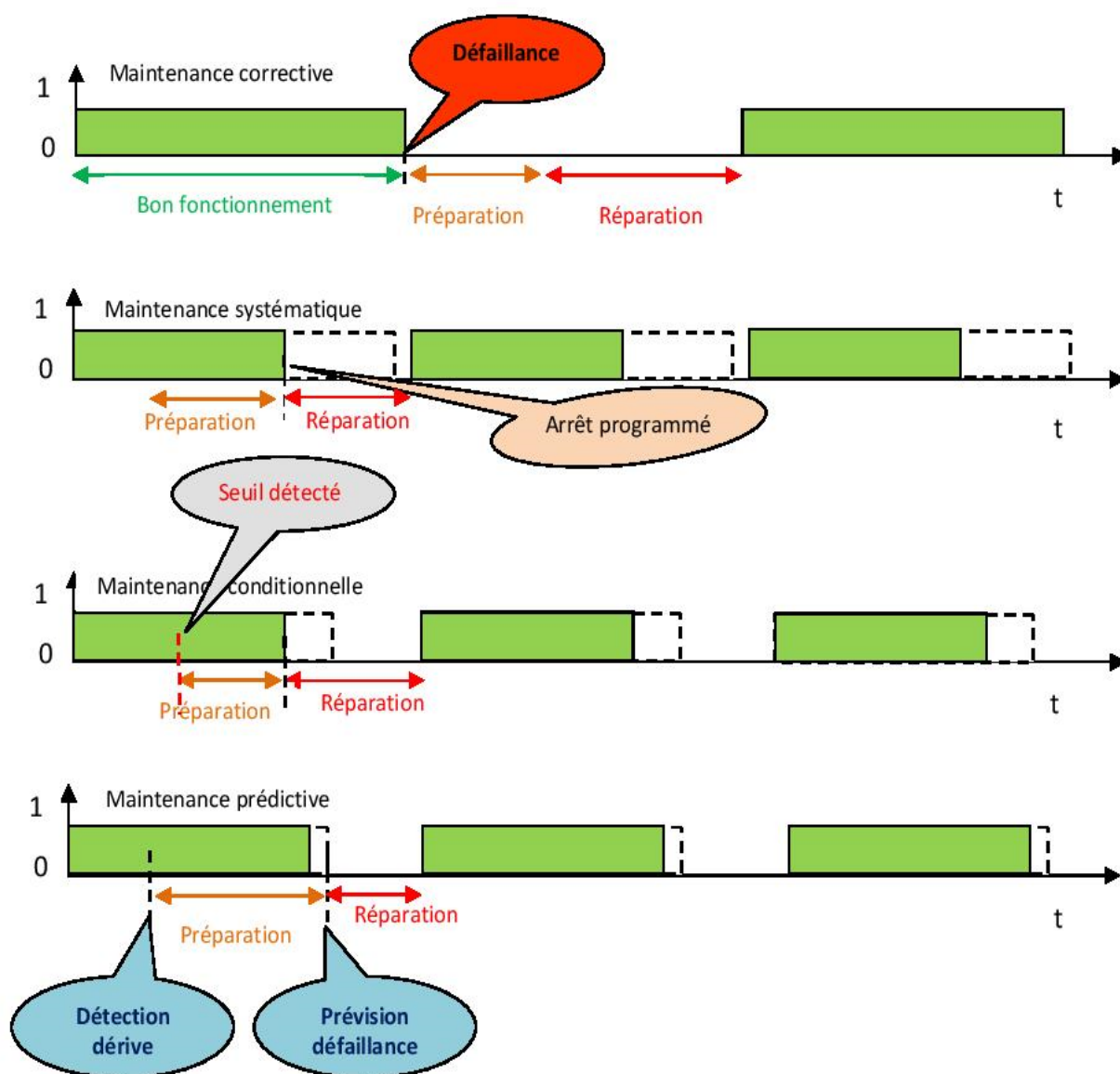


FIGURE I.13 – Temps de bon fonctionnement selon la maintenance adopté

Le diagnostic et le pronostic sont deux aspects important dans la maintenance prédictive [27]. Aucun des deux ne peut remplacer l'autre, mais peuvent se compléter. Pratiquement il y aura toujours des défaillances qui ne sont pas prévisible. Ces deux techniques de prévision ne peuvent pas être 100% sans défauts. Par contre, la technique du diagnostic est toujours utile pour la préparation des événements dans une précision presque parfaite. Alors, les informations fournies par le diagnostic peuvent être utilisées pour la refonte du système.

Notre choix de la maintenance prédictive est motivé par les points suivants :

- 99% des pannes des équipements sont précédés par des signes de dégradation.
- Selon le la figure I.11 le temps de bon fonctionnement d'un système de production est le plus grand.

- Elle permet un ensemble d’actions qui convient avec la m-maintenance (table I.2).

I.8 Conclusion

L’intégration des TIC dans la maintenance industrielle a donné naissance à de nouvelles formes de maintenance telle que la m-maintenance. Cette dernière vise à réduire la gestion des coûts et du temps. En outre, un accès facile à des informations pertinentes à distance est fourni, ce qui libère l’utilisateur des contraintes géographiques.

Dans ce chapitre deux grands axes ont été développés ; la maintenance industrielle et les TIC. Dans la première partie, nous avons présenté le rôle de la maintenance et ces différentes politiques. De plus, les enjeux actuels de la maintenance ont été discutés ainsi que son évolution. Dans cette partie, l’accent a été mis sur la maintenance prédictive, car nous la considérons comme la politique la plus convenable comme nous l’avons déjà discuté précédemment.

Tandis que la deuxième partie a été consacrée aux TIC, où leurs effets et leurs impacts sur la maintenance sont discutés. L’illustration de cette discussion est résumée dans deux tableaux qui appuient et qui résument ceci. Le premier tableau débat les effets négatifs et positifs sur la maintenance. Le deuxième résume une recherche bibliographique de l’intégration des TIC dans la maintenance qui nous a permis de voir de près cette intégration.

Dans le chapitre suivant nous allons présenter une étude comparative des différents travaux basés sur la maintenance industrielle et les TIC.

Chapitre II

Contexte et problématique

II.1 Introduction

La première partie de ce chapitre présentera un complément bibliographique à propos de l'Intelligence Artificielle (IA). Ce terme qui a vu le jour dans les années cinquante, est toujours présent et joue un rôle primordial dans le développement non seulement des systèmes industriels mais aussi dans notre vie quotidienne. Nous présenterons l'intelligence artificielle distribuée et les systèmes multi-agents avec leur taxonomie. Parmi les outils de l'IA nous allons détailler les agents mobiles.

Dans la deuxième partie, notre objectif sera d'étudier les principaux enjeux de notre recherche en partant des manques constatés dans les travaux existants. Nous allons pouvoir se situer, pour ensuite proposer les pistes développées dans nos propres travaux. Une étude comparative sera effectuée dans cette partie où différents points vont être étudiés afin de mener au mieux notre recherche.

Par ailleurs, l'étude que nous allons effectuer est l'analyse des différentes plateformes proposées, où des caractéristiques en lien direct avec la m-maintenance sont :

- Type de maintenance traitée (maintenance corrective, maintenance prédictive, maintenance améliorative ...etc.),
- Technologie de communication utilisée (technologie web, téléphonie intelligente ...etc.),
- Méthode d'IA choisie (colonie de fourmi, système expert, technologie agent ...etc.).

Les différents travaux étudiés vont d'un concept général pour arriver au spécifique. Nous envisagerons en premier, l'impact et l'apport de l'IA dans l'industrie et la maintenance. Nous allons nous focaliser sur l'apport des technologies intelligentes à l'industrie. Cet apport a joué un rôle

important dans les systèmes industriels étudiés.

Nous avons déjà présenté les TIC et leurs impacts dans l'industrie précédemment. Les avantages et les inconvénients de chaque étude sont résumés dans un tableau. La dernière partie est orientée vers l'intégration de la technologie agent dans la maintenance industrielle intelligente. Cette dernière est l'informatisation de la maintenance par le biais d'internet [26]. Une analyse sera faite afin d'optimiser chaque travail.

Nous allons étudier différents travaux, à partir desquels notre recherche présentera de nouvelles propositions adéquates. Un résumé à la fin de ce chapitre nous permettra de bien définir notre cadre d'étude.

II.2 Intelligence Artificielle

L'IA, a été introduite en 1956 à la conférence de Dartmouth. Elle a considérée le programme comme une entité capable de rivaliser avec l'être humain dans certains domaines. Suite à l'évolution technologique et à l'apparition des machines multiprocesseurs, les ordinateurs se trouvent face à des tâches de plus en plus complexes. D'où la nécessité de décomposition des programmes informatiques pour des résultats plus performants. Par contre la conception centralisatrice et séquentielle des programmes se heurte à plusieurs obstacles d'ordres aussi bien théoriques que pratiques. De ce fait, un nouveau domaine apparu au début des années 70 basé sur l'intelligence artificielle traditionnelle qui est l'Intelligence Artificielle Distribuée ou IAD.

II.2.1 Intelligence Artificielle distribuée & systèmes multi agent

J. Ferber [30] définit l'IAD par : « *une discipline qui a pour objet de réaliser des organisations de systèmes capables de résoudre des problèmes par le biais d'un raisonnement le plus généralement fondé sur une manipulation de symboles.* »

L'IAD est fondée selon Ferber sur le principe suivant ; l'intelligence est comme la science, elle se développe convenablement par un entourage adéquat. Elle constitue la décomposition des systèmes complexes afin de gérer d'une manière efficace la grande quantité de connaissance. L'obtention des entités modulaires, flexibles avec un temps de réponse sera plus rapide.

Une autre définition a été proposée en 1988 par A.H. Bond et L. Gasser [12] dans laquelle ils illustrent l'IAD sous forme de combinaison de l'informatique distribuée et l'IA (figure II.1).

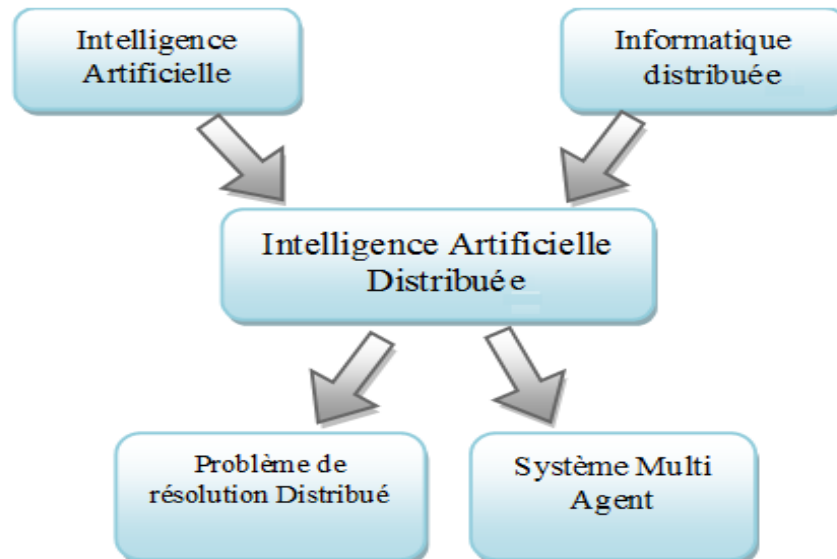


FIGURE II.1 – Contexte de l'IAD

L'IAD est divisée en deux grands axes de recherches : « *Problème de Résolution Distribuée* » et « *Système Multi Agent* » [12].

Problème de résolution Distribuée considère que la résolution d'un problème particulier peut être divisée en un certains nombres de parties ou modules. Ces derniers coopèrent au niveau de la division et le partage de connaissances concernant le problème ainsi que le développement de la solution [12].

Système Multi Agent (SMA) est « *un ensemble d'entités nommées agent qui coordonnent leurs connaissances, buts, expériences et plans pour agir ou résoudre des problèmes, incluant le problème de la coordination inter-agent lui-même* » [12].

Cette entité est : « *Un système informatique, situé dans un environnement, et qui agit d'une façon autonome et flexible pour atteindre les objectifs pour lesquels il a été conçu.* » [29].

La notion ***située*** ; signifie que l'agent est capable d'agir sur son environnement à partir des données reçu sur ce dernier. Sur cet environnement l'agent est aussi capable de contrôler son état interne et ses propres actions. Sa faculté d'agir sans l'intervention d'un tiers lui permet d'être ***autonome***. Il est aussi apte à prendre l'initiative tout en gardant un comportement proactif, c'est à dire qui anticipe les résultats à fournir à un problème donné. Ainsi une réponse dans

des délais requis est assurée. Cette réponse peut être obtenue en percevant l'environnement. Il interagit avec les autres agents afin de compléter ses tâches ou aider d'autres agents à accomplir les leurs. Ce qui donne à l'agent l'aspect de *flexibilité*.

Le comportement global du système résulte de l'ensemble de comportements individuels des agents et leurs interactions. C'est un intelligent comportement.

N. R. Jennings et M. Wooldridge [28], présentent une illustration sur les SMA (figure II.2), dans laquelle ils affirment que les perceptions des agents sur leur environnement peuvent être en intersection. Par contre la sphère d'influence change d'un agent à l'autre.

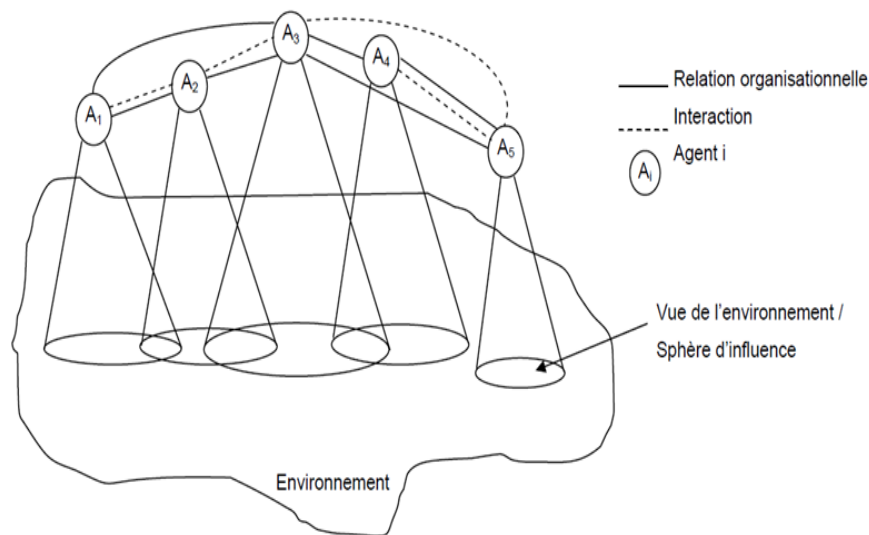


FIGURE II.2 – Illustration des SMA

L'implication des agents et leurs interactions dans un système est nommée : système social. De ce fait l'IAD a été considérée en tant que système social par B. Chaib-Draa et ses collègues [14]. Leur travail présente une taxonomie de l'IAD en trois dimensions : les aptitudes sociales d'un agent individuel, l'organisation d'agents, et le contrôle dynamique de cette organisation (figure II.3).

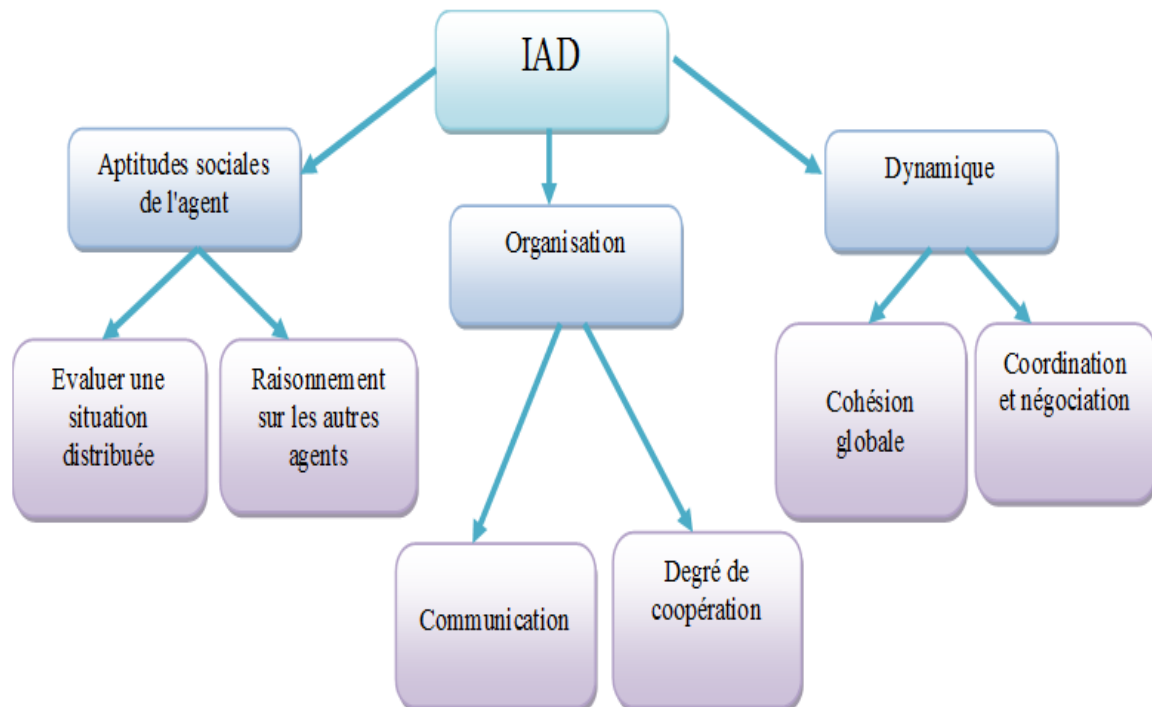


FIGURE II.3 – Taxonomie de l'IAD [14]

Les aptitudes sociales d'un agent individuel dans l'IAD exigent d'évaluer une situation distribuée ainsi qu'elles peuvent raisonner sur les autres agents de l'environnement. *Ce raisonnement sur les autres agents* est la capacité d'analyser les actions des agents et leurs plans afin de prédire leurs comportements. Chaque comportement sera déterminé suivant les actes des autres agents. Ce raisonnement est effectué grâce à la négociation entre les agents. Les connaissances et les croyances sur l'environnement et les autres agents évoluent grâce à cette négociation. De ce fait, les agents font à tout moment face à une grande variété d'information. Tout en sachant quelle est la connaissance la plus pertinente et quelle action doit-il exécuter. A titre d'exemple qui fait quoi?, quand? et comment? Pour résoudre ce problème, *une évaluation de la situation* est requise. L'agent doit évaluer son environnement où il évolue avec les autres agents. Généralement, l'évaluation de la situation implique l'acquisition, l'organisation et l'abstraction d'informations sur l'environnement. Cette évaluation est une bonne corrélation avec les attentes de l'agent ou elle crée des nouvelles.

Il est indispensable de développer un système d'IAD plus adaptable en suivant quelques concepts de base de l'organisation et du changement organisationnel.

Une organisation est définie selon les mêmes auteurs en tant qu'un ensemble d'agents avec des engagements mutuels et globaux. De plus, cette organisation dispose des croyances mutuelles et

des intentions communes lorsque les agents agissent ensemble pour atteindre un objectif donné. Les croyances, les intentions et les engagements sont déterminés par *le degré de coopération* entre les agents. *La méthodologie de communication* est un facteur très important dans le degré de coopération entre agents. Cette dernière permet aux agents d'échanger les croyances, les intentions et les engagements. Tandis que le degré de coopération caractérise la quantité d'échange entre les agents. Cette coopération peut aller d'une part entière à une coopération antagoniste. Dans la coopération entière, les agents sont en mesure de résoudre les problèmes non-indépendants. Ils peuvent modifier leurs objectifs pour répondre aux besoins d'autres agents afin d'assurer la cohésion et la coordination. Inversement, les systèmes antagonistes peuvent ne pas coopérer du tous et peuvent même bloquer les objectifs de chacun.

A ce stade, une question cruciale se pose : comment peut-on arriver à un comportement cohérent d'agents et une coordination de leurs ressources distribuées ?

Les agents coopèrent afin d'obtenir un comportement cohérent ou global. Leurs coopérations d'actions vont dans la même direction afin d'atteindre un objectif global ou commun. Les informations communiquées entre les agents affectent également une cohérence. Là dessus, Durfee et ses collègues ont affirmé qu'afin d'atteindre un comportement cohérent, trois caractéristiques majeurs doivent être prise en compte : la pertinence, la rapidité, l'exhaustivité.

La pertinence mesure la quantité d'informations cohérente avec la solution dérivée par le groupe d'agents. Les messages non pertinents peuvent rediriger l'agent recevant à perdre ses ressources de traitement dans les tentatives d'intégrer des informations incohérentes. Plus la pertinence des informations communiquées est élevée plus une cohérence globale est obtenue. Pour atteindre cette dernière la pertinence seule n'est pas suffisante. La rapidité d'un message transmis aussi joue un rôle important. Elle mesure le degré auquel un message transmis va influencer l'activité actuelle de l'agent de réception. De cette façon, toute information transmise, qui redirige l'agent de réception de travailler dans une zone plus prometteuse, doit être envoyée rapidement. Cela peut engendrer une redondance des informations communiquées. Dans cette intention, les messages échangés doivent être exhaustif. L'intégralité d'un message mesure la fraction d'une solution complète que le message représente.

L'exhaustivité affecte la cohérence en réduisant le nombre de messages partiellement ou totalement redondants communiqués entre agents. De toute évidence, les agents doivent trouver une technique appropriée pour travailler ensemble dans l'harmonie. Cette technique dépend de

la répartition des ressources partagées et de l'autonomie locale d'agents. Cette harmonie globale peut être assurée par la coordination et la négociation des agents. Ces derniers devraient coordonner leurs ressources distribuées qui pourraient être physique (comme les capacités de communication) ou abstrait (telles que des informations sur la décomposition de problème). La coordination est sans aucun doute l'aspect fondamental d'un système distribué et du comportement intelligent. Pour que celle-ci soit efficace, elle nécessite une structure souple, une capacité de raisonnement et un échange structuré d'informations pertinentes. La négociation est essentielle pour avoir une coordination optimale. La négociation est défini par Durfee [21] comme : « *processus d'amélioration d'accord (réduction de l'incohérence et de l'incertitude) sur les points de vue ou les plans communs à travers l'échange structuré de l'information pertinente* ».

II.2.2 Agent mobile

Contrairement aux agents ordinaux, un agent mobile n'est pas lié au système d'exécution initial. Il a la capacité unique de se transporter d'un système à l'autre. Cette capacité de déplacement permet à un agent mobile de passer vers un système contenant un objet avec lequel il veut interagir. L'avantage acquit est d'être dans le même hôte ou réseau que l'objet [35].

L'agent mobile se compose des éléments illustrés par la figure II.4 [60] :

- l'itinéraire contient et enregistre la position actuelle et les itinéraires ;
- le code est une suite d'instruction définissant le comportement de l'agent ;
- l'état dans lequel il y a l'ensemble d'états de l'agent ;
- l'hôte, sauvegarde la position du serveur ;
- autres détails ; stock d'autres informations liées à l'agent, afin que les opérateurs sachent ce que l'agent est le propriétaire de l'action.

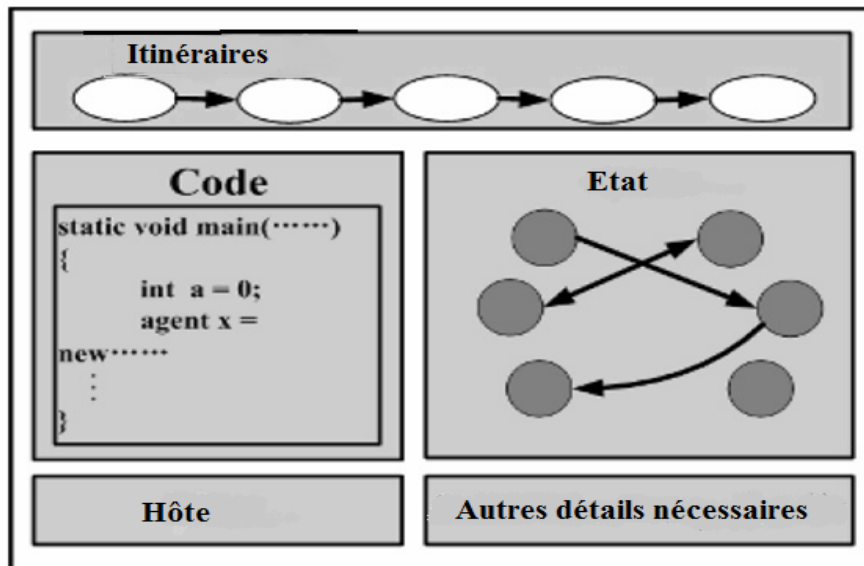


FIGURE II.4 – Structure interne de l'agent mobile [60]

Les agents mobiles offrent plusieurs avantages [35] :

1. Ils réduisent la charge du réseau et permettent de conditionner une conversation et l'expédier à l'hôte de destination, où les interactions peuvent avoir lieu localement. Souvent les systèmes distribués reposent sur des protocoles de communication qui impliquent de multiples interactions pour accomplir une tâche donnée. Ils permettent également de réduire le flux de données lorsque le stockage est très volumineux. Le traitement se fait localement.
2. Ils surmontent la latence du réseau. Plusieurs systèmes tels que ceux à temps réel font face à des temps de latence significatif à cause de la taille importante du réseau. Grâce à la capacité d'expédition des agents mobiles la latence est surmontée. Ces agents peuvent être expédiés à partir d'un contrôleur central afin d'agir localement et exécuter directement les instructions du contrôleur.
3. Ils encapsulent les protocoles. Les agents mobiles, peuvent se déplacer à des hôtes distants et établir des « canaux » basé sur des protocoles propriétaires.
4. Les agents mobiles s'exécutent de manière asynchrone et autonome, car après leurs créations ils deviennent indépendants du processus de création. Ces caractéristiques assurent une bonne connexion ouverte en permanence entre deux hôtes. Leurs différentes tâches peuvent être intégrées dans les agents mobiles qui vont être distribués dans le réseau et accomplir leurs actions.
5. Ils s'adaptent dynamiquement. Les agents mobiles ont la capacité de détecter leur envi-

ronnement d'exécution et de réagir de manière autonome à des changements. Plusieurs agents mobiles possèdent la capacité unique de se répartir entre les ordinateurs dans le réseau de façon à maintenir la configuration optimale pour résoudre un problème particulier.

6. Les agents mobiles sont de natures hétérogènes. Ils offrent des conditions optimales pour l'intégration transparente du système. Généralement, ils sont indépendants de l'ordinateur et de la couche de transport. Les agents mobiles ne dépendent que de leur environnement d'exécution.
7. Ils sont robustes et tolérants aux pannes. La capacité des agents mobiles pour réagir dynamiquement à des situations et des événements défavorables rend la construction des systèmes distribués robustes et tolérants aux pannes plus faciles. Si un hôte est arrêté, tous les agents en exécution sur cette machine seront avertis afin d'expédier leurs codes et de poursuivre leurs opérations sur un autre hôte dans le réseau.

II.3 Impact de l'IA dans l'industrie et la maintenance industrielle

L'IA est l'un des facteurs majeurs qui ont apporté une amélioration non seulement dans la vie quotidienne mais aussi dans l'industrie. Dans cette section nous allons présenter quelques travaux dont une solution et une amélioration a été apportée en utilisant l'IA, au niveau de l'industrie ou la maintenance.

La complexité des produits est en augmentation constante, tandis que son cycle de vie est en déclin rapide. C'est particulièrement le cas des produits de haute technologie. Qui avec des courts cycles de vie sont livrés aux marchés afin de garantir des profits élevés. Les produits de haute technologie sont conçus pour s'assurer que les anciens produits ont tendance à devenir obsolète ; ils seront incapables de rivaliser en termes de fonction, conception et coût.

Les entreprises, par conséquent, doivent établir un plan de transition du produit stratégique pour améliorer les ventes et maintenir le contrôle sur le marché en permanence. Dans le cas où la détermination du point de transition d'un produit est retardé, un danger d'une surproduction de stock se produit. Ce qui résulte une baisse de bénéfices et d'image de marque, en raison de ventes en fonction d'actualisation excessifs. Par conséquent, la livraison de nouveaux produits se prolonge, menaçant davantage leur avenir sur le marché.

En général, déterminer le moment où un produit ancien est remplacé par un nouveau produit est très difficile à prévoir et est accompagnée par diverses incertitudes. Les entreprises sont dans l'obligation de faire des efforts concertés pour déterminer le point de transition d'un produit, car la plupart des produits qui entrent dans la phase de déclin subissent une baisse des ventes et une augmentation des coûts de gestion d'entrepôt.

Afin de répondre à ce type de problème, plusieurs solutions dans la littérature sont présentes [16], [15], [44], [56], [31]. Nous présentons dans cette partie la proposition de J.Oh et al. [31] qui utilise un outil d'IA afin de déterminer le point de transition d'un produit (figure II.5). A cet effet ils ont choisis la logique floue.

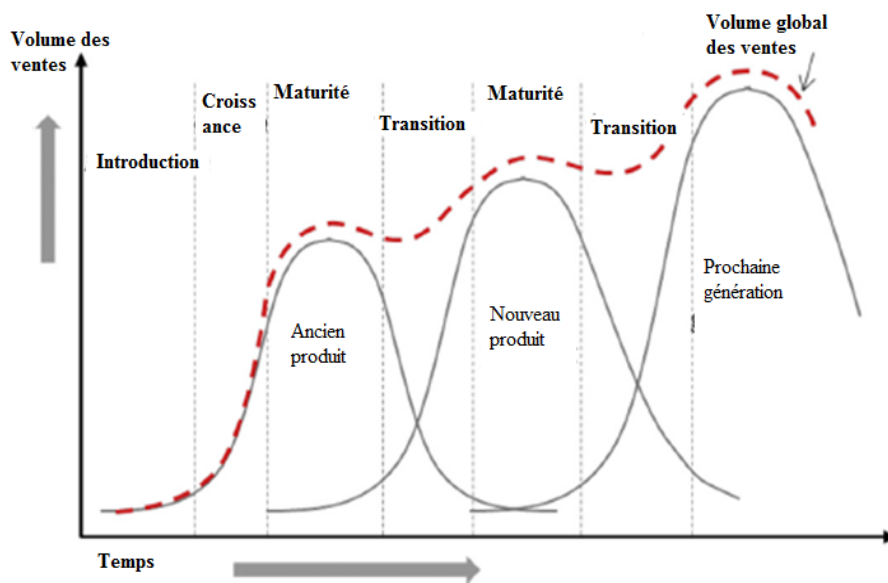


FIGURE II.5 – Tendence du volume des ventes accumulé à un point de transition du produit [31]

Le travail présenté par [31], propose une méthode de prise de décision à base de la logique floue qui évalue la maturité du produit en prenant en considération les incertitudes du marché et les caractéristiques liées aux activités de l'entreprise. Les résultats de l'évaluation seront appliqués au modèle qualitatif de logique floue pour déterminer efficacement quand un produit sera interrompu. Également un modèle d'évaluation d'inférence floue basé sur la demande actuelle du marché et les volumes de ventes a été proposé. Leur approche propose de déduire la priorité de discontinuité pour les produits à abandonner ou à remplacer par de nouveaux produits.

Une évaluation a été réalisée sur trois modèles de machine à laver : SEW-HSR109ARB, VC-MBQ936 et RE-C20SY. Pour les produits de discontinuité et en termes d'évaluation quan-

titative, une priorité plus élevée est accordée au premier modèle. Ce modèle représentait des ventes de 1,8 millions de dollars, tandis que les deux autres modèles représentaient des ventes de 1,6 millions de dollars. Le résultat d'inférence du système crée, a cependant, évalué la discontinuité du produit avec un score de fin de vie (*End-of-life* ou *EOL*) de 25.27%. Ceci a sélectionné ce modèle, malgré que son volume de vente fût élevé.

D'après les résultats obtenus à travers cette étude, il est clair que la logique floue a permis d'obtenir des résultats satisfaisants. Néanmoins, le fait d'exprimer les connaissances sous la forme de règles en langage naturel ne permet pas de prouver que le système aura un comportement optimal. La logique floue permet un comportement totalement ad hoc. Ce qui signifie que le raisonnement est trop spécifique, donc aucune généralisation. Toutefois, il existe plusieurs techniques dans l'IA qui permettent d'obtenir un résultat optimal tel que : les colonies de fourmis, les réseaux neuronaux, la technologie agent ...etc.

Dans le travail de O. Kadri [51], nous trouvons la proposition des algorithmes de colonies de fourmis. Cette proposition développe des modèles de diagnostic qui sont performants tout en obtenant des résultats facilement interprétables par l'utilisateur. L'auteur s'est intéressé à trois algorithmes dont plusieurs adaptations ont été proposées. Les algorithmes ; *AntTreeStoch*, *Lumer & Faieta* et *Binay ant colony* présentent des faiblesses qui leurs privent de résoudre le problème de diagnostic des systèmes dynamiques et complexes. L'auteur a amélioré ces trois algorithmes, non seulement en augmentant la vitesse de décision mais aussi en perfectionnant la qualité de classification.

L'évaluation des algorithmes ainsi que les modifications apportées ont été effectuées à travers deux systèmes du monde réel : la société des ciments d'Aïn Touta à Batna (SCIMAT) et l'unité de laiterie Aurès (ULA). Les expérimentations ont été effectuées en utilisant des données simulées et des données réelles des deux systèmes industriels cités précédemment. Deux bases de données concernent la SCIMAT où 500 et 200 observations sont utilisées respectivement. La troisième base contient 300 observations de l'ULA.

L'évaluation des algorithmes a été effectuée séparément. L'amélioration apportée sur le premier algorithme, *AntTreeStoch*, a permis la prise en compte des nouvelles observations pour l'évolution des modes de fonctionnement dans le but d'obtenir un diagnostic sans erreur. Une version parallèle de l'algorithme *AntTreeStoch* basée sur un système multi-agents réactifs est proposée. Avec l'ajout de certains paramètres il arrive à minimiser le temps de reconnaissance des nouvelles informations et de faciliter l'interprétation de l'arbre réduite de données. L'expert

dans ce cas, aura la possibilité d'exploiter cet arbre par le biais d'une application afin de prédire les dysfonctionnements.

Dans le deuxième algorithme, *Lumer & Faieta*, plusieurs paramètres ont été ajoutés afin de minimiser le nombre de déplacement, accélérer la vitesse de construction de classe ainsi que la qualité de classification. L'auteur a prouvé qu'une classification rapide et optimale peut être obtenue. Il a réalisé une représentation graphique à travers laquelle l'expert va pouvoir détecter l'apparition d'une nouvelle classe de dysfonctionnement. Les deux algorithmes précédents sont utilisés pour l'étape de classification.

Pour l'étape de sélection de paramètres, une variante nommée *Hybrid wrapper/filter-based ACO-SVM* est ajoutée à l'algorithme. La technologie agent a aussi été présente dans l'application de cet algorithme. Selon les résultats obtenus par l'auteur, il existe toujours une convergence vers une solution optimale avec un taux satisfaisant dans toutes les exécutions.

Cette étude exploite d'autres techniques de l'IA, qui ont permis d'aller vers une solution optimale. Néanmoins, la technique de colonies de fourmis présente quelques inconvénients qui nous ont permis de la mettre à l'écart, tel que le temps d'exécution qui peut être parfois long et la possibilité de tomber sur un état bloquant.

Un autre modèle de calcul inspiré du corps humain et très présent dans l'IA ; les réseaux de neurones artificiels. Leur fonctionnement est inspiré du fonctionnement des neurones biologiques. Ils peuvent être entraînés à un certain nombre d'activités semblablement réalisé dans le travail de Z. Zhenyou et al. [66]. Les auteurs ont proposé une méthode de classification des défauts et la prédiction de dégradation des composants dans un système manufacturier. L'analyse se concentre sur les signaux de vibrations recueillies par les capteurs montés sur les machines pour la surveillance des composants essentielles. Les signaux prétraités ont été décomposés en plusieurs signaux contenant une approximation. Les détails sont clairs à l'aide de paquets de décomposition en ondelettes (*Wavelet Packet Decomposition* ou *WPD*). Ces signaux sont transformés en domaine de fréquence en utilisant la transformée rapide de Fourier (*Fast Fourier Transform*). Les caractéristiques extraites du domaine de fréquence pourraient être utilisés pour former et apprendre des réseaux de neurones artificiels (RNA). Les RNA formés peuvent prédire la dégradation et peuvent aussi identifier les défauts des équipements. La technique utilisée dans ce travail est la rétro-propagation qui est un réseau *feed-forward* à plusieurs couches contenant habituellement : la couche d'entrée, une couche cachée et la couche de sortie. L'avantage offert par ce réseau de neurone est la non nécessité de connaître la forme

exacte de la fonction analytique sur le quel le modèle devrait être construit. En outre, le réseau peut apprendre et stocker beaucoup de modèle de cartographie d'entrée-sortie sans équations mathématiques qui la décrivent. Après la formation, les signaux en temps réel sont collectés et utilisés pour interroger le réseau de neurone afin d'obtenir l'état des composants surveillés. Ceci va permettre d'évaluer la durée de vie restante et la prise de décision de maintien en fonction de la condition.

Afin de confirmer le bon fonctionnement du système proposé et sa validation, les auteurs ont effectué un cas d'étude. Le cadre choisis fait partie du projet SFI-Norman [66] qui a pour but d'atteindre un système manufacturier avec zéro panne et une fabrication à zéro défaut. Un programme a été développé nommé « *Intelligent Blower Fault diagnostic and pronostic* » avec 200 signaux de formation et une couche intermédiaire (RNA) qui contient 20 nœuds. Les résultats obtenus de ce système était approuvable.

Malgré que la technique utilisée apporte des résultats très satisfaisants, nous remarquons qu'un simple défaut sur la machine adoptante des RNA peut tout bouleverser. Le fait que le réseau est à plusieurs couches représente un désavantage majeur. Il suffit d'avoir une dégradation ou un problème dans une des couches ou dans l'un des nœuds et les résultats seront incorrecte. Ceci nous a mené vers un type spécifique d'agent qui peut surmonter ce genre de problème.

En résumé, l'introduction de l'IA dans l'industrie a démontré ces capacités. Elle a permit un développement considérable au niveau de la production et la qualité des produits. Les travaux présentés précédemment confirment que l'intégration d'un outil ou une méthode d'IA, perfectionne les résultats attendus d'un système manufacturier. Dans ces travaux, la logique floue a joué un rôle important dans la décision du point de transition d'un produit. En outre, une résolution du problème de diagnostic des systèmes dynamiques et complexes est atteinte par l'adaptation et l'amélioration des algorithmes de colonies de fourmis. Ainsi, les réseaux de neurones artificiels ont aidé à la réalisation d'une méthode de classification des défauts et la prédiction des dégradations des équipements industriels. Néanmoins, quelques inconvénients ont été toujours présents. À travers cette étude nous avons pu nous orienté vers une technologie d'IA qui peut surmonter les inconvénients déjà cités. Nous avons cerné notre choix à la technologie agent. Elle a prouvé sa capacité et son aptitude dans plusieurs domaines tel que l'industrie ce qui nous a mené à entamer l'apport de cette technologie dans le secteur industriel.

II.4 L'apport de la technologie agent à l'industrie

La complexité des environnements industriels, ainsi que la complexité des tâches résolues au sein de ces environnements, sont en croissance continue. Dans des nombreuses industries, les approches traditionnelles centralisées et hiérarchisées appliquées ne sont pas suffisantes. Elles peuvent échouer en raison de leurs insuffisances face au degré élevé d'exigences de complexité, de robustesse et de reconfiguration. Ces enjeux ont conduit au développement de nouvelles architectures et de solutions hautement distribués, autonomes et coopératives. Afin d'atteindre ce niveau, l'application des systèmes multi-agents (SMA) devient clairement visible à l'esprit et permet de résoudre ce genre de problèmes. Un résumé est illustré dans la table (II.1).

Les SMA ont été utilisés afin de gérer les systèmes distribués pour le suivi des processus chimiques et leurs diagnostics [58]. Chaque agent est composé : d'un système modulaire de commande, d'une base de données, d'un bloc de communication, d'une base de connaissances, d'un processeur d'informations et d'un bloc d'écoute et d'acquisition de données de réseau. L'échange de connaissances entre les agents se fait à travers la traduction automatique des langues de messages, programmés sous CKRL (*Common Knowledge Representation Language*) et basé sur le langage de programmation C ++. Les alarmes de surveillance sont déclenchées lorsque les seuils fixés sont dépassés et un message de requête est envoyé. Le message comprend les identifications de l'expéditeur et indique une situation anormale au groupe des agents connectés. Dans le cas où aucune information ne correspond aux mots clé reçus dans le domaine de connaissance chez l'agent récepteur sur les variables mesurées. L'agent récepteur passera le message aux agents connectés. Ces derniers peuvent avoir l'information associée du processus afin d'éviter une interruption de la circulation de l'information et de la communication jusqu'à susciter la conclusion.

Dans [58], il est clair que les agents jouent un rôle primordial dans la proposition d'un diagnostic approprié aux situations anormales. La suggestion était l'utilisation des SMA pour une détection de défauts en temps réel et une solution d'isolation. Leur proposition, selon les auteurs, ne sera pas seulement de rendre les opérations plus rapides, mieux et moins cher. Cette proposition est plus sûre en réduisant la probabilité de défaillances opérationnelles et des catastrophes. Aussi d'améliorer la disponibilité du système tout en éliminant les défaillances soudaines.

Une des premières architectures à base d'agents est un système développé afin de surveiller la séquence de démarrage d'une turbine à gaz, COMMAS (*COndition-Monitoring Multi-Agent*

System) [42] (figure II.6) basée sur une architecture trois tiers pour la surveillance d'état et sur la technologie des agents intelligents. Il s'agit d'un modèle logique d'architecture applicative qui vise à modéliser une application comme un empilement de trois couches logicielles. Des agents (agent raisonnement, agent de confirmation et agent méta-connaissance et raisonnement) sont dispersés à travers les tiers de cette architecture. L'agent raisonnement détecte le signal de la machine, constate la déviation, et met à jour les informations. Ces informations sur l'état de la machine sont extraites par l'agent confirmation à partir des données reçues de l'agent raisonnement. L'authenticité du signal par le capteur est également vérifiée. En cas de défaillance une tentative est effectuée pour trouver la raison. Le dernier agent est le moteur d'inférence. Il contient une vision globale sur tout le système et évalue l'état de l'usine.

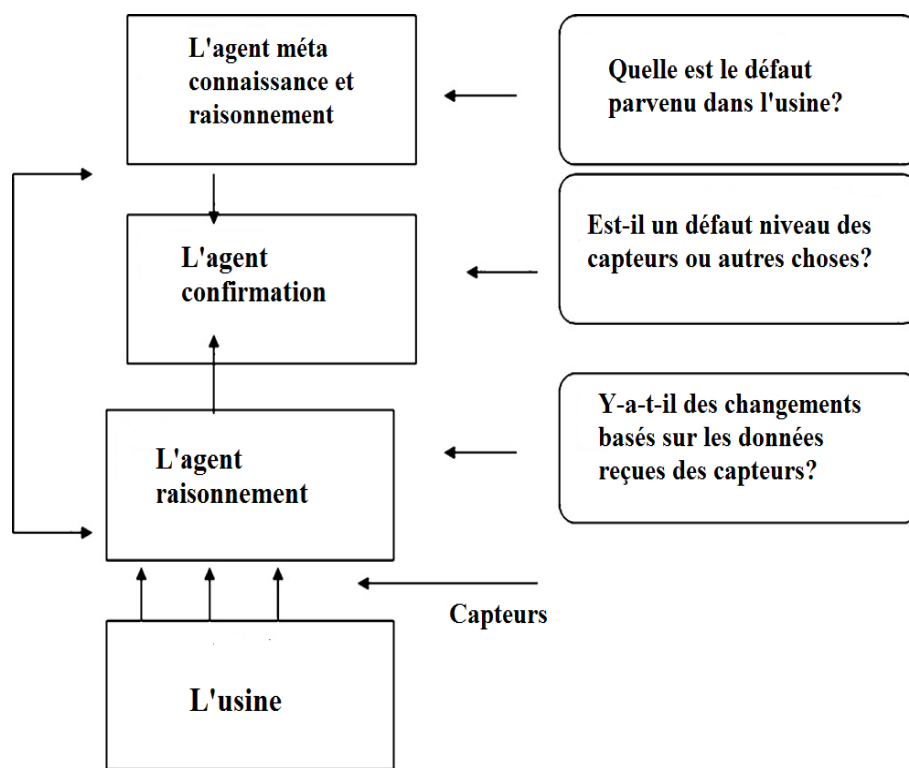


FIGURE II.6 – COndition-Monitoring Multi-Agent System (COMMAS)[42]

Ce système dispose aussi d'un agent interface. Les agents utilisent la logique modale pour le raisonnement interne au sein de l'approche théorique du modèle BDI (*Belief-Desire-Intention*). La communication entre les agents dans les différents tiers est assurée grâce au protocole de communication et JATLite. JATLite est un logiciel développé sous JAVA qui supporte les standards de communication à travers FIPA-ACL (*Agent Communication Language*). Ce dernier facilite l'exécution des agents sur différentes plateformes et assure la communication par le biais d'internet.

La prédiction des défauts graves est assurée à travers cette étude, néanmoins un trafic réseau

peut être affronté à cause de la communication. Ceci représente l'inconvénient majeur de l'approche proposée. Ainsi, l'architecture choisie des agents du système manque de mécanismes spécifiques pour apprendre des comportements passés et de s'adapter aux situations nouvelles. Ce qui nous a éloigné d'adopter une telle architecture.

Récemment, plusieurs intelligences ont été associées dans le travail de Rezki et al. [49] pour le contrôle d'un processus multivarié qui constitue une tâche complexe. Elle est divisée en quatre sous-tâches ; la détection des situations anormales, le diagnostic des défauts, l'identification des variables qui ont causé la défaillance et la reconfiguration du processus. Les auteurs visent de regrouper toutes les étapes dans un seul système. Leur contribution principale consiste à rassembler dans un système multi-agent différentes intelligences (cartes multi-variées de contrôle, réseaux neuronaux, réseaux Bayésiens, et systèmes experts) pour un contrôle d'un processus multi-varié. La figure II.7 illustre l'architecture du système proposé.

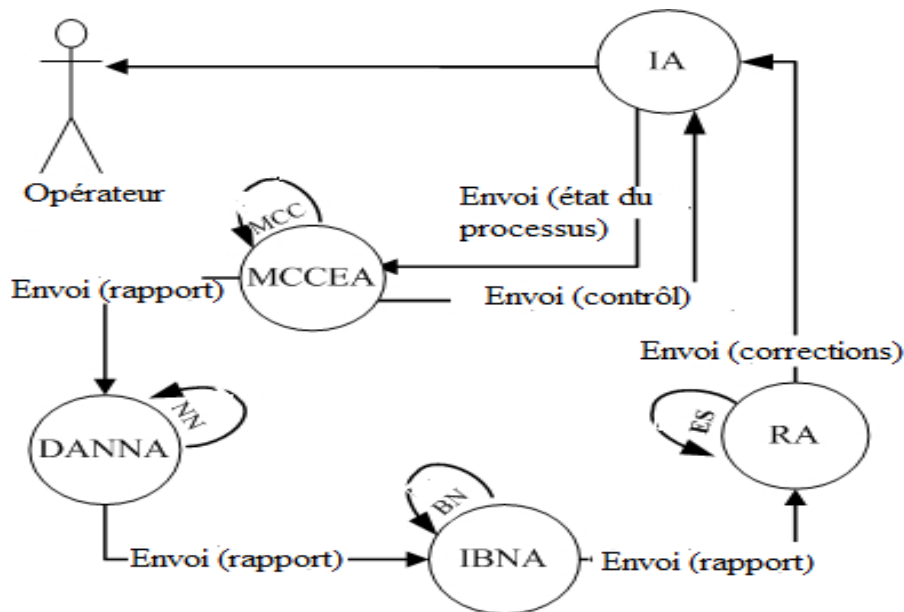


FIGURE II.7 – Architecture du système proposé [49]

Les agents du SMA proposé sont dédiés à des tâches différentes :

- a *IA (Interface Agent)* : est un agent réactif qui joue le rôle d'un pont entre le système et l'opérateur. Il reçoit et envoie les données de et vers le personnel.
- b *MCCEA (Multivariate Control Chart Executor Agent)* : est un agent consacré à l'exécution simultanée d'un ensemble de cartes multi-variées afin d'assurer une détection plus facile et rapide de l'instabilité d'un processus.
- c *DANNA (Diagnosis Artificial Neural Network Agent)* : est un deuxième agent qui a pour

but d'offrir un raisonnement intelligent afin d'obtenir un diagnostic meilleur des défauts.

Le raisonnement de cet agent est effectué par les réseaux de neurones. Un Perceptron classique multicouche a été créé pour accomplir le diagnostic.

d *IBNA (Identification Bayesian Network Agent)* : L'étape d'identification a été réalisée par un agent où les réseaux Bayésiens sont intégrés.

Finalement, afin de regrouper toutes les tâches de surveillance du processus (détection, le diagnostic, l'identification, et la reconfiguration) dans un seul système, les auteurs ont ajouté un autre agent qui permet à l'opérateur de reconfigurer le processus après son échec *Reconfiguration Agent(RA)*. L'évaluation des performances de l'approche proposée a été réalisée à travers le processus TEP (*Tennessee Eastman Process*). Ce dernier est un processus complexe avec une grande quantité de données. Les taux obtenus via cette évaluation étaient très satisfaisants.

Cette étude nous a attiré particulièrement par l'hybridation de plusieurs intelligences, à partir la quelle nous nous sommes inspiré. Ainsi que les résultats obtenus, qui sont selon les auteurs [49] fiable et que nous trouvons très probant. Cependant, la latence du réseau doit être prise en compte.

II.5 Les TIC et la maintenance industrielle

Dans la littérature, différents travaux abordent la maintenance à distance (e-maintenance). Dans cette sous section, nous allons présenter des études qui propose une maintenance croisée avec les nouvelles outils technologiques. A travers leurs présentations nous allons extraire les différentes technologies ainsi que le type de maintenance adoptée (table II.2).

Wang et al. [62] ont développé un système de diagnostic à distance qui surveille l'état de la machine par le biais d'internet et de communication mobile. Ce système considère XML (eXtensible Markup Language) en tant que noyau et l'utilise pour coder des données de diagnostic et de surveillance. L'utilisation de XML donne à ce système de nombreux avantages, tel qu'un minimum de travail de recherche du côté client, et la simplicité d'étendre le système.

L'architecture proposée est basée sur trois parties : l'acquisition et le traitement des données, la publication des données du diagnostic et la dernière partie est représentée par le coté client (figure II.8). La première partie, acquisition et traitement des données supporte des logiciels qui effectuent l'analyse de données reçues pendant la surveillance. L'acquisition des données peut être effectuée à travers des cameras, des microphones, amplificateurs de signaux et des cartes d'acquisition de données...etc. Ainsi, les données collectées vont être conditionnées en format acceptable par les cartes d'acquisitions afin de les convertir pour une analyse antérieure. Le diagnostic et la définition de l'état sont effectués grâce à un logiciel nommé SAMS (*Smart Asset Maintenance Systems*) développé sous LabVIEW et exécuté dans un autre serveur. Dans le cas où l'état de la machine est dégradé un message est envoyé ainsi qu'un appel est effectué au personnel de maintenance. Après la génération d'un diagnostic, les données vont être codées en fichier XML. Les résultats du diagnostic sont sauvegardés dans une base de données ou traités par un serveur qui les publie par internet ; deuxième partie de l'architecture. Le client (personnel) va pouvoir, ainsi, à travers un navigateur consulté l'état de la machine à distance par un ordinateur connecté a internet ou un téléphone mobile.

Malgré que l'utilisation de XML permet un excellent accès à l'information, mais la centralisation du système engendre la difficulté de sécuriser l'échanges et un débit limité. L'étude de ce travail nous a orienté vers :

- la proposition d'un système décentralisé ;
- adopter la technologie agent mobile qui assure la décentralisation avec des bonnes conditions.

TABLE II.1 – Travaux utilisant la technologie agent dans l'industrie

| Étude & auteur | Technologies utilisées | Objectif de la technologie | Avantages | Inconvénients |
|--|---|--|--|---|
| Gestion des systèmes distribués [58] | Systèmes Multi-Agents | <ul style="list-style-type: none"> - Encapsuler différentes entités logicielles / matérielles distribuées - Distribution de tâches | <ul style="list-style-type: none"> - Accélération due au traitement simultané - Exigences réduites de bande passante grâce au traitement situé près de la source d'information | <ul style="list-style-type: none"> - La manipulation de multiple situation défectueuse représente toujours un problème |
| Surveiller une turbine à gaz [42] | Internet Systèmes multi-agents | <ul style="list-style-type: none"> - Prédire un défaut grave ou échec - Faciliter l'interopérabilité | <ul style="list-style-type: none"> - Système décentralisé - Possibilité d'agir dans un environnement dynamique | <ul style="list-style-type: none"> - Trafic réseau dû à la communication |
| Le contrôle d'un processus multivarié [49] | -Système Multi-Agents -Réseau de Neurones -Réseau Bayésien -Système Expert | <ul style="list-style-type: none"> - Parfaire le contrôle d'un processus industriel complexe | <ul style="list-style-type: none"> + La combinaison de plusieurs intelligences - Possibilité d'application à plusieurs processus | <ul style="list-style-type: none"> - Absence d'apprentissage des agents |

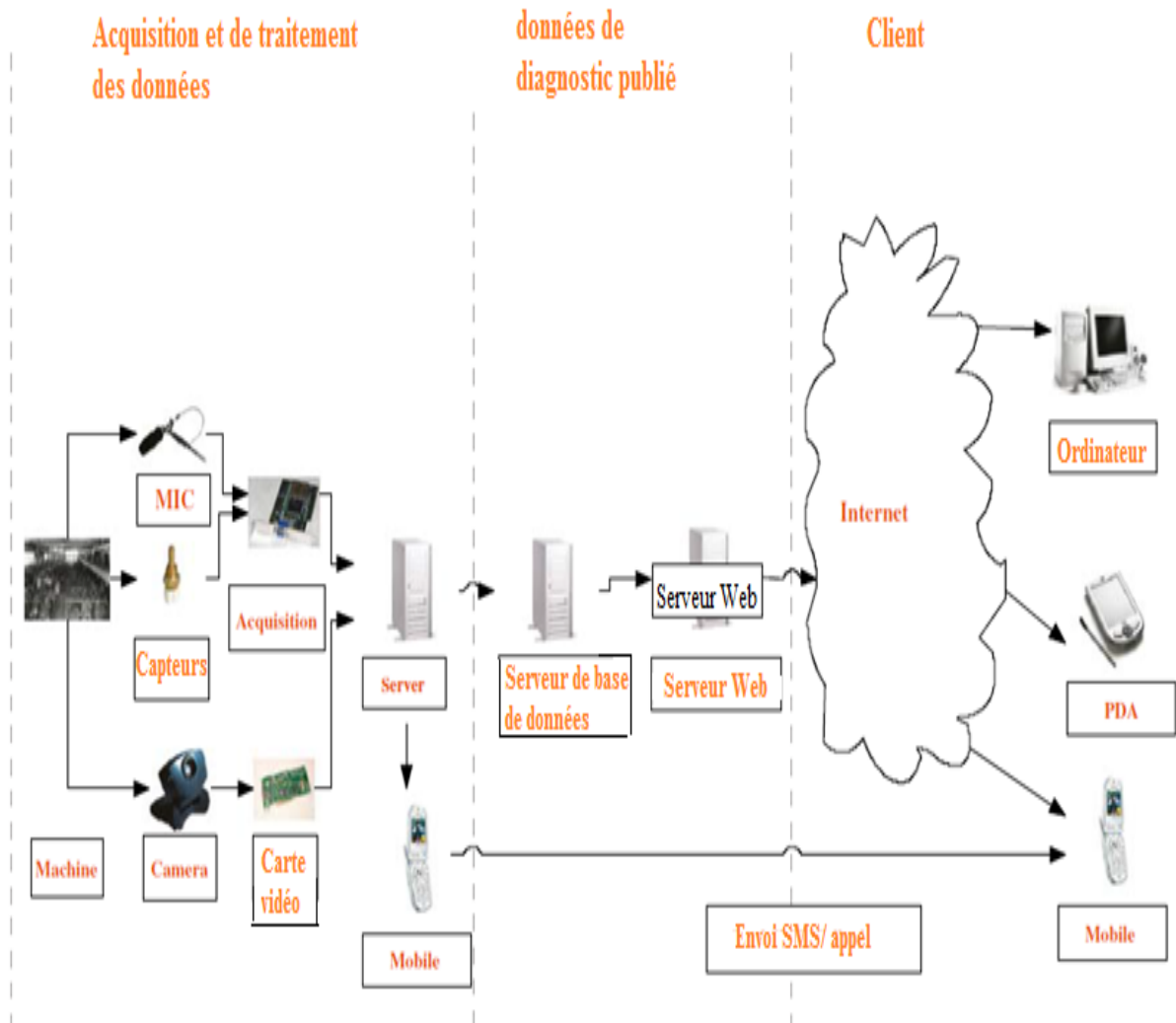


FIGURE II.8 – Architecture de maintenance à distance à travers internet [62]

Une autre étude dans la littérature tourne autour de l'e-maintenance. La plateforme PROTEUS [59], dédiée à la maintenance industrielle, a pour objectif le développement d'une plateforme logicielle pour l'intégration et l'interopérabilité des modules logiciels de maintenance à distance. Elle est liée à l'intégration de tous les outils nécessaires dont les fonctions vont de la détection des alarmes à la gestion des pièces de rechange. L'objectif est d'optimiser les coûts de maintenance et d'améliorer la productivité.

Comme la maintenance couvre tous les domaines de l'entreprise, cela nécessite l'intégration de plusieurs sous systèmes associés aux différentes fonctions impliquées dans le processus approprié (figure II.9). Les sous systèmes ont des tâches différentes et des modèles différents, donc des logiciels différents. L'objectif de PROTEUS est alors l'intégration de ces sous-systèmes grâce à une description unique et cohérente de l'équipement. Cette description est celle d'une ontologie, une architecture générique basée sur la technologie des services Web et des modèles cohérents

de composants hétérogènes. L'échange et le partage des informations, des données ainsi que des connaissances est garantie grâce à ces outils qui assure l'interopérabilité des systèmes hétérogènes.

PROTEUS se base sur un modèle de connaissances de l'équipement. Ce dernier est exploité par le service de diagnostic basé sur le raisonnement à partir de cas, tout en contenant une mémoire d'entreprise.

Dans cette étude, l'architecture adoptée n'assure pas la sécurité des données et la rapidité d'échange d'informations. Ainsi, vu ce grand nombre d'information et de données échangées un temps de latence est engendré. L'étude de ce travail consolide notre proposition vis à vis de l'étude précédente. Il nous a

- orienté vers le choix d'une architecture n-tiers qui offrira plus de sécurité aux données ;
- l'adoption des agents mobiles afin de mettre fin aux temps de latence engendré.

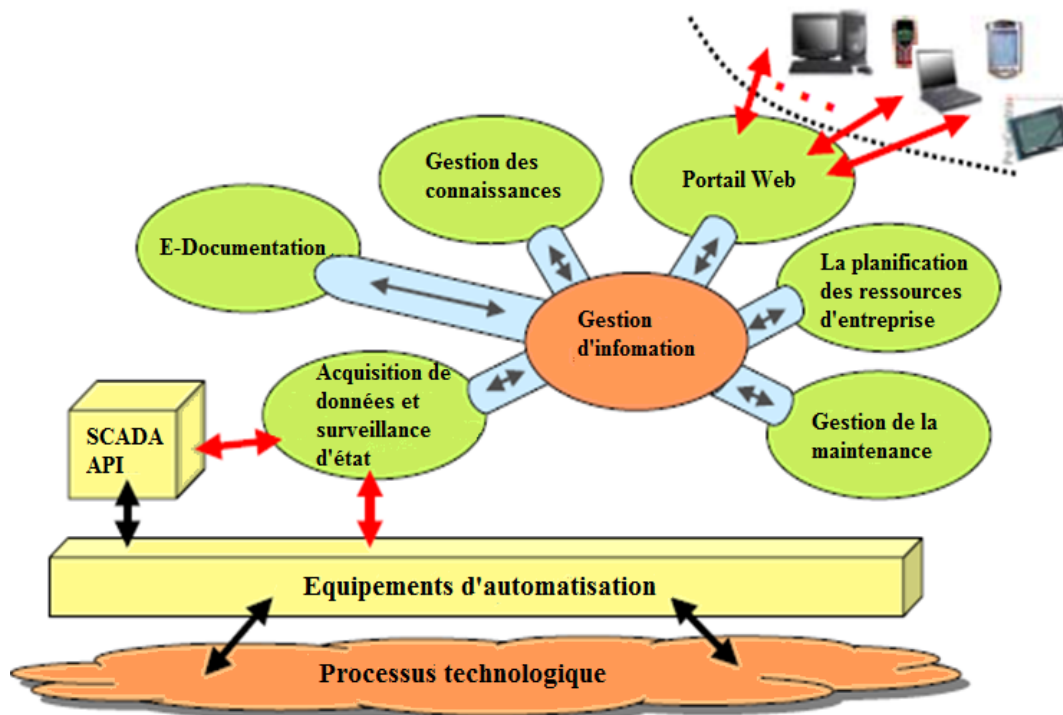


FIGURE II.9 – Architecture de la plateforme PORTEUS

Arnaiz et al. [8] décrivent dans leur travail les avantages de l'utilisation des dispositifs informatiques mobiles et leurs potentiels dans la maintenance industrielle. Ils présentent une vision originale pour l'adoption de solution de gestion de la m-maintenance. Ceci peut affecter et contribuer à la mise en œuvre réussie de la maintenance prédictive. L'étude est basée sur le projet Européen DYNAMITE (*Dynamic Decisions in Maintenance*). Ils passent par le concept de la future maintenance basée sur les nouvelles technologies dont l'objectif est de promou-

voir un changement à grande échelle dans le cœur de la maintenance prédictive. Impliquant la prise d'avantages des progrès des TIC et la modélisation sémantique de l'information, ils mentionnent que l'un des objectifs attendus de ce projet est de développer un prototype pour les appareils mobiles (PDA). Il devrait agir dans l'architecture e-maintenance conjointement avec les capteurs, les étiquettes intelligentes...etc. L'objectif est d'apporter la gestion d'entretien mobile plus proche de la pratique quotidienne dans l'atelier. Les modules développés ont été testés dans la plateforme d'e-maintenance TELMA, plateforme académique d'e-maintenance développé à l'université de Nancy.

Ce projet [8] va dans la même direction de nos intentions. Nous nous sommes inspiré de ce travail où il met à l'écart les arrêts non nécessaires des systèmes manufacturiers. Dans le notre, nous visons d'assurer une sécurité plus élevée aux données et d'introduire la technologie agent mobile pour un résultat optimal.

Dans l'intention de renforcer notre choix nous avons examiné deux autres travaux dans lesquels la technologie agent est présente.

II.6 La technologie agent et la m-maintenance

Après avoir présenté dans les sections précédentes l'impact et la présence de différentes technologies de l'IA et les TIC dans l'industrie et la maintenance. Nous allons particulariser cette section aux propositions de solutions de maintenance intelligente basée sur la technologie agent. La technologie agent nous a particulièrement attiré grâce à ses avantages, qui nous permettent de réduire les inconvénients déjà rencontré.

Notre proposition va dans la même direction. A cet effet cette section nous permettra de bien cerner notre problématique et d'obtenir une vision bien précise sur les technologies que nous allons adopter.

Compos et al [13], ont proposé une solution à base d'un dispositif mobile (PDA) pour une e-maintenance mobile basée sur les technologies embarquées et Web. Les informations figurant sur le PDA sont : le nom de l'ordre de travail, son numéro (identification) et la date de départ de l'ordre de travail. Un lien vers les étapes d'ordre de travail peut être consulté par le technicien d'entretien, si nécessaire.

Un agent intelligent a été développé afin d'assurer la génération des ordres de travail avec un niveau de priorité spécifique. Dans le cas où la priorité est élevée une notification est envoyée en temps réel au technicien de maintenance qui apparaîtra sur son interface. L'architecture trois tiers est le support du système proposé (figure II.10).

TABLE II.2 – Présence des TIC dans la maintenance industrielle

| Étude & auteur | Maintenance adoptée | Technologies utilisées | Avantages | Inconvénients |
|--------------------------------------|---|--|--|--|
| Diagnostic à distance [62] | Maintenance conditionnelle | <ul style="list-style-type: none"> - Internet -Téléphone intelligent -Capteurs (cameras, des microphones, amplificateurs de signaux) - Les cartes d'acquisition de données | <ul style="list-style-type: none"> - Meilleur accès à l'information par l'utilisateur à travers XML - Vision proche au système en temps réel grâce aux images et aux vidéos des équipements disponibles sur le dispositif mobile | <ul style="list-style-type: none"> - Système centralisé - Logiciel de diagnostic classique (trop d'espace mémoire) - Basé sur des modules (communication peut être interrompu ou coupé) |
| PROTEUS [59] | Permet de couvrir tous les processus de maintenance | <ul style="list-style-type: none"> -Internet -Service web - PDA - E-document | <ul style="list-style-type: none"> - Aspect dynamique - Extensible pour différentes politiques de maintenance | <ul style="list-style-type: none"> -Trafic réseau dû à la communication |
| Gestion de la maintenance mobile [8] | Maintenance prédictive | <ul style="list-style-type: none"> -Internet -PDA Capteurs | <ul style="list-style-type: none"> - Mettre à l'écart les arrêts non nécessaires de la chaîne de production - Gain de temps et d'informations | <ul style="list-style-type: none"> - Trafic réseau dû à la communication |

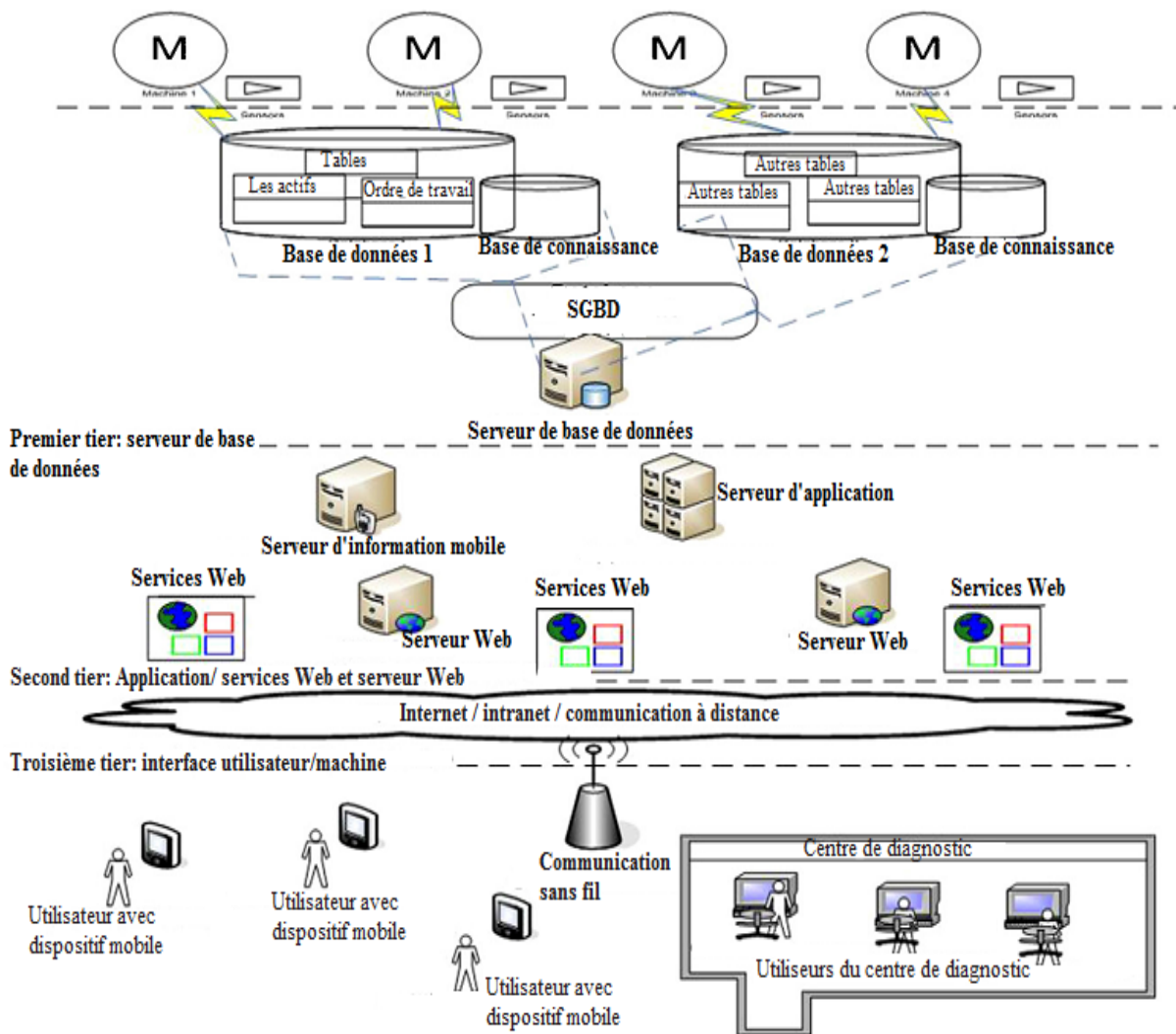


FIGURE II.10 – Architecture mobile e-maintenance [13]

Le premier tiers représente les serveurs des bases de données. Ils assurent la sauvegarde des données entrantes au système périodiquement ou de façon continue. La base de connaissance contient une collection de procédures, règles et étapes concernant des problèmes spécifiques. Le second tiers comprend les services d'applications / web ainsi que des serveurs web. Ce tiers non seulement garanti la connexion à internet par le biais des serveurs web mais également assure l'interopérabilité entre les applications distribuées dans le réseau. L'interaction entre l'utilisateur et le système est effectuée grâce au premier tiers (ordinateur ou dispositif mobile). Le personnel d'atelier est capable par son dispositif mobile de communiquer et collaborer avec les experts dans le centre de diagnostic.

L'aide à la décision mobile a été testée avec le signal simulé d'un palier à élément de roulement défectueux. En outre, un émulateur mobile a été utilisé pour perfectionner le système. Pour plus d'exigences différentes, les auteurs ont testé le système sur un PDA. Il était possible de surveiller, d'analyser et effectuer des diagnostics sur les données à partir de l'appareil mobile.

Un système mobile de gestion informatisé de maintenance a été également développé et testé avec de bons résultats.

L'avantage de ce travail est d'avoir des informations descriptives sur l'état du système grâce aux TIC. L'efficacité augmente avec la productivité de l'ingénieur de maintenance. Néanmoins, les avantages offerts par la technologie agent n'ont pas été exploités dans tout le système. Un autre inconvénient est présent dans ce travail, l'utilisation du type d'agent "watchdog". Ce dernier est utilisé pour la surveillance, alors que la technologie agent peut aller plus loin. En outre, l'architecture de maintenance intelligente nécessite une vaste transmission de données, qui consomme une bande passante élevée et qui a besoin de connexion continue et régulière.

Ces critiques nous ont inspiré vers une proposition qui vise à améliorer ce travail. Nous la résumons sous les points suivants :

1. Éliminer l'impression des ordres de travail qui va permettre de gagner plus de temps.
2. Assurer une transmission de données sécurisées et rapide.
3. Surmonter le problème de temps de latence.
4. Informer le personnel en temps réel.

X. Wang et al. [60] proposent un réseau de capteurs sans fil basé sur les agents mobiles pour une maintenance intelligente. Selon les auteurs la combinaison du réseau de capteurs sans fil et les algorithmes de calcul intelligent à un système de maintenance traditionnelle le rendra plus flexible. L'architecture appropriée au système proposé est le modèle client/serveur (figure II.11). Dans la couche inférieure de l'architecture hiérarchique, les capteurs communiquent par un réseau sans fil. Ils sont équipés d'un élément de traitement et une base de données locale. Nous trouvons dans la couche supérieure tous les éléments de traitement qui sont connectés au serveur central accompagné d'une base de données globale.

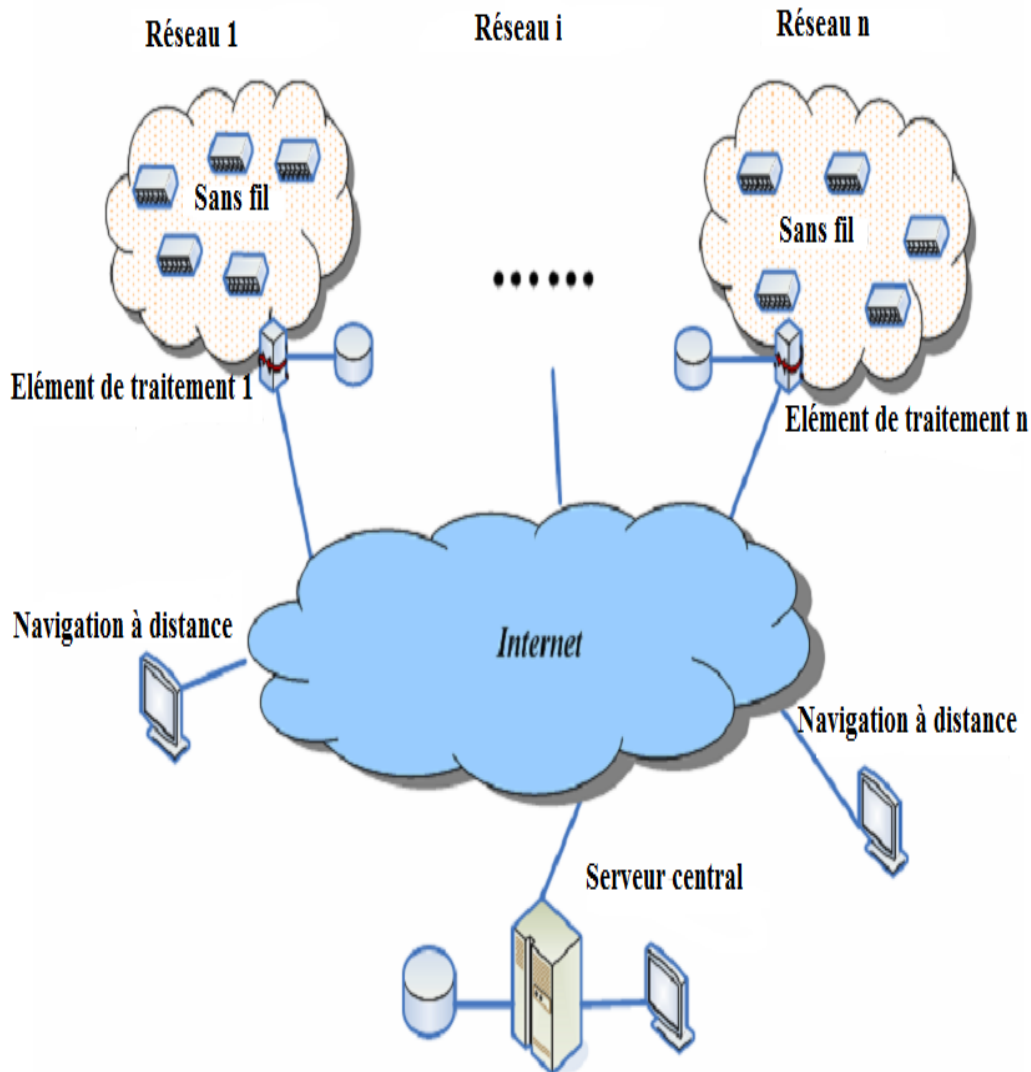


FIGURE II.11 – Architecture hiérarchique à deux couches pour une maintenance intelligente [60]

Le système proposé se compose d'un ensemble d'agents statiques et mobiles. Chaque agent dispose d'un rôle précis qui le distingue des autres. Les agents statiques d'acquisition de données et pré-traitement, sont placés sur les nœuds capteurs. Des agents mobiles de calculs, effectuent la fusion de données locales avec les données reçues des agents du niveau précédent. Les agents de décision agrègent les résultats de la fusion et réalisent une décision finale. Un agent mobile plateforme, représente le contexte de fonctionnement pour les agents mobiles. L'agent mobile de contrôle principal est responsable de la gestion des agents mobiles. Des agents d'alarme sont dédiés à la surveillance des pannes/défauts des équipements. L'agent statique dispatching adopte une fonction de base radiale du réseau neuronal afin de décider quel type d'agent analyse va être envoyé au capteur réseau déterminé.

Afin de valider le système, il a été appliqué à la maintenance de dix centres d'usinage à contrôle

numérique (*Mori Seiki Co. SV500*). Les résultats obtenus ont permis de prouver que le système de maintenance peut garantir le fonctionnement des équipements et de réduire les productions non efficacement qualifiées.

Le système présenté n'a non seulement obtenu de bons résultats à travers son application aux centres d'usinages, mais aussi il a surmonté le problème de transmission de données et de bande passante limitée. Cependant, l'architecture client/serveur proposée n'offre pas un grand degré de sécurité contrairement à l'architecture n-tiers. Ce qui représente un inconvénient majeur du système proposé.

Le système réalisé dans [60] a les mêmes finalités que les nôtres. L'utilisation des agents mobiles est un point très important pour mettre à l'écart les inconvénients rencontrés dans les travaux précédents. Néanmoins, l'architecture 2-tiers ne va pas être adoptée.

II.7 Synthèse

À l'issue de cette étude nous constatons qu'il y a une différence au niveau des caractéristiques et des objectifs de chaque travail. Notre problématique se trouve dans l'extension, le croisement et l'intersection des différents travaux présentés précédemment.

Notre étude bibliographique est divisée en plusieurs parties où nous avons examiné au début l'impact de l'IA sur la maintenance industrielle.

La première étude dans cette partie a utilisé la logique floue, les résultats obtenus étaient assez satisfaisants. L'inconvénient réside dans le comportement limité du système. Aucune généralisation ne peut être effectuée.

La deuxième étude [51] utilise la colonie de fourmis et la technologie agent pour un diagnostic prédictif des systèmes complexes et dynamiques. Les résultats obtenus convergent vers l'obtention d'une solution optimale, néanmoins la technologie choisie présente quelques inconvénients qui nous éloignent de l'adopter tel que le temps d'exécution peut être parfois long et la possibilité de tomber sur un état bloquant. Ces raisons produisent une augmentation au niveau des coûts de maintenance.

Les RNA sont utilisés dans le dernier travail de cette partie dans l'intention de prédire les dégradations des équipements [66]. Les résultats recueillis sont correctes, néanmoins, un simple défaut sur la machine peut engendrer de graves dégâts, car les RNA dépendent du système ou ils sont créés.

L'étude des travaux précédents [31], [51], [66], nous a conduit vers le choix d'une technologie

d'IA qui offre des solutions aux inconvénients abordés. De ce fait, nous avons opter pour la technologie agent.

Dans la deuxième partie nous avons vu l'apport de la technologie choisie à l'industrie.

Dans les travaux [42] et [58], les agents sont utilisés afin de gérer les systèmes distribués, réduire la probabilité de défaillance et surveiller les actifs physiques. Tandis que dans le travail de Rezki et al. [49] les agents sont dédiés à des tâches différentes. Le raisonnement des agents est effectué par le biais d'autres technologies d'IA. L'intégration des agents dans ces études offre : une accélération de traitement de données, des systèmes décentralisés et exécution parallèle de différentes tâches. Cependant, l'inconvénient présent dans ces travaux est relative à l'échange des données. Il est indispensable que l'échange soit sécurisé avec un temps de latence minimum pour assurer une communication parfaite entre les différentes parties du système.

À travers ces travaux nous avons justifié le choix de technologie d'IA. En effet, les agents mobiles offrent multiples avantages tels que, la tolérance aux pannes et la réduction de la charge du réseau. Ils sont de nature hétérogène et ne dépendent pas de l'environnement d'exécution.

L'étude de la présence des TIC dans la maintenance industrielle nous offre une vision plus claire, afin surmonter certains difficultés. L'utilisation des TIC a offert aux travaux ([62], [59], [8]) : une vision en temps réel du système et un gain de temps et d'informations. Sauf que le trafic réseau et l'exigence d'une large bande passante présentent toujours un problème pour ces travaux. Ce qui renforce notre choix d'intégration d'agent mobile.

Les agents mobiles sont utilisés dans le travail de Wang et al. [60] pour un système de maintenance intelligent. Les inconvénients discutés précédemment sont surmontés et des résultats satisfaisants sont obtenus. À l'exception de la sécurité des données qui n'a pas été traité par ce travail. Contrairement au travail de Compos et al. [13] où une architecture trois tiers est adopté. Cette dernière offre plus de sécurité aux données ainsi qu'à leur échange. Un inconvénients est clair dans le travail de Compos et al., ils utilisent un seul agent pour la surveillance du système. Dans notre cas, nous nous sommes inspiré des deux derniers travaux qui tourne autour la maintenance. Tout en essayant de répondre aux inconvénients déjà discutés dans les travaux précédent. Notre solution va vers la proposition d'une approche de m-maintenance idéal. Elle va dans un sens où le système doit être décentralisé afin de faciliter sa gestion car la rupture des applications en morceaux permet aussi de réduire le coût et la complexité de leurs modifications. En outre, les progrès dans les architectures et les nouvelles technologies favorisent l'utilisation

de systèmes distribués.

Chaque partie du système peut être différente de l'autre. Ainsi que différentes plateformes peuvent être présentes à travers le réseau. De ce fait, l'utilisation des services web est indispensable. Leur potentiel principal est leur consommation par l'intermédiaire du web à tout programme d'application indépendamment du langage utilisé. Ils facilitent le développement d'applications multidimensionnelles ainsi que l'interopérabilité avec d'autres applications logicielles. L'architecture proposée est décrite dans le chapitre III.

II.8 Conclusion

Le développement de ce chapitre nous a permis de spécifier une problématique dans un cadre bien précis. Afin de bien placer notre cadre de recherche nous avons approfondi notre étude dans différents travaux. Les travaux visés tournent autour l'utilisation des outils et méthodes de l'IA dans le domaine industriel, notamment la maintenance. De ce fait, nous avons pu résumer différents points à développer et à améliorer dans l'approche qui va être proposée. Ainsi, nous avons mis en évidence à travers les travaux présentés le rôle important joué par l'IA.

Dans le chapitre suivant nous allons présenter en détail l'approche de m-maintenance proposée. Un algorithme d'analyse de données va être choisi ainsi qu'une architecture appropriée au système proposé.

Chapitre III

Développement et modélisation d'une approche de m-maintenance

III.1 Introduction

Notre travail de recherche est axé sur l'apport et la proposition d'une approche de m-maintenance. L'objectif visé à travers cette approche est non seulement la minimisation des coûts de maintenance, mais aussi d'offrir au personnel de maintenance un accès aux informations à tout moment et à tout distance. Elle apporte un avantage notamment aux sites géographiquement distribués dans les grands systèmes manufacturiers. A cet effet, une solution est proposée. Elle permet :

1. D'accroître la disponibilité et la mobilité du personnel.
2. D'accroître le rendement du système.
3. De réduire les coûts occasionnés par les défaillances.
4. De réduire l'indisponibilité des équipements.

L'accent est mis dans ce chapitre sur la conception d'une approche de m-maintenance. Elle s'appuie sur une architecture n-tiers dans laquelle des agents mobiles et stationnaires sont intégrés dans chaque tiers. Afin d'assurer l'interopérabilité entre les différentes parties de notre approche, nous avons exploité les services web.

Dans le présent chapitre, nous nous intéressons aussi à la modélisation et la vérification formelle en utilisant UML et les réseaux de Petri. La modélisation formelle nous offre un raisonnement rigoureux afin d'éclaircir et démontrer la validité du modèle réalisé. Elle est basée

sur des descriptions graphiques et permet l'utilisation des données spécifiques selon le niveau de détail désiré. Une spécification formelle du système est basée sur un langage formel dont la sémantique est bien définie. Cette description formelle peut être utilisée comme référence pendant le développement du système. De plus, elle peut être utilisée pour vérifier formellement que la réalisation finale du système respecte les attentes initiales.

III.2 Méthodologie adoptée

Le choix d'une architecture peut conduire à un système qui peut être facilement modifié quand de nouvelles exigences se présentent. Une architecture inadéquate peut être désastreuse pour le système.

Dans la littérature, il existe plusieurs types d'architectures catégorisées selon leurs points d'intérêt. Cette catégorisation est faite selon la communication, le déploiement, le domaine ou la structure. Le tableau III.1 présente les principaux domaines des types architecturaux [45].

TABLE III.1 – Les principaux domaines des styles architecturaux

| Catégorie | Types d'architecture |
|---------------|--|
| Communication | Architecture orientée service (<i>Service-Oriented Architecture</i>) |
| Déploiement | Client-serveur, N-Tier, 3-Tier |
| Domaine | Conception dérivée par le domaine (<i>Domain Driven Design</i>) |
| Structure | Architecture basée sur les composants (<i>Component-Based</i>), Architecture orientée objets (<i>Object-Oriented</i>), Architecture en couches (<i>Layered Architecture</i>) |

Parmi les différents types, l'architecture n-tiers connue aussi par architecture distribuée ou architecture multi-tiers est généralement composée de trois niveaux (figure III.1) :

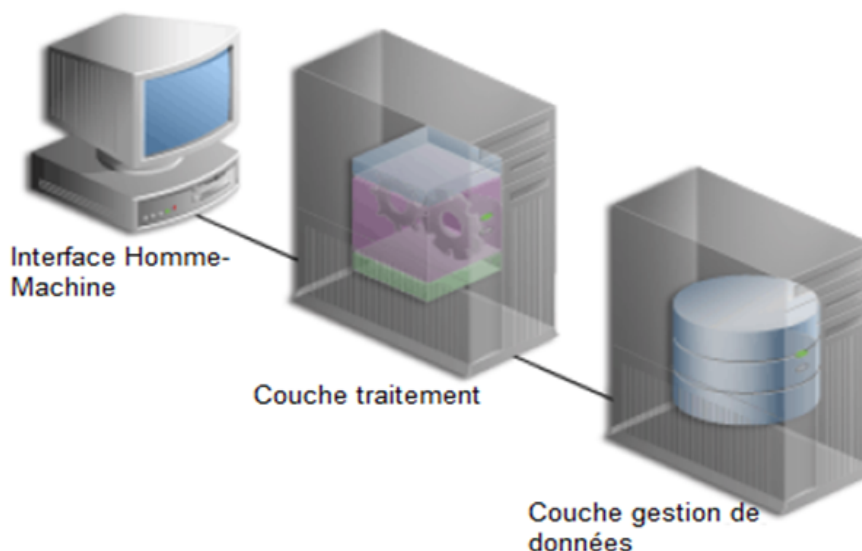


FIGURE III.1 – Architecture n-tiers

La couche interface homme machine ou présentation, la couche de traitement et la couche de gestion des données. Dans cette architecture chaque couche est séparée sur un hôte différent. La couche interface s'exécute sur le dispositif du client que ça soit un ordinateur ou un smartphone (téléphone intelligent). La couche traitement est séparée sur un autre serveur. Elle est aussi nommée niveau Business Logic ou niveau intermédiaire. La dernière couche s'exécute sur son propre serveur de base de données.

Cette architecture autorise la distribution d'applications entre différents services. Les trois niveaux d'abstraction d'une application sont toujours pris en compte. Les couches sont capables de communiquer entre eux et peuvent donc coopérer en étant implantés sur des machines distinctes et hétérogènes.

La couche présentation correspond à la partie de l'application visible et interactive avec les utilisateurs. Elle peut être graphique ou textuelle et relie les requêtes de l'utilisateur à destination de la couche traitement. En retour, elle présente les informations renvoyées. Il s'agit donc ici d'un assemblage de services métiers et applicatifs offerts par la couche inférieure.

La deuxième couche qui est la couche traitement représente la partie fonctionnelle de l'architecture. Elle implémente une logique prédéterminée, et décrit différentes opérations effectuées par l'application sur les données des requêtes utilisateurs. Les différentes règles de gestion et de contrôle du système sont mises en œuvre dans cette couche. En retour, elle renvoie à la couche présentation les résultats qu'elle a calculé.

La dernière couche ou la couche gestion de données, constitue la partie gérante des accès aux

gisements de données du système. Ces données peuvent être propres au système, ou gérées par un autre système. Les données peuvent être stockées dans de simples fichiers texte, fichiers XML, ou encore dans un SGBD (*Système de Gestion de base de données*). Celles-ci doivent être stockées d'une manière définitive.

Les avantages majeurs de cette architecture sont résumés dans les points suivants :

- *Évolutivité* : Chaque niveau peut évoluer horizontalement. Par exemple, la charge du premier tiers peut être équilibrée entre les trois niveaux afin de satisfaire plus de demandes sans l'ajout de serveurs aux autres tiers.
- *Performance* : Comme les requêtes utilisateurs sont cachées à travers la couche présentation, ceci réduit au minimum la charge sur le réseau et sur les autres tiers.
- *Disponibilité* : Si le serveur de couche d'application est en panne et la mise en mémoire cache est suffisante, la couche de présentation peut traiter les demandes en utilisant le cache.

III.3 Architecture de m-maintenance proposée

III.3.1 Structure générale

Dans cette sous section nous avons schématisé la structure générale de m-maintenance. Nous avons illustré les différentes parties qui compose un tel système. La figure III.2 illustre l'échange d'informations entre les machines d'une structure manufacturière et les différents composants de système m-maintenance à travers une connexion internet. Cette structure assure la surveillance et l'acquisition de données en temps réel grâce au réseau sans fil. Ainsi, une base de données est indispensable pour le stockage de données.

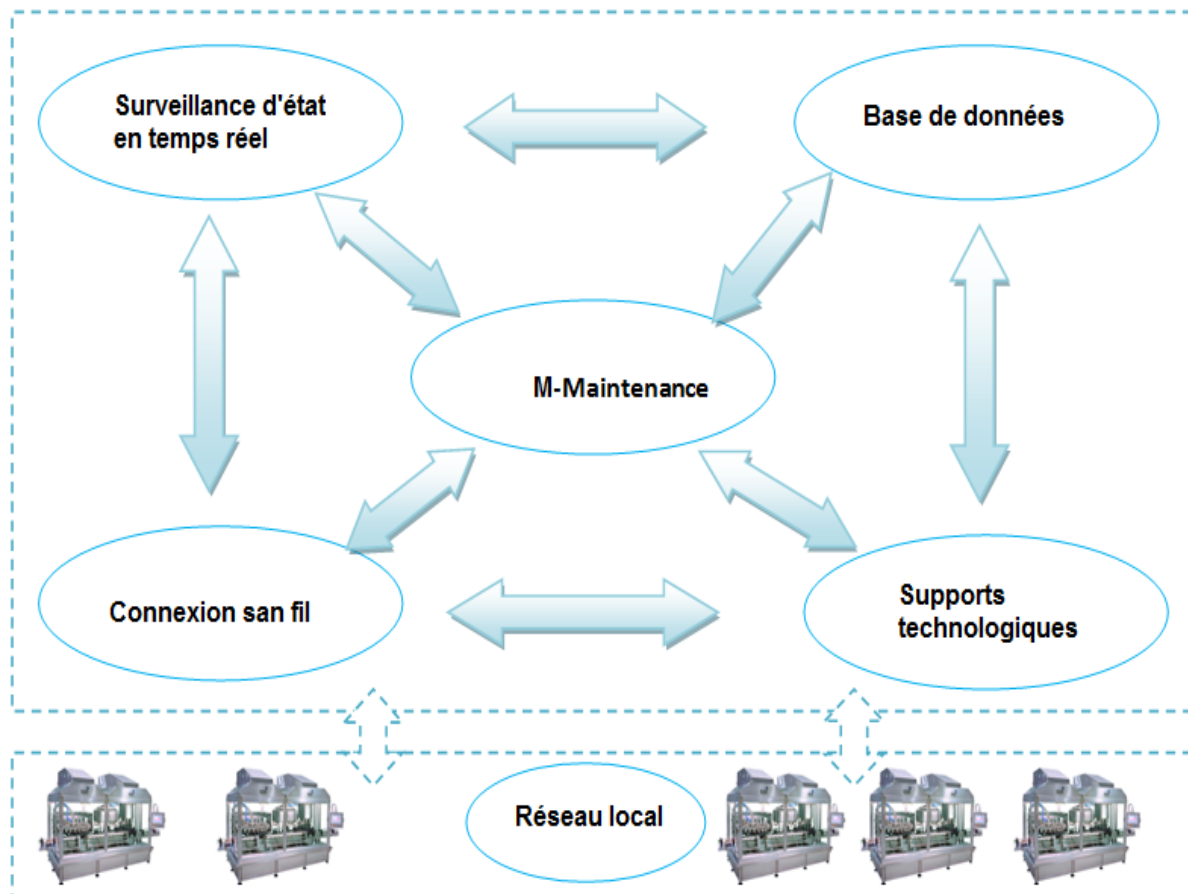


FIGURE III.2 – Structure générale d'un système de m-maintenance

III.3.2 Conception détaillée de l'approche

Dans notre étude bibliographique du premier chapitre, notre attention a été attirée par la maintenance prédictive. Cette politique de maintenance répond le mieux aux exigences de notre proposition. Elle offre plusieurs avantages qui permet d'avoir une maintenance qui répond aux exigences des entreprises en terme de qualité et de coût. Nous adoptons cette politique dans notre approche où ces différentes étapes vont être accomplies par la technologie des agents. Notre approche de m-maintenance baptisée $M(AM)^2$ pour *Mobile Agent Approach for M-Maintenance* adopte l'architecture trois tiers pour la conception de notre système (figure III.3). Le premier tiers correspond à l'interface graphique avec laquelle l'utilisateur intervient. Elle est gérée par l'Agent stationnaire Interface (AI). Le deuxième tiers représente la couche applicative et contient les Agents Mobiles : Administrateur (AMAd), Collecteur (AMC), Analyseur (AMA) et Diagnostic (AMD). En outre, avec l'intégration des agents mobiles dans ce tiers, les services web ont aussi été adoptés. Le potentiel des services web (voir annexe 1) réside dans le fait qu'ils peuvent être consommés par l'intermédiaire du web à tout programme d'application indépendamment de la plateforme et du langage utilisé. Le dernier tiers, regroupe les

machines du système manufacturier ainsi que leurs bases de données.

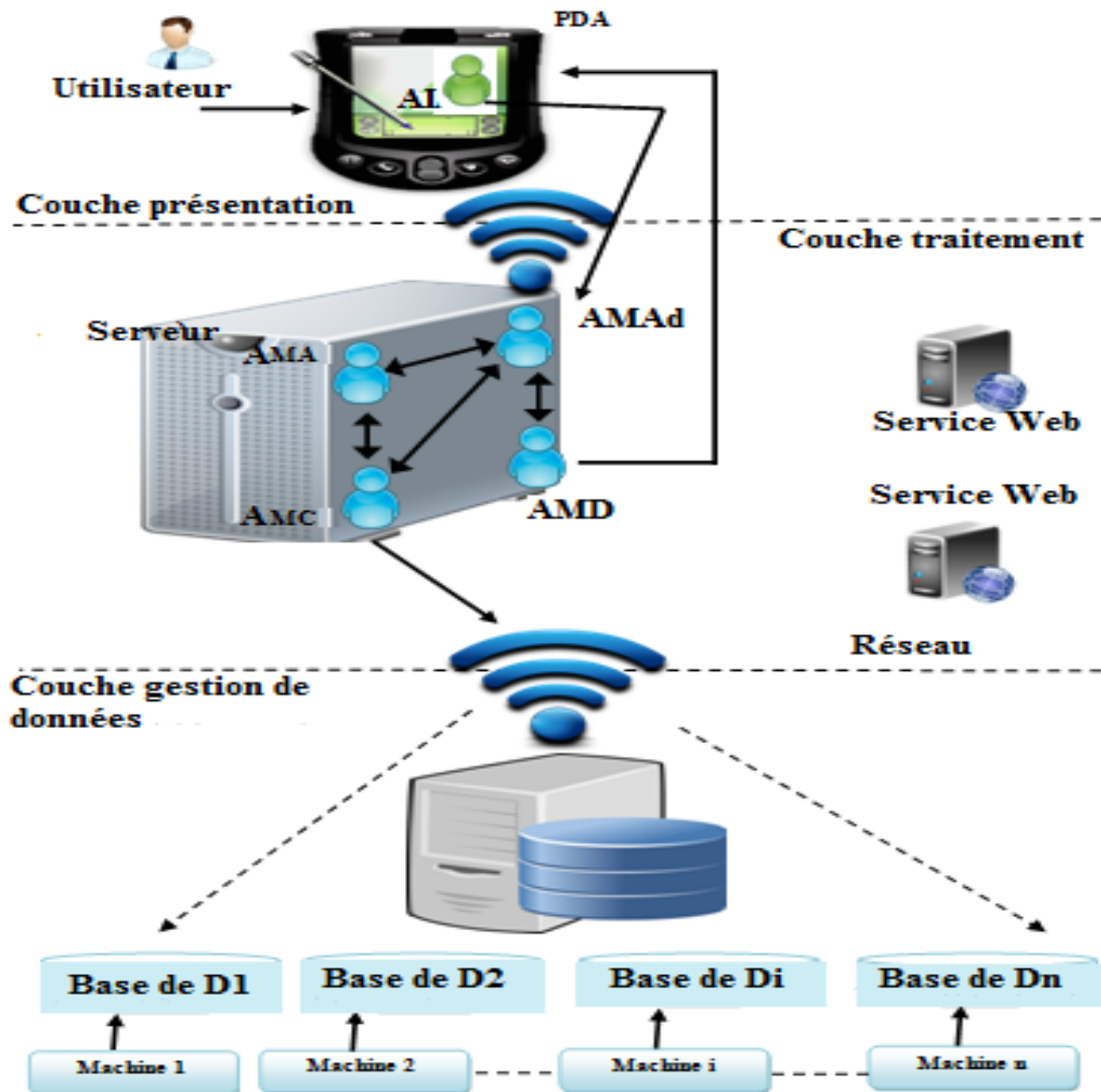


FIGURE III.3 – Architecture de notre système de m-maintenance

Les différentes étapes du processus de maintenance (figure III.4) sont réparties sur les tiers de cette architecture. Chaque agent joue un rôle important et complémentaire à celui des autres agents.

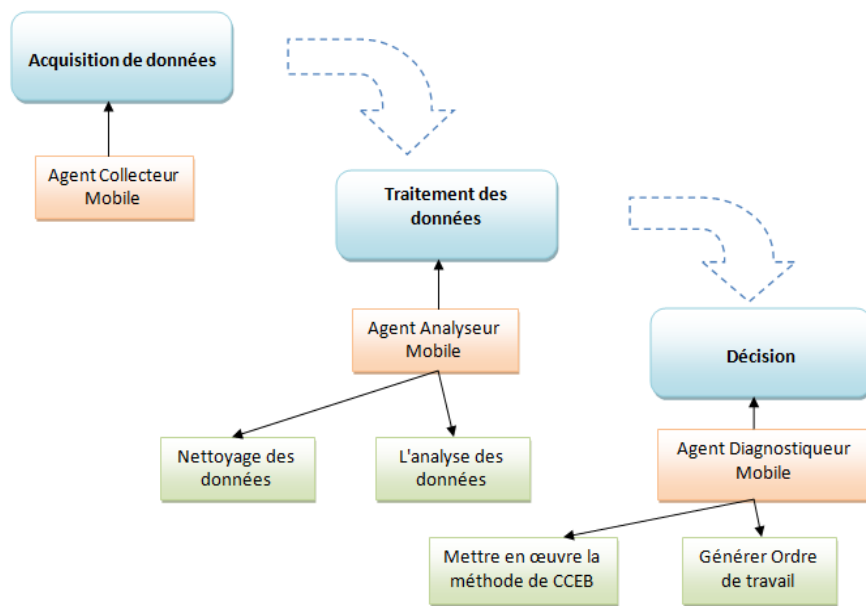


FIGURE III.4 – Maintenance prédictive & agents mobiles

1. *L'étape d'acquisition de données* : cette étape est réalisée par les agents collecteurs. Ces agents doivent être intégrés dans les différents capteurs tel que : les capteurs à ultrasons, les capteurs d'émission acoustique...etc. afin d'acquérir l'état de santé du bien physique. Également se déplacer d'un hôte à un autre afin de collecter les informations sur l'état actuel des machines. Les informations collectées peuvent être des vibrations, courant ou température.
2. *Traitement des données* : à ce stade l'agent analyseur essaye de rendre les informations collectées plus simple à comprendre et plus claire à travers une analyse. L'agent a deux tâches à réaliser. La première est le nettoyage de données. Cette étape est très importante pour assurer la fiabilité des données. Tandis que la deuxième, concerne l'analyse et la manipulation des signaux et des données. Le principal objectif de cette étape est d'aider à fournir des signes précurseurs aux ingénieurs ou experts à travers l'exploration des données.
3. *La prise de décisions* : cette étape est réalisée par l'agent diagnostic dans laquelle la méthode CCEB (*Current Condition Evaluation-Based*) [33] est appliquée. CCEB évalue l'état actuel des équipements afin de leurs approprier une maintenance convenable. Une fois que les données actuelles recueillies, un processus de modélisation est effectué pour estimer l'état de l'équipement réel à l'heure actuelle. Ce dernier sera ensuite comparé à un seuil de défaillance prédéfini. Si l'état de l'équipement atteint ou dépasse le seuil, le matériel sera appelé pour un entretien. Autrement, l'équipement est supposé être en bon état et peut encore être utilisé [33].

Pour aider l'expert à réserver les ressources (matérielles et humaines), collecter les gammes (tâches) opératoires et de sauvegarder de toutes les opérations réalisées un ordre de travail est généré.

L'agent administrateur joue à son tour un rôle fondamental. Il est responsable du clonage des agents : analyseur, collecteur et diagnostique. Lors du clonage, l'agent administrateur détermine les itinéraires à suivre à l'agent collecteur ; l'IP (*Internet Protocol*) des machines ou l'identifiant de l'hôte. Il sauvegarde les informations du système industriel dans la base de données du serveur. Cet agent assure aussi le bon déroulement du système en communiquant avec les autres agents du système. L'agent administrateur est activé par l'agent interface dès la connexion de l'utilisateur. L'agent interface vérifie l'authentification de l'utilisateur et reçoit des messages des autres agents pour afficher leur contenu sur l'écran du dispositif utilisateur.

III.4 Structure interne des agents

Dans cette section nous allons détailler la structure interne des agents de notre système et leurs tâches dans le but de mieux comprendre le rôle de chacun. Chaque agent dispose d'une base de connaissance (BC) dans laquelle se trouve les informations initiales sur l'environnement. Une modélisation semi-formelle et formelle des ces agents suit cette section dans le but d'éclaircir les idées et démontrer la validité du modèle proposé.

III.4.1 Architecture de l'Agent Interface

L'architecture de l'agent stationnaire interface n'est pas similaire à celle des agents mobiles (figure III.5). Son cycle de vie est initialisé actif et son architecture est simple. Vu sa mission, le composant de communication joue un rôle important dans la communication avec les autres agents. L'environnement de l'agent interface est le dispositif mobile sur lequel il est situé. Il vérifie aussi l'exactitude des informations saisies par l'utilisateur lors de la connexion. Si l'identifiant et le mot de passe correspondent à ceux enregistrés dans sa base, l'accès est autorisé.

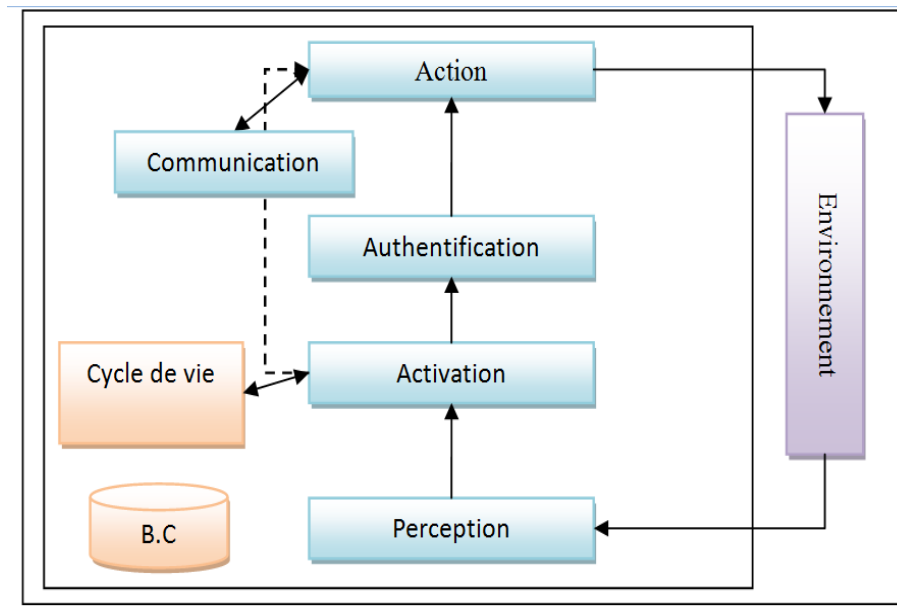


FIGURE III.5 – Architecture interne de l'agent interface

III.4.2 Architecture de l'Agent Administrateur Mobile

Cet agent est activé par l'agent interface au moment de la connexion du personnel. Il est responsable du clonage des agents : l'agent collecteur, l'agent analyseur et l'agent diagnostic. Ainsi, il gère la sauvegarde de données et le système. Cet agent (figure III.6) dispose d'un module mobilité qui lui permet de se déplacer dans le cas de nécessité.

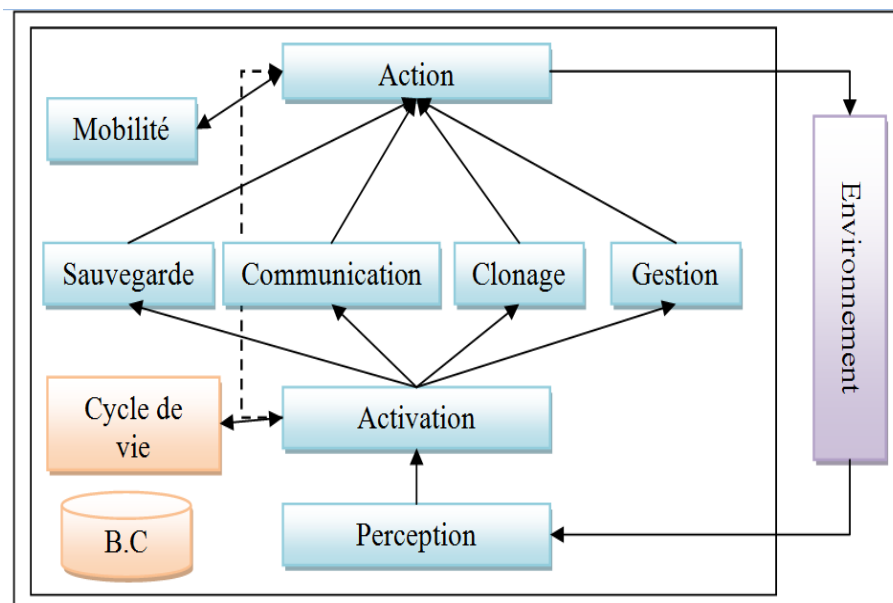


FIGURE III.6 – Architecture interne de l'agent administrateur

III.4.3 Architecture de l'Agent Collecteur Mobile

Au niveau de cet agent (figure III.7), les modules les plus importants sont le module collection et mobilité. Cet agent suit les itinéraires afin d'atteindre l'hôte prédéterminé. Le module hôte contient l'ID ou l'IP de la machine.

Le module sauvegarde lui permet d'effectuer l'enregistrement des données dans la base, si nécessaire.

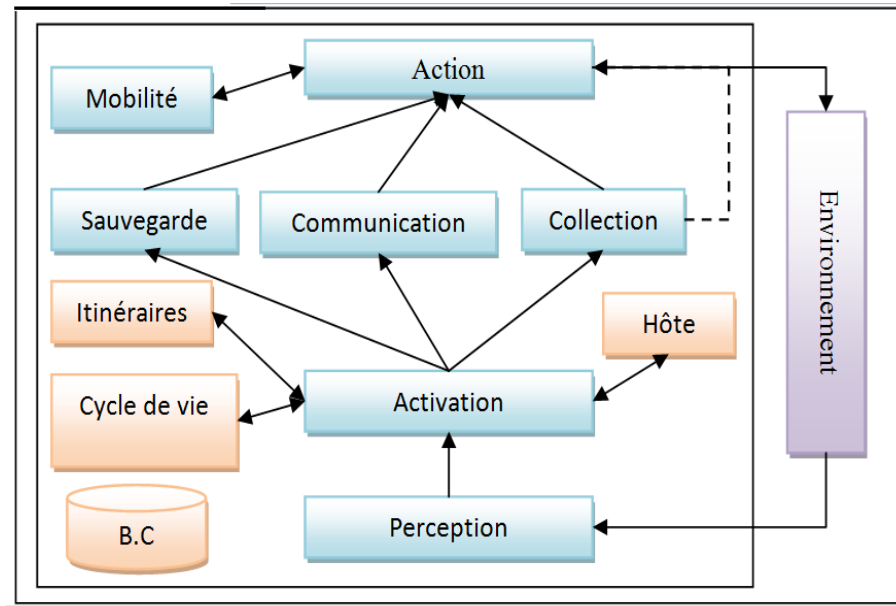


FIGURE III.7 – Architecture interne de l'agent collecteur

III.4.4 Architecture de l'Agent Analyseur Mobile

Les modules nettoyage et analyse sont deux sous modules principaux chez cet agent. Ceux-ci font parties du processus de maintenance prédictive que l'agent analyseur doit accomplir (figure III.8).

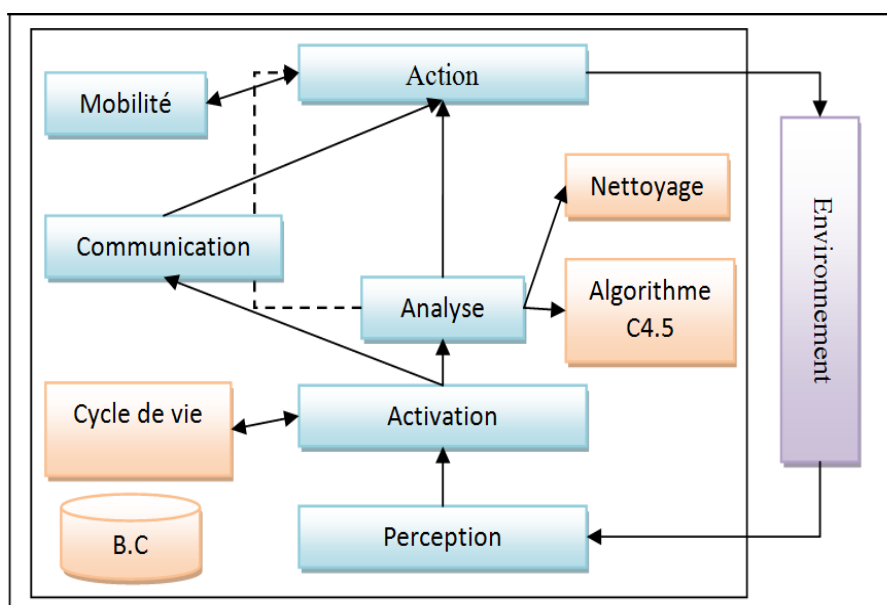


FIGURE III.8 – Architecture interne de l'agent analyseur

Afin d'analyser les données, il est nécessaire de les classifier. Nous adoptons pour ce fait un algorithme d'extraction de données ; l'algorithme C4.5 [64]. C4.5 génère des classificateurs sous forme d'arbres de décision ou sous forme d'ensemble de règles plus compréhensibles.

L'idée principale est de développer un arbre initial en mettant en œuvre l'algorithme : diviser pour régner (*divide and conquer*), comme suit [64] :

- Soit S un ensemble d'état.
- Un test basé sur un seul attribut avec plusieurs résultats doit être choisi.
- Faire de ce test la racine de l'arbre avec une branche pour chaque résultat ou cas.
- Partitionner S en sous ensemble $S_1, S_2 \dots S_n$ selon les cas et répéter récursivement la même procédure pour chaque sous ensemble.

L'agent analyseur applique cet algorithme afin de construire l'arbre de décision. A l'extrémité de chaque branche (ou feuille) existe les différents états possibles. Les données seront par la suite plus compréhensibles où l'agent analyseur exploitera cet arbre pour donner son résumé sur l'état.

Cet arbre pourra être aussi exploité par l'agent diagnostic ou l'expert lui-même si nécessaire.

III.4.5 Architecture de l'Agent Diagnostic Mobile

Le rôle principal de cet agent (figure III.9) est d'accomplir la dernière étape de la méthode de maintenance en exécutant la méthode CCEB (décrite dans le chapitre I). Ce qui rend les deux modules raisonneur et communication les plus importants.

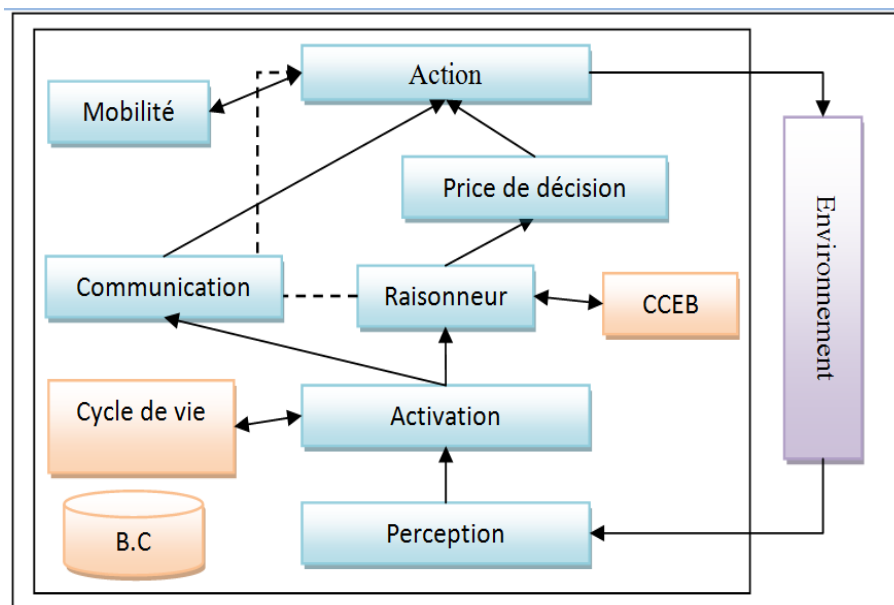


FIGURE III.9 – Architecture interne de l'agent diagnostic

III.5 Modélisation formelle des agents du système

Nous avons choisis pour la modélisation de nos agents des extensions d'UML et de réseaux de Pétri. UML (*Unified Modeling Language*) est une méthode semi-formelle pour modéliser les agents de notre système et leurs interactions. Il offre une description de plusieurs "vues" et extensible, car il permet d'introduire de nouveaux éléments pour des domaines spécifiques tels que la modélisation des agents mobiles.

Les réseaux de Pétri sont aussi un excellent outil de modélisation. Pour la modélisation des agents mobiles une extension spécifique peut être utilisée ; les réseaux de Pétri reconfigurable (*Reconfigurable Object Net* ou *RON*) (voir annexe 2). Ils sont un réseau de Pétri de haut niveau. Leur exploitation accorde la modélisation et la vérification des caractéristiques des agents mobiles : la communication, le clonage et le déplacement.

III.5.1 Modélisation semi-formelle

Mobile Agent UML (MA-UML) est un standard graphique basé sur UML pour la modélisation des agents mobiles. Cette extension d'UML fournit des concepts pour la modélisation des caractéristiques des agents mobile tel que le clonage, l'exécution à distance et la mobilité.

Notre diagramme de classe MA-UML contient deux superclasses, agent mobile : « *Mobile Agent* » et agent stationnaire « *Stationary Agent* » (figure III.10).

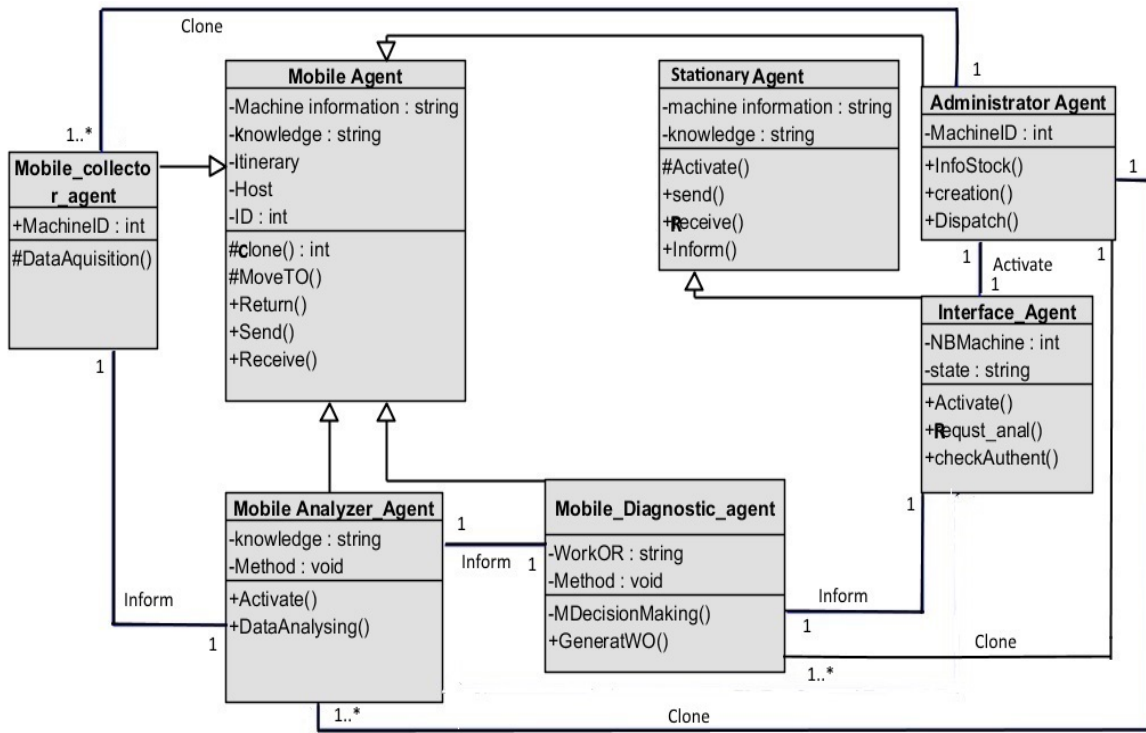


FIGURE III.10 – Diagramme de classe des agents mobile

Les agents de notre système sont représentés en sous classes qui héritent des deux super-classes précédentes. La superclasse agent mobile contient cinq attribues. « *Machine information* » qui représente les détails de la machine tel que son nom, son rôle dans la chaîne de production...etc. Le deuxième attribue est « *Knowledge* ». Il constitue un ensemble d’expressions logiques pour déduire des conclusions sur la ligne de production. « *Itinerary* » désigne le chemin à suivre pour se rendre à l’hôte désigné. Le quatrième attribue est « *Host* », où il stocke l’adresse de la machine, et l’attribue « *ID* » (IDentifiant) représente le numéro d’ordre de la machine. Tous les attributs sont privés afin de les rendre accessibles uniquement par la classe elle-même. L’agent stationnaire maintient que les deux attribues « *Machine information* » et « *Knowledge* ». Afin d’accomplir leurs tâches, les agents mobiles ont besoin de cinq opérations. La première opération « *Clone* » permet de créer de nouveaux agents requis dans le système. L’opération « *MoveTo* » permet le déplacement des agents entre les hôtes. « *Return* » autorise à l’agent de retourner à l’hôte initial. L’opération « *Send* » supporte l’envoi des informations d’un agent à un autre. A travers l’opération « *Receive* », les agents peuvent recevoir différentes informations. A son tour, l’agent stationnaire contient aussi quatre opérations, les trois derniers « *Send* », « *Receive* » et « *Inform* » ont le même rôle que l’agent mobile. Tandis que l’opération « *Activate* », permet d’activer l’agent administrateur. Ces agents sont reliés avec des relations sémantiques.

La figure III.11 illustre l'interaction entre les différents agents de notre système. De ce fait, la séquence de messages échangés entre les agents est représentée. La dimension verticale du diagramme exprime la séquence de messages / appels dans l'ordre chronologique dans lequel ils se produisent. La dimension horizontale indique les instances d'objets (agents) à qui les messages sont envoyés.

Dès la connexion de l'utilisateur, l'agent interface (IA) est activé. Cet agent vérifie l'authentification de l'utilisateur et active l'agent administrateur (AMAd). Ce dernier clone les agents collecteur (AMC) et analyseur (AMA). L'agent collecteur est envoyé à la machine hôte afin de récolter des informations sur l'état du système. Les informations collectées sont envoyées à l'agent administrateur et sauvegardées dans la base de données. Ce dernier active l'agent analyseur qui va faire son analyse et renvoie les informations à l'agent administrateur. Dans le cas d'échec, l'agent diagnostic (AMD) est créé dans le but de prendre une décision. Sinon, l'utilisateur est informé que le système fonctionne correctement.

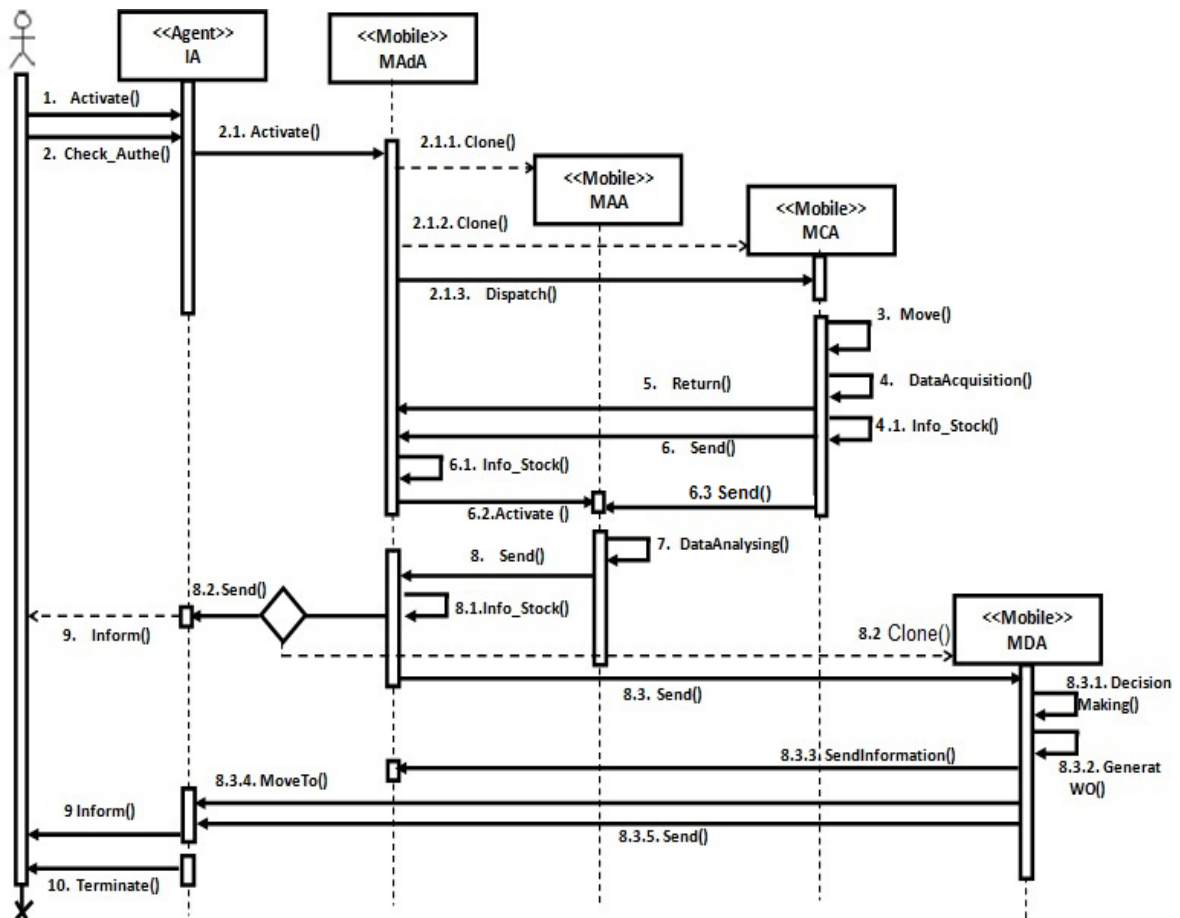


FIGURE III.11 – Diagramme de séquence des agents

III.5.2 Les réseaux de Pétri reconfigurable

La modélisation avec les RON (*Réseaux de Pétri reconfigurable* ou en anglais *Reconfigurable Object Nets*) nécessite la définition de deux niveaux, niveau system et niveau jeton. Le niveau jeton décrit le comportement des agents et leur changement structurel (figures III.12, III.13 et III.14). Tandis que, le niveau système présente le système en entier. Les agents : interface, administrateur, collecteur, analyseur et diagnostic représentent les places du niveau système. Un deuxième type de places doit être défini dans ce niveau : les places règles [32]. Les places règles sont marquées par des jetons sous forme de règles de transformation aux réseaux. Les règles de transformation permettent la spécification de la reconfiguration et la communication des agents du système. Les techniques de transformations inspirées des graphes de transformation permettent la formulation de deux constructions de base : l'union (*gluing*) et la transformation [38]. L'union correspond à la construction d'un nouveau réseau de Pétri N_3 à partir de deux réseaux N_1 et N_2 . Alors que la transformation est la création d'un réseau de Pétri N_2 à partir d'un réseau N_1 (annexe 2).

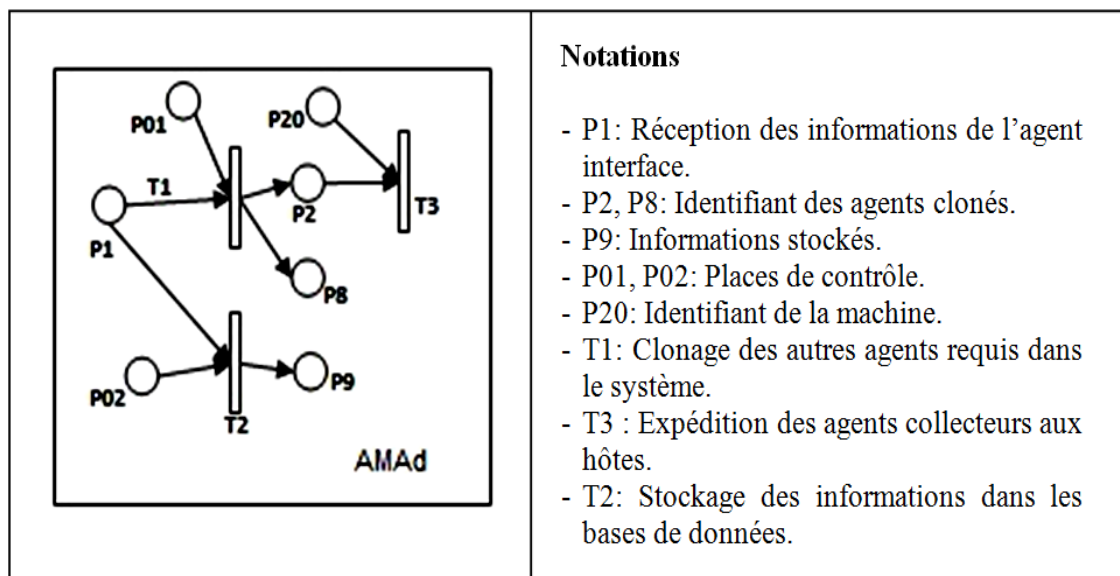
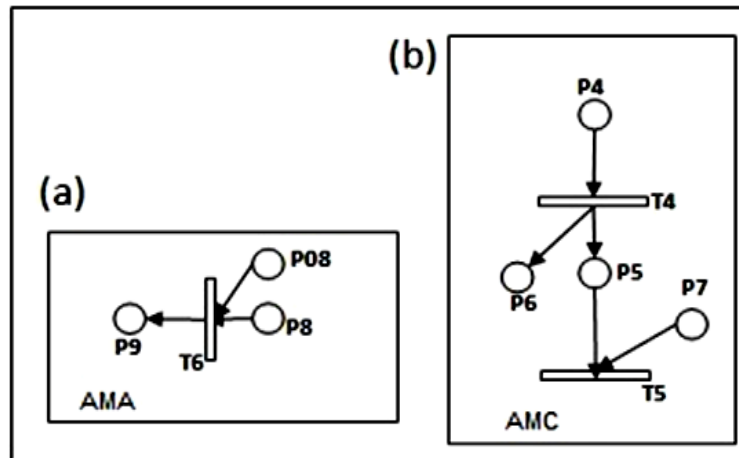


FIGURE III.12 – Réseau de Pétri de l'agent administrateur [32]

Les figures III.13 et III.14 représentent respectivement (a) l'agent analyseur, (b) l'agent collecteur, (a) l'agent diagnostic et (b) l'agent interface.



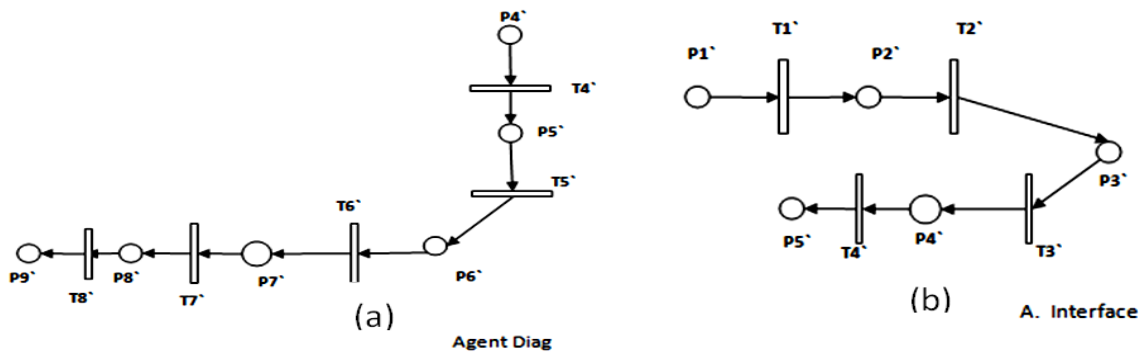
Notations

- P08: Place de contrôle.
- P8: Stockage des informations reçues de l'agent collecteur.
- P9: Stockage des données analysées
- T6: Analyse des données récupérées.

Notations

- P4: Place de contrôle.
- P5 : Itinéraire
- P6: Données à stocker.
- P7: Adresse nouvelle hôte destinataire.
- T4: Collection de données.
- T5: Déplacement de l'agent.

FIGURE III.13 – Réseaux de Pétri des agents collecteur et analyseur [32]



Notations :

- P4' : Place de contrôle
- P5' : Informations
- P6' : Décision
- P7' : Maintenance appropriée
- P8' : Ordre de travail (OT)
- P9' : Numéro OT
- T4' : Accès aux informations
- T5' : Comparaison (CCEB)
- T6' : Proposition maintenance
- T7' : Génération d'ordre de travail
- T8' : Envoi

Notations :

- P1' : Activation
- P2' : Données utilisateur
- P3' : ID Agent
- P4' : Données reçues
- P5' : Données affichées
- T1' : Authentification
- T2' : Activation agent administrateur
- T3' : Réception d'informations
- T4' : Affichage d'informations

FIGURE III.14 – Réseaux de Pétri des agents diagnostic et interface

La communication entre les agents en utilisant ce formalisme doit être effectuée avec une opération d'union « *gluing* ». La figure III.15 illustre un cas de communication entre les agents administrateur et analyseur qui reçoivent des informations de l'agent collecteur. Au début, les jetons du système sont indépendants et distribués dans les places du système. Pour atteindre la phase de communication, l'application des règles 1 et 2 est nécessaire. Ces dernières consistent à établir des nouvelles transitions qui permettent l'envoi et la réception des informations.

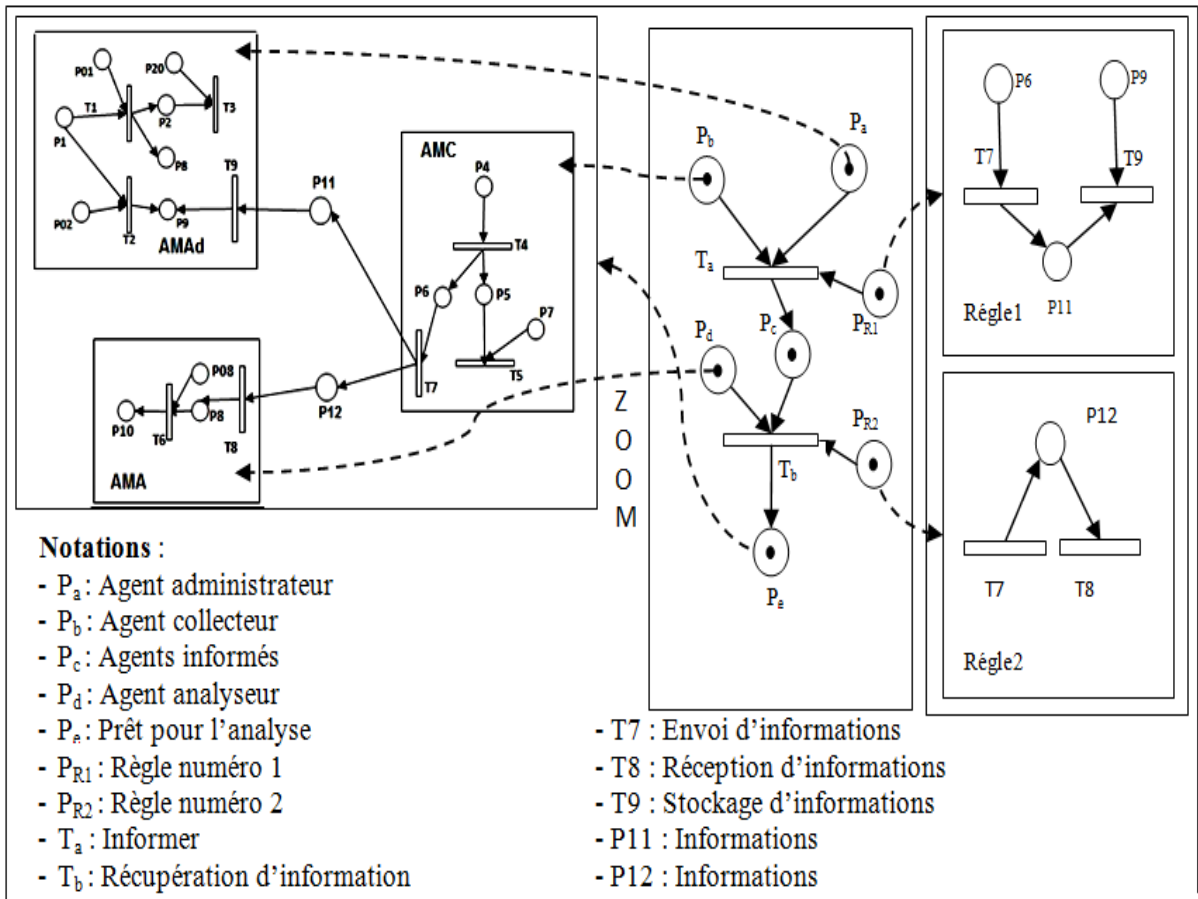


FIGURE III.15 – Communication entre les agents

Afin de vérifier la communication entre les différents agents de notre système, nous avons adopté l'éditeur RON [11]. A travers ce dernier la modélisation, la simulation et l'analyse des agents sont vérifiées d'une manière automatique. La figure III.16 ci-dessous illustre la modélisation de la totalité du système.

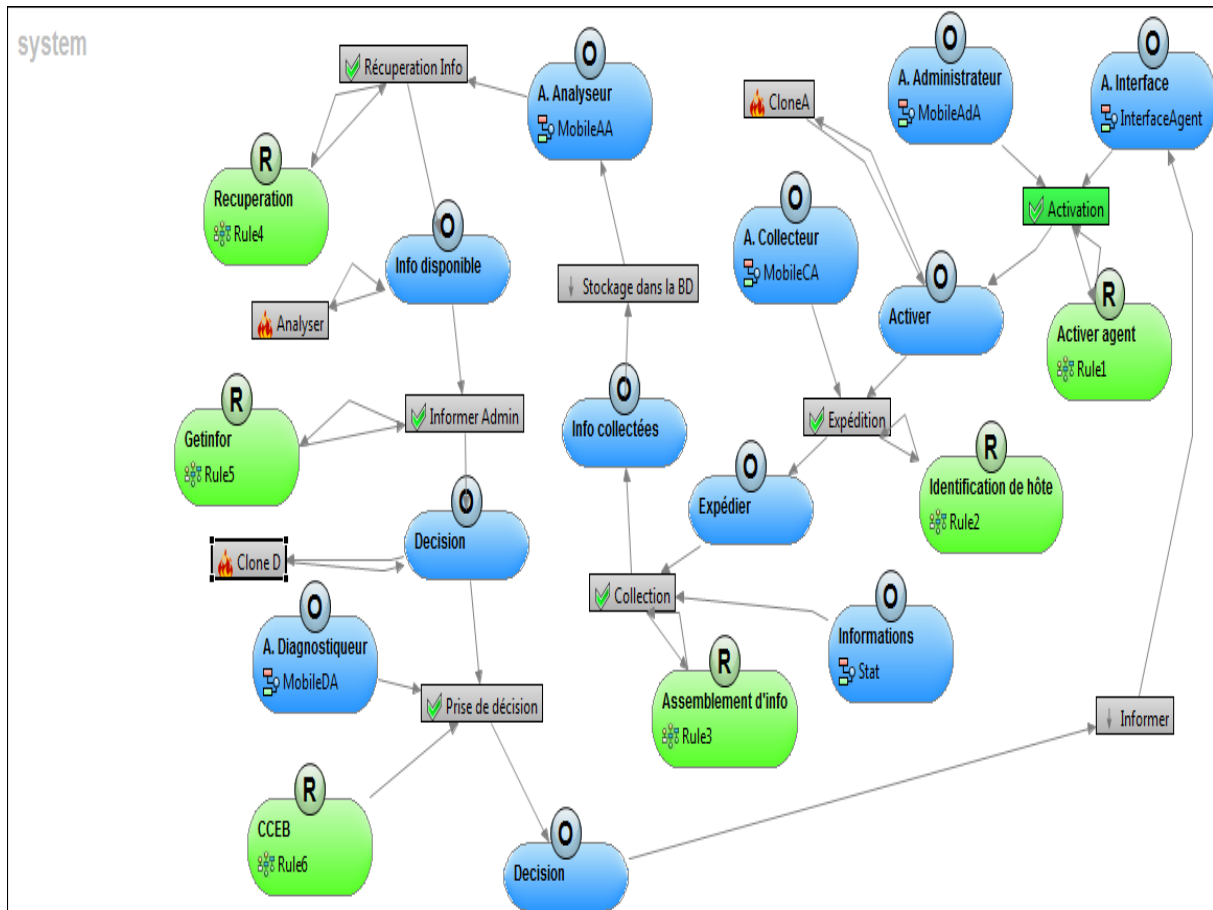


FIGURE III.16 – Les agents sous l’éditeur RON [32]

Les places vertes qui contiennent un « *R* » représentent les places règles. Tandis que, les places en bleu avec un « *O* » illustrent les places qui définissent les comportements des agents (niveau jeton). Les différents rectangles gris restant désignent des transitions. La transition avec un signe vert est nommée « *APPLYRULE* », elle permet l’exécution de l’opération d’union. Cette dernière est affranchie dans le niveau système. L’affranchissement de cette transition permet d’appliquer la règle définie dans les places règles. Ces places contiennent trois parties, les deux premières ; côté gauche (*Left-Hand Side* ou *lhs*) et côté droit (*Right-Hand Side* ou *rhs*) permettent de définir la règle. La troisième partie, coté négative de l’application (*Negative Application Condition* ou *nac*) interdit l’application de la règle si elle existe déjà.

La figure III.17 illustre deux règles de notre système dans laquelle les trois parties sont présentes. Elle présente les règles 3 et 4 de la figure III.15. Elles doivent être appliquées pour permettre à l’agent collecteur d’informer les autres agents et de communiquer avec eux.

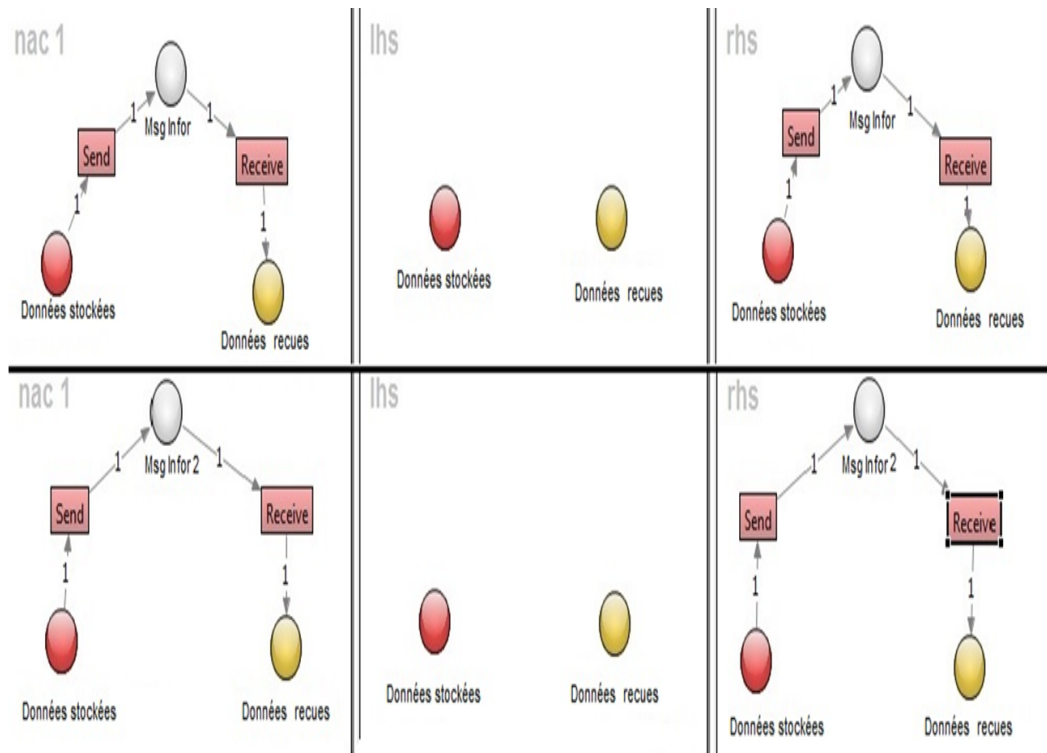


FIGURE III.17 – RdP des places règles (Règle 3,4 de la figure 15) [32]

Le deuxième type de transition présent sous l’éditeur RON, est la transition avec un signe de flamme qui est nommée feu ou « *FIRE* ». Cette dernière déclenche une spécifique transition située dans le niveau jeton. Dans la figure III.16, les transitions de type feu au niveau système (cloner et analyser) vont entrainer l’exécution des transitions : cloner et analyser, situées dans le niveau jeton.

III.6 Conclusion

Le développement de ce chapitre nous a permis de développer notre approche de m-maintenance “*M(AM)*”. Elle s’appuie sur la technologie d’agents mobiles et l’architecture n-tiers. L’architecture n-tiers permet la communication et la coopération entre les couches. Elle est évolutive où les couches peuvent s’équilibrer entre eux. Nous avons aussi mis en évidence l’intégration et l’implantation des agents mobiles et l’agent stationnaire entre les couches. Leur rôle principal est d’accomplir la politique de maintenance choisie.

Afin d’assurer l’interopérabilité entre les machines sur le réseau nous avons utilisé les services web. Ces derniers offrent des fonctionnalités cohérentes et soutien les interactions machine-à-machine.

Ainsi nous avons présenter une modélisation semi-formelle et formelle afin d'avoir un raisonnement rigoureux. Dans le cadre semi-formelle le langage visuel MA-UML a été utilisé afin de décrire les besoins et, les solutions fonctionnelles et techniques des agents de notre approche. Tandis que, dans le cadre formelle, une extension des réseaux de Pétri a été adoptée. Les réseaux de Pétri reconfigurable supporte l'aspect mobile des agents utilisés ainsi que leurs caractéristiques telle que le clonage.

Certes, la modélisation formelle nous a offert une idée plus claire du système, mais cela n'est pas suffisant. Une implémentation nous permettra de visualiser notre système concrètement. Dans le chapitre suivant nous allons présenter l'implémentation de $M(\mathbf{AM})^2$ ainsi que l'implémentation des automates de la chaine de production étudiée. Nous nous sommes intéressé aussi à la vérification formelle du système en utilisant les réseaux de Pétri stochastique généralisés.

Chapitre IV

Implémentation de $M(AM)^2$ à un système agroalimentaire

IV.1 Introduction

Dans le chapitre précédent nous avons proposé une approche de m-maintenance qui répond aux besoins des nouveaux systèmes manufacturiers en terme de qualité et coût. Ceci est assuré par notre choix de la maintenance prédictive et la technologie d'agent mobile. Également, ce choix est justifié par notre étude bibliographique du chapitre II dans laquelle nous avons souligné les inconvénients qui peuvent affronter un système de maintenance.

Ce chapitre est consacré à deux objectifs, d'un part l'implémentation de l'approche proposée et d'un autre part la présentation d'une étude formelle et l'évaluation de performance du modèle étudié. Nous présentons dans la première partie l'unité de production N'gaous-conserve. Nous nous sommes intéressés à la plus récente chaîne de production mise en place dans cette unité. Afin d'assurer un raisonnement plus rigoureux, nous avons effectué une modélisation et une analyse formelle de la chaîne choisie. Pour satisfaire notre étude formelle, nous avons utilisé les réseaux de Pétri stochastiques généralisés (RdPSG). Les RdPSG permettent la modélisation de la concurrence, les événements asynchrone, les relations logiques, les interactions structurelles et l'évaluation des performance d'un système. En outre, en tant qu'outil graphique, ils permettent la visualisation des aspects dynamiques et statiques du système. Nous utilisons pour ce fait l'outil ORIS qui permet la modélisation et la simulation automatique d'un tel système complexe. ORIS est un logiciel facile et simple a utilisé, grâce à son interface graphique qui facilite la création et l'édition des systèmes étudiés. Cet outil permet la vérification qualitative et l'évaluation quantitative des systèmes réactives. En outre, ORIS supporte la modélisation et

l'analyse des différentes classes des extensions temporisées des RdP (Réseaux de Pétri) [23].

Un autre environnement avec une syntaxe de programmation graphique est aussi utilisé pour implémenter notre cas d'étude. Parmi l'ensemble des machines de notre chaîne de production, nous avons choisi la machine de pasteurisation, pour les raisons suivantes :

- C'est une machine très importante dans la chaîne de production ; la qualité du produit dépend d'elle.
- Elle offre plusieurs paramètres à étudier.
- L'étude de cette machine permet une généralisation à toutes les chaînes agroalimentaires ; tel que celle des produits laitiers.

La machine de pasteurisation a été développée sous cet environnement connu par LabVIEW dont la connexion avec d'autre plateforme peut être facilement effectuée. Ceci nous a facilité le développement des agents de notre système sous JAVA et Android. L'interaction entre les différentes parties de notre système est aisément mise en place grâce aux avantages offerts par les différentes plateformes utilisées.

IV.2 Unité de production

IV.2.1 Présentation de N'gaous-conserve

N'gaous-conserve connu précédemment sous le nom de ENAJUC (*Entreprise Nationale des Jus et Conserves*) a été restructurée dans le cadre de la filialisation de la société mère (ENAJUC) en janvier 1998. L'unité de production à N'gaous, Batna est une unité de transformation des fruits et de production d'eaux fruitées, boissons et conserves. Créée en 1980 et s'étalant sur une superficie de 6 hec où 600 m² représente les ateliers de production. Depuis 1999, elle enregistre des bilans positifs successifs. Elle a réussi à s'imposer sur le marché national où ses produits sont très populaires pour leur qualité, mais aussi sur un marché mondial où la concurrence est rude. Elle a obtenu la certification du système de management ISO 9001, version 2000. N'gaous conserve est un groupe industriel et commercial au capital social de 200 milliards dinars. L'unité transforme quotidiennement 800 tonnes d'abricots et de pommes. Sa capacité de production est plus de 20 000 t /tous produits. Elle dispose aussi d'un laboratoire d'auto contrôle qui effectue des analyses physicochimiques et microbiologiques.

IV.2.2 Présentation de la chaine de production

N'gaous conserve a installé récemment une nouvelle chaine de production pour le remplissage des canettes (figure IV.1). Cette chaine acquiert des machines de production importantes et elle représente un grand investissement dans l'usine. Elle dispose de sept machines, chacune possède ses propres entrées/sorties.

Les canettes vont être glissées sur le convoyeur l'une après l'autre par la décaisseuse en direction la machine de remplissage. Pour commencer la décaisseuse a besoin des palettes de canettes vides. La machine de remplissage aura besoin par la suite des canettes vides, des bouchons et le produit à remplir. Le produit qui est le jus, se trouve dans un réservoir de mixage afin de mélanger et rectifier le taux d'acidité. En sortant de cette machine les canettes sont remplies et doivent être pasteurisées. La pasteurisation soumet les canettes à une forte chaleur, durant une certaine durée, les bactéries et autres microbes pathogènes succombent massivement. Les entrées de cette machines sont l'eau et l'air. Par la suite, une élimination des canettes endommagées va être effectuée par la machine suivante qui est le scanner. Les canettes en bon état passent par le dateur afin de définir la date d'expiration du produit. A la fin de la chaine deux emballeuses sont liées en parallèle, une qui emboîte toutes les six canettes dans un seul emballage et une autre toutes les vingt-quatre. Un four se trouve à la sortie de chaque machine afin de finaliser l'emballage et fondre le plastic.

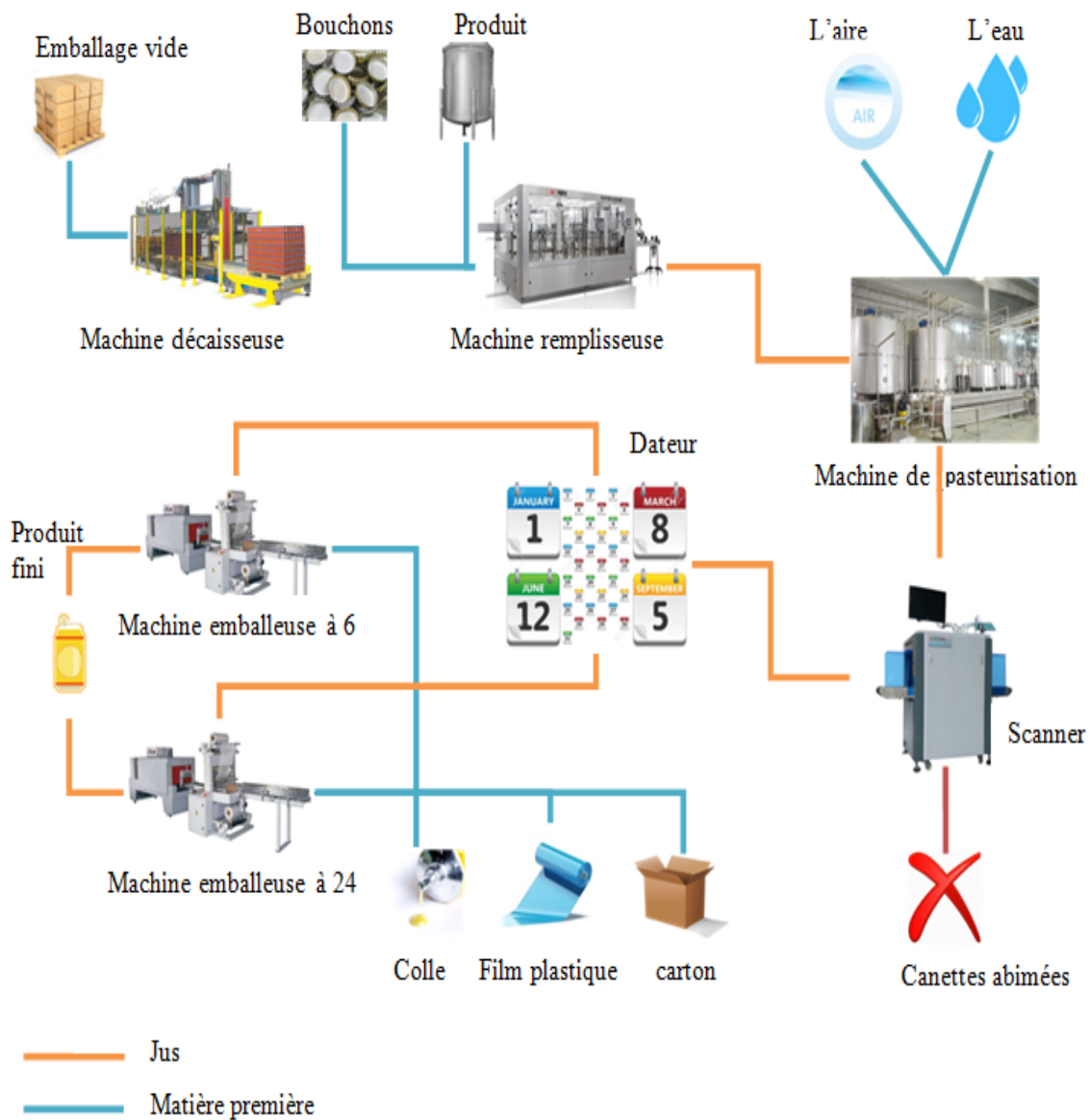


FIGURE IV.1 – Représentation de la chaîne de production

Chaque machine dispose d'un Automate Programmable Industriel (API, en anglais *Programmable Logic Controller* ou *PLC*) ou d'un ordinateur de contrôle industriel.

IV.3 Pasteurisation

Pour notre cas d'étude nous avons choisi la machine de pasteurisation. De ce fait, nous allons décrire ci-dessous tout le processus.

TABLE IV.1 – Opérations de pasteurisation

| Opération | Nom | Température | Principe |
|-----------|---------------------|-------------|--|
| PrP | Pré-Pasteurisation | 45 – 46° | Chauffage rapide pour éviter d'exposer les canettes à une chaleur élevée brusquement. |
| P1 | Pasteurisation1 | 76 – 78° | Pasteurisation pour améliorer la qualité microbienne de l'aliment et prolonger sa vie |
| P2 | Pasteurisation2 | 80 – 85° | |
| PP | Post-Pasteurisation | 45 – 46° | Refroidissement brusque, de manière à éliminer un nombre important de micro-organismes restés. |

IV.3.1 Processus de pasteurisation

La pasteurisation du jus est généralement effectuée à travers un tunnel de pasteurisation. Pendant le processus de pasteurisation les canettes de jus passent un tunnel divisé en plusieurs chambres avec différentes température. Dans ce tunnel les canettes sont remplies et fermés, puis canalisés dans le pasteurisateur avant l'ajout de tout étiquetage. Le tunnel a un plafond bas avec des têtes de pulvérisation à intervalles réguliers. L'eau à température contrôlée est pulvérisée vers le bas sur des canettes. Les canettes se déplacent dans le pasteurisateur lentement par une bande transporteuse.

Dans le tunnel divisé, les canettes passent par quatre phases : Pré-Pasteurisation (PrP), Pasteurisation1 (P1), Pasteurisation2 (P2) et Post-Pasteurisation (PP). Le produit est porté progressivement d'une phase à une autre. La machine contient des systèmes de contrôle sophistiqués pour gérer les températures de manière à empêcher une augmentation ou une diminution pendant la pasteurisation du produit. L'eau est recyclée pour améliorer l'efficacité énergétique.

Le tableau [IV.1](#) résume les phases de pasteurisation.

IV.3.2 Paramètres de pasteurisation

Selon l'expert de la chaîne de production, l'ensemble de paramètres présentés dans le tableau [IV.2](#) sont liés au processus de pasteurisation. Ils représentent un facteur important qui joue sur la qualité du jus et la consommation d'énergie.

TABLE IV.2 – Paramètres du processus de pasteurisation

| | Paramètres | Valeur |
|----------------------|---|---------------------------------------|
| Pré-Pasteurisation | Température d'entrée du produit (T_{ep}) | $6 \leq T_{ep} \leq 8$ |
| | Débit d'entrée du produit (Dep)/minute | $180 \leq Dep \leq 240$ |
| | Nombre de chambres (NbC) | NbC = 2 chambres |
| Pasteurisation1 et 2 | Température d'eau chaude (T_{ec}) | $76^\circ \leq T_{ec} \leq 82^\circ$ |
| | Pression d'aire (Pa) | $3 \leq Pa \leq 4,5bar$ |
| | Température de la vapeur (T_{ev}) | $90^\circ \leq T_{ev} \leq 110^\circ$ |
| | Nombre de chambres (NbC) | NbC = 9 chambres |
| Post-Pasteurisation | Température de sortie du produit (T_{es}) | $8^\circ \leq T_{es} \leq 12^\circ$ |
| | Température d'eau (T_e) | $50^\circ \leq T_e \leq 55^\circ$ |
| | Débit de sortie du produit (Des)/minute | $180 \leq Des \leq 240$ |
| | Nombre de chambres (NbC) | NbC = 3 chambres |

IV.4 Modélisation et analyse formelle de la chaîne de production

Depuis plusieurs années, les RdP ont été reconnus en tant qu'outils de modélisation et d'analyse des systèmes complexes. Ils ont été largement exploités pour l'étude des systèmes de production. En 1978, les réseaux de Petri stochastiques (RdPS) ont été introduits par S.Naktin [57] et M.K. Molloy [46]. Ils permettent de calculer des probabilités et les statistiques ainsi que la prise en compte des événements aléatoires comme l'occurrence de défaillances. L'étude des chaînes de production nécessite de mettre au point un modèle pouvant intégrer plusieurs aspects tel que l'aspect dynamique. La prise en compte de transitions immédiates (instables) et des transitions stochastiques (stables ou temporisées), a permis de définir une extension des RdPS appelé RdPS Généralisés (RdPSG). Les Réseaux de Pétri Stochastiques Généralisés (*RdPSG*) (*Generalized Stochastic Petri Nets* ou *GSPN*) offrent des caractéristiques de dépendance de temps et de réponse en temps réel. Ces fonctions sont bénéfiques pour le fonctionnement d'un système de production ainsi que l'exécution de la politique de maintenance choisie.

IV.4.1 Modélisation de la chaîne de production

La figure IV.2 représente le RdPSG de notre chaîne de production. Cette chaîne est modélisée avec l'outil de modélisation et de vérification ORIS [23]. Cet outil fournit une interface graphique qui facilite la création et l'édition des systèmes étudiés. Il inclut plusieurs modules qui supportent l'animation synchronisée avec un jeu interactif de jeton. ORIS aide l'utilisateur le long des étapes de la spécification, la vérification, la mise en œuvre, et les tests. L'échelle de temps dans la figure IV.2 est divisée par 100, ce qui nous donne pour 5 minutes 0.05.

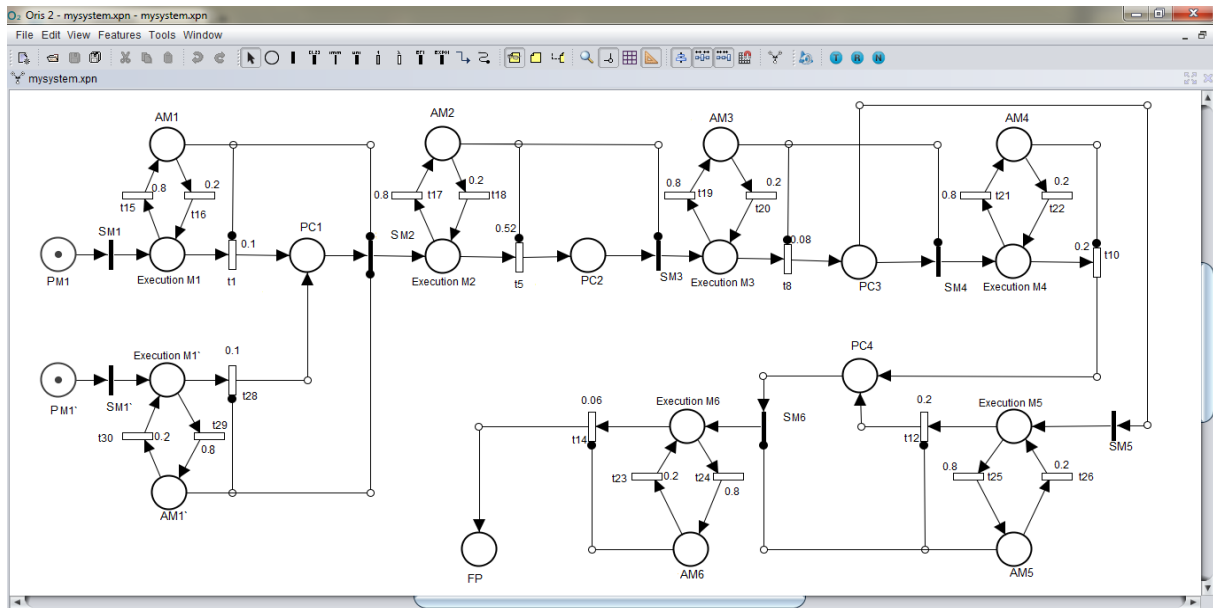


FIGURE IV.2 – La chaîne de production sous ORIS

L'utilisation des RdPSG a permis de modéliser et de prendre en compte les actions de maintenance, par la prise en compte des transitions immédiates où le temps du séjour est considéré comme nul. Ainsi que d'autres transitions stochastiques temporisées.

Les deux tableaux IV.3 et IV.4 présentent les notations des places et des transitions de notre modèle RdP. Les places libellées par M sont les machines de la chaîne de production étudiée :

- $M1$: représente la machine décaisseuse ;
- $M1'$: représente la machine remplisseuse ;
- $M2$: représente la machine de pasteurisation ;
- $M3$: représente le scanner ;
- $M4$: représente la machine emballeuse à 6 cannettes (emballe 6 cannettes) ;
- $M5$: représente la machine emballeuse à 24 cannettes (emballe 24 cannettes) ;
- $M6$: représente le four. Le four est la dernière machine dans la chaîne de production, il est directement lié à l'emballeuse. Comme son rôle est important et son temps d'exécution est élevé nous l'avons pris en tant que machine indépendante.

Il est important de noter que le dateur n'a pas été pris en compte. Cette machine exécute sa tâche très rapidement dans un temps négligeable par rapport aux autres machines.

TABLE IV.3 – Interprétation des places du RdP

| Place | Interprétation |
|------------------------------------|---|
| PM1, PM1' | Les machines M1 et M1 sont prêtes à fonctionner |
| Execution M1, Execution M1' | Les machines M1 et M1 sont en état d'exécution |
| AM1, AM1'; AM2, AM3, AM4, AM5, AM6 | Application de l'approche de maintenance prédictive |
| PC1, PC2, PC3, PC4 | Passage de contrôle; la machine est en état de vérification |
| FP | Fin de production |

TABLE IV.4 – Interprétation des transitions du modèle

| Transitions | Interprétation |
|--------------------------------------|---|
| SM1, SM2, SM3, SM4 SM5, SM6, SM1' | Début de fonctionnement des machines M1, M1', M2, M3, M4, M5, M6 respectivement |
| t1, t5, t8, t10 t12, t14, t28 | Fin de la tâche exécutée par chaque machine |
| t15, t17, t19, t21 t23, t25, t29 | Exécution d'une tâche de maintenance préventive |
| t16, t18, t20, t22 t24, t26, t30 | Fin de la tâche de maintenance exécutée |

L'évaluation de performance d'un modèle RdPSG exige la génération des « *Chaines de Markov Immersée* ou *CMI* » (en anglais *Embedded Markov Chain* ou *EMC*). Les CMI permettent la description des transitions d'un état à l'autre du processus.

Le marquage initial de notre RdPSG de la chaîne de production entière est :

$M1 = (1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$. Pour un modèle des chaînes de Markov immergé ce marquage génère plus que 175 états et 376 arcs. Étant donné que nous sommes intéressés à la machine de pasteurisation, et afin d'obtenir une évaluation de performance plus claire, nous allons prendre en compte que les trois machines $M1$, $M1'$ et $M2$. La figure IV.3 illustre les CMI de la partie du RdPSG à étudier.

Les places PM, Execution et PC de la figure IV.2 sont désignées sur la figure IV.3 par : RM, EXM et PSC, respectivement.

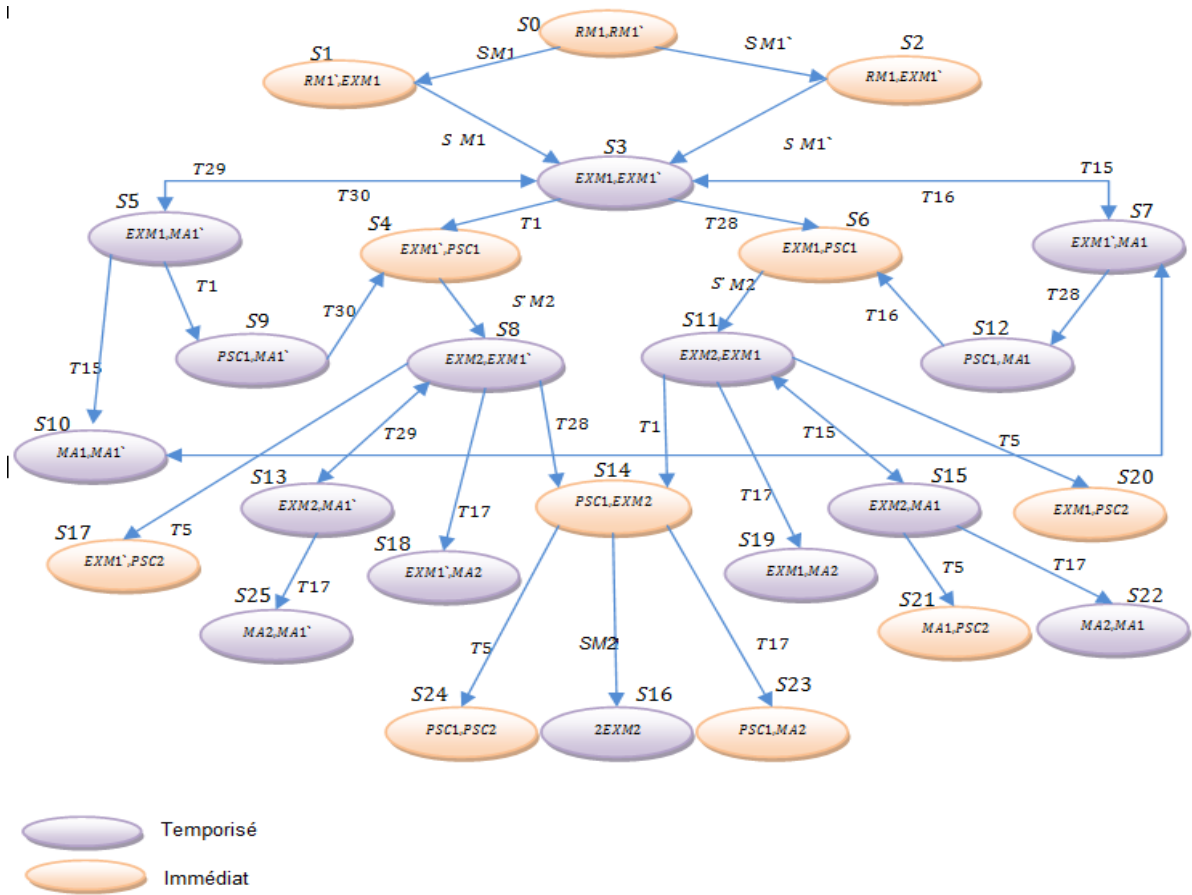


FIGURE IV.3 – Les CMI pour les machines étudiées

Au début de notre étude, la génération de CMI a été réalisée manuellement en suivant les étapes décrites ci-dessous. A partir du marquage M1, les deux transitions immédiates T_{SM1} et $T_{SM1'}$ sont activées. Ce qui nous génère un état initial (immédiat) du modèle des CMI $S_0(P_{RM1}, P_{RM1'})$. L'exécution de la transition T_{SM1} ou $T_{SM1'}$ produit deux nouveaux marquages immédiats : $S1 = (P_{EXM1}, P_{RM1'})$ et $S2 = (P_{RM1}, P_{EXM1'})$ respectivement. Le marquage M4 représenté par l'état $S3 = (P_{EXM1}, P_{EXM1'})$ est obtenue par l'exécution des transitions SM1 et SM1'. A partir du marquage M4, les transitions exponentiels T1, T15, T28, T29 sont activées et S3 est temporisées. La probabilité d'exécution des transitions temporisées est calculée avec la formule :

$$f(x) = \frac{\lambda_i}{\sum_{k \in H} \lambda_k}, i \in H [43] \tag{IV.1}$$

Où :

- λ représente le taux de transition ;
- H est l'ensemble des transitions temporisées activées.

Afin d'étudier les performances du modèle, les probabilités d'état Π (en anglais *steady state probabilities*) doivent d'être calculées. Le calcul des probabilités d'état pour les transitions immédiates n'offre aucune information de valeur pour la solution finale car leurs temps de transition est considéré comme null [41]. En outre, les transitions immédiates, non seulement exigent des calculs inutiles, mais, en agrandissant la taille de la matrice de probabilité de transition U , tendent à rendre le calcul de la solution plus coûteux et parfois même impossible à obtenir.

À cet effet et dans le but de limiter la solution à des quantités qui ont une relation directe avec le calcul des probabilités d'état des transitions temporisées, les « *Chaines de Markov Immergée Réduite* » en anglais « (*Reduced Embedded Markov Chain*) ou *REMC* » doivent être générées. La figure IV.4 illustre les CMIR qui correspond à la figure IV.3 où les probabilités de transition sont présentées. Afin que la figure soit plus compréhensible nous avons pris la notation suivante :

a

$$\varepsilon = \lambda_{t1} + \lambda_{t15} + \lambda_{t28} + \lambda_{t29} \quad (\text{IV.2})$$

b

$$\beta = \lambda_{t1} + \lambda_{t15} + \lambda_{t30} \quad (\text{IV.3})$$

c

$$\mu = \lambda_{t16} + \lambda_{t28} + \lambda_{t29} \quad (\text{IV.4})$$

d

$$\delta = \lambda_{t17} + \lambda_{t5} + \lambda_{t28} + \lambda_{t29} \quad (\text{IV.5})$$

e

$$\gamma = \lambda_{t1} + \lambda_{t15} + \lambda_{t17} + \lambda_{t5} \quad (\text{IV.6})$$

f

$$\theta = \lambda_{t30} + \lambda_{t5} + \lambda_{t17} \quad (\text{IV.7})$$

g

$$\vartheta = \lambda_{t16} + \lambda_{t5} + \lambda_{t17} \quad (\text{IV.8})$$

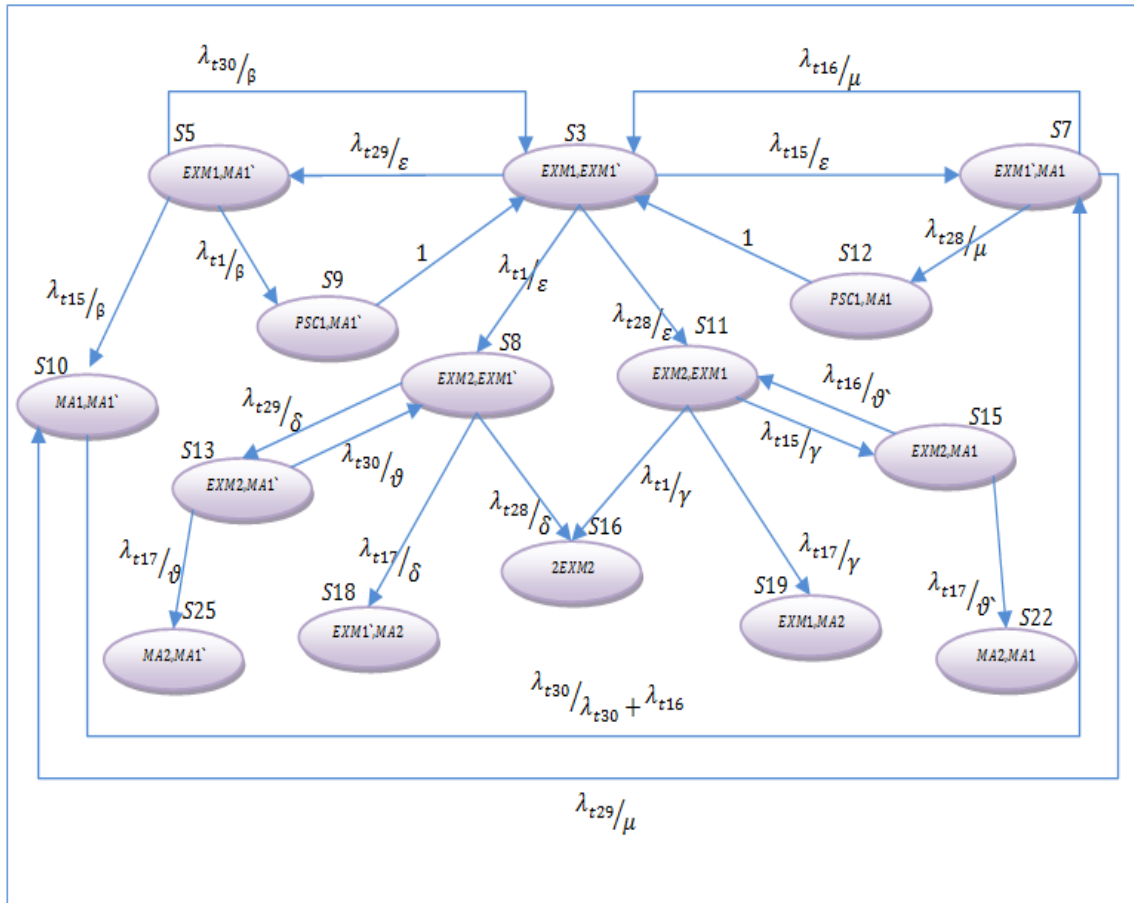


FIGURE IV.4 – Le modèle des chaînes de Markov immergé réduit

La matrice des probabilités des CMIR U est obtenue par l'équation suivante :

$$U = F + EGD, \quad [41] \quad (IV.9)$$

Où :

- F : Comprend les probabilités de rester au sein des marquages tangibles (temporisés).
- E : Représente les probabilités de passer d'une transition tangible à une autre immédiate.
- G : Représente les probabilités de passer d'une transition immédiate à une autre après plusieurs itérations, avec une condition qui exige aucun passage intermédiaires par des transitions temporisées .
- D : Correspond aux probabilités de passer d'une transition immédiate à une autre temporisée.

$$U = \begin{bmatrix} 0 & 0.44 & 0.44 & 0.05 & 0 & 0 & 0.05 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.18 & 0 & 0 & 0 & 0.09 & 0.07 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.18 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.72 & 0 & 0.09 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.36 & 0 & 0.04 & 0.36 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.33 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.36 & 0.04 & 0 & 0.36 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.13 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.52 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.13 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.52 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

À travers cette matrice le calcul des probabilités d'état Π peut être effectué. Ces derniers permettent l'analyse des performances du système étudié qui peut atteindre jusqu'à 99% .

IV.5 Implémentation du cas d'étude

IV.5.1 Machine de pasteurisation

Afin de confirmer et d'assurer les avantages offerts par notre approche, nous avons essayé de nous rapprocher des systèmes réels. L'indisponibilité des automates réels pour effectuer nos tests, nous a mené à programmer un automate sur un ordinateur ordinaire. Nous avons bénéficié des avantages offerts par LabVIEW (annexe 3). Ses capacités d'intégration de plusieurs approches de programmation nous a permis ainsi de trouver la solution la mieux adaptée aux problèmes traités. Les logiciels développés sous LabVIEW s'exécutent sur la plupart des systèmes d'exploitation et offrent la possibilité de déploiement sur toute une gamme de matériels. La figure IV.5 illustre le VI (*Virtual Instrument*) de l'automate de la machine de pasteurisation. Nous avons simplifié l'interface et présenté celle qui contient les réservoirs. Les autres paramètres sont dans des VI différents sous le même logiciel. Les réservoirs du tunnel de pasteurisation sont présentés séparément, conformément à l'automate réel (figure IV.6). Ceci facilite

la compréhension du statut de chaque réservoir pour une gestion meilleur.

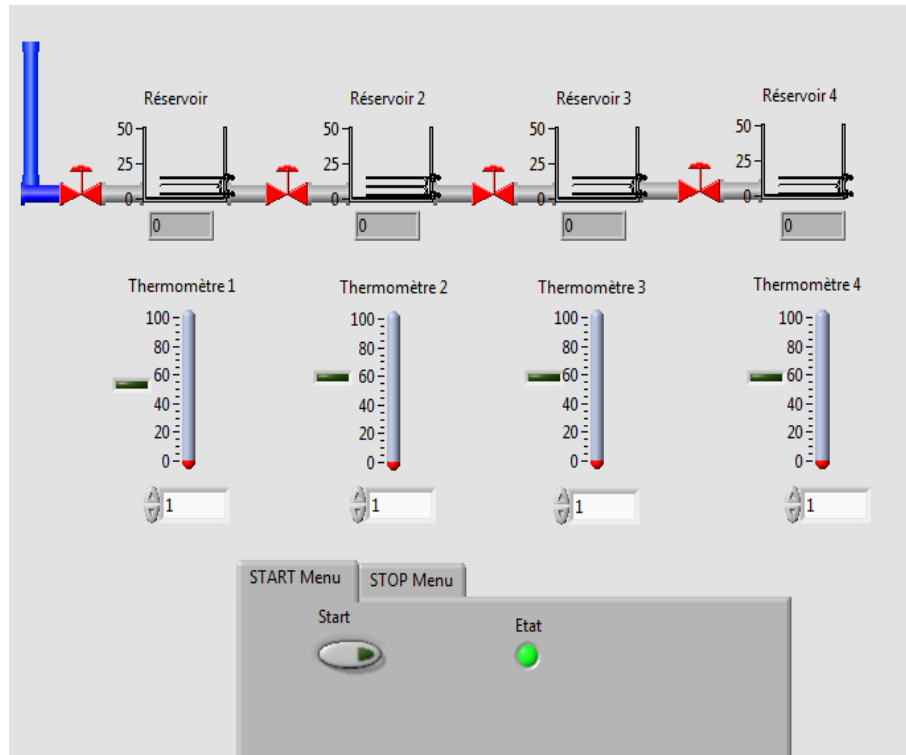


FIGURE IV.5 – VI de la machine de pasteurisation

Les vannes entre les réservoirs sont représentées en rouge. Afin de déterminer la température d'eau, chaque réservoir dispose de sa propre commande. La température n'augmente que lorsque le niveau d'eau atteint un seuil de 2000 litres d'eau (figure IV.7). Les indicateurs affichent la température de chaque réservoir au fur et à mesure. Dans les bonnes conditions, le voyant « état » est toujours allumé en vert, sinon il est en rouge.

Sur notre logiciel, chaque 100 litres est considéré en tant qu'unité. Ce qui nous donne pour 2000 litres 20 unités.

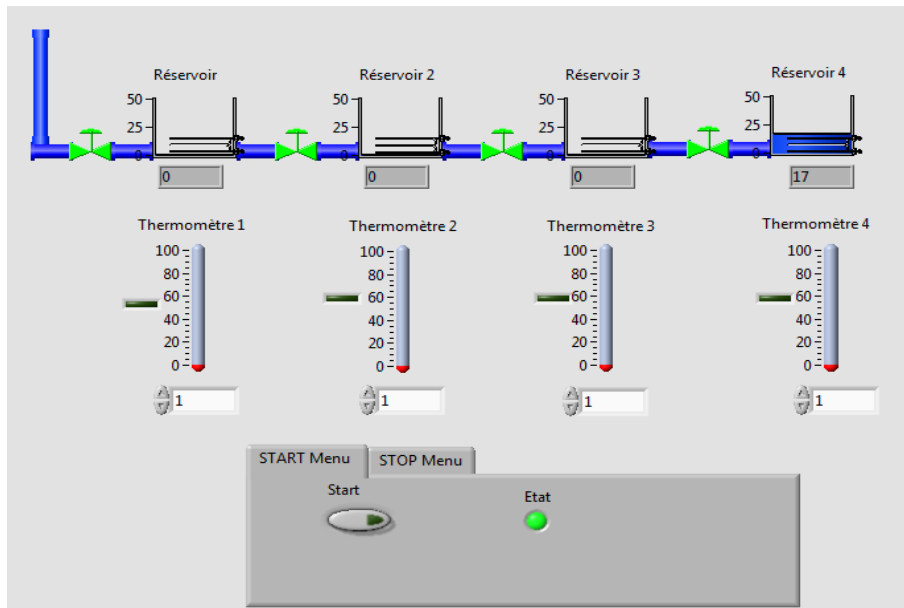


FIGURE IV.6 – Remplissage des réservoirs d'eau séquentiellement

Après le remplissage des réservoirs du tunnel de pasteurisation et la détermination des températures, l'opérateur peut appuyer sur le bouton « Start » pour chauffer l'eau à la température désirée.

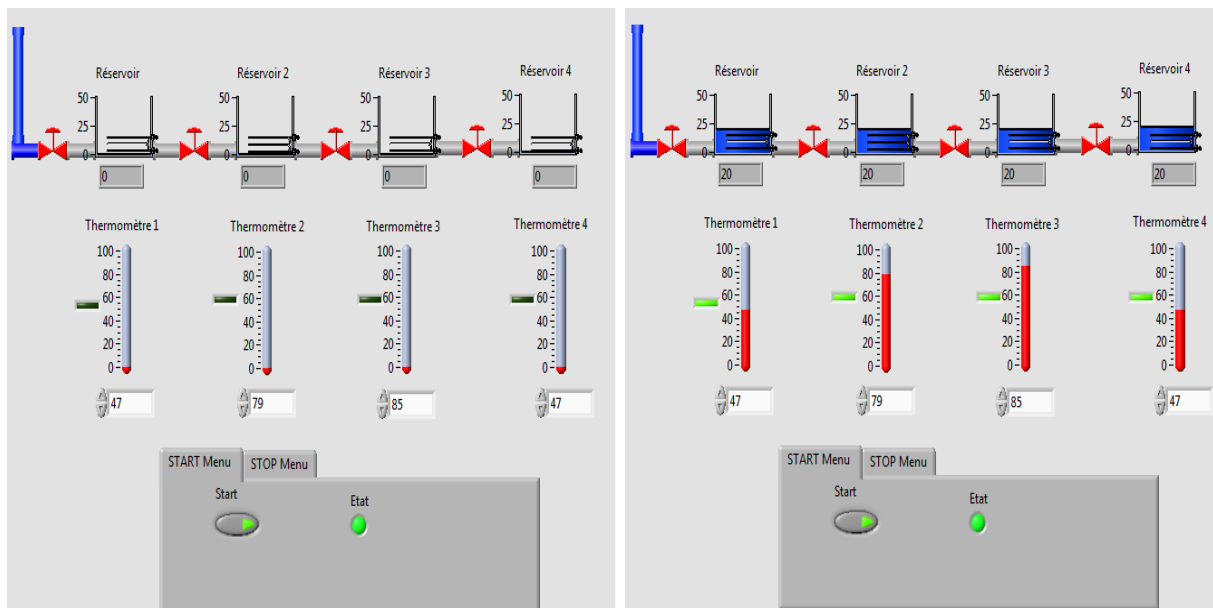


FIGURE IV.7 – Changement de température après remplissage

Les résultats de sorties du logiciel sont sauvegardé dans une base de données en temps réel. Le déroulement du processus est affiché sur un graphe déroulant sur LabVIEW, facile à déchiffrer par l'opérateur.

Chaque réservoir dispose de plusieurs graphes de déroulement pour les différents paramètres du processus de pasteurisation (IV.2). La figure IV.8, illustre celui de la température d'eau chaude

(Tec) pour la phase de pasteurisation 1 et 2 comme indiqué dans le tableau IV.2.

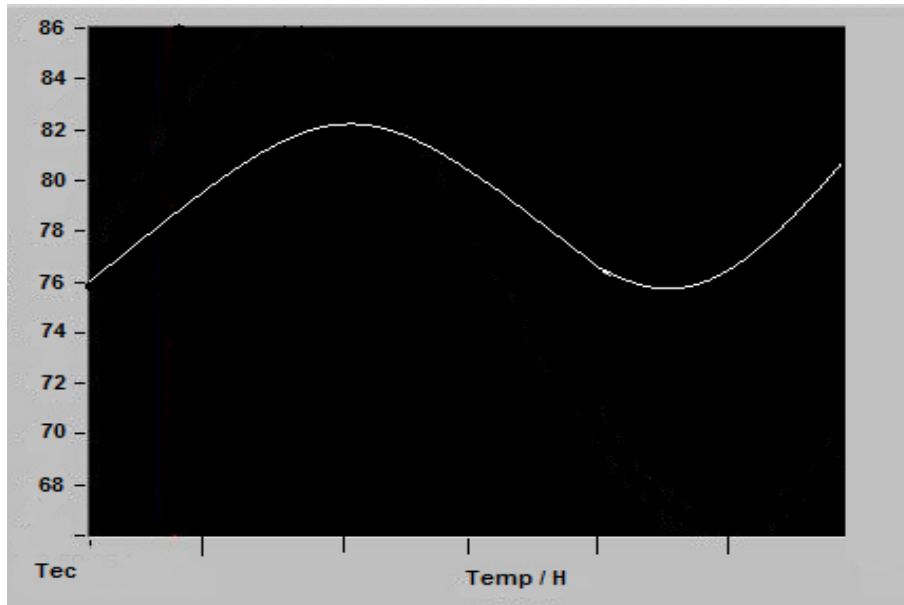


FIGURE IV.8 – Graphe déroulant sur l'état du système

Tant que la température du graphe déroulant (figureIV.8) varie toujours entre les valeurs 76 et 82 l'état du système est considéré comme normal.

L'outil « *LabVIEW Database Connectivity Toolkit* » (annexe 3) permet une connexion rapide aux bases de données sans avoir à connaître le langage SQL (*Structured Query Language*). Nous avons utilisé pour la sauvegarde des données « *ODBC driver* » et « *Microsoft Access* ».

Toutes informations concernant l'état de la machine est enregistrées sous une base de données en temps réel. La sauvegarde des informations permet à l'agent collecteur mobile d'effectuer l'assemblage des données. Une bref description se trouve dans l'annexe 3.

IV.5.2 Les agents du système

Environnement de développement

Les agents de notre système ont été développés sous la plateforme IBM-Aglet. Cette plateforme est dédiée au développement des agents mobiles sous JAVA.

L'API Aglet a été développée à Tokyo au début 1995 par une équipe de recherche au laboratoire d'IBM. Son but est de fournir une plate-forme uniforme destinée à la création d'agents mobiles dans un environnement hétérogène [55].

Les éléments principaux de la plateforme sont les suivants [55] :

- Proxy : un proxy est un représentant de l'Aglet. Il sert de bouclier contre l'accès direct à ses méthodes publiques. En outre, il permet de masquer l'emplacement de l'Aglet. Le proxy est immobile.
- Aglet : l'Aglet est l'agent mobile. Il est mis en œuvre en Java.
- Contexte : le contexte est l'environnement d'exécution de l'Aglet. Il fournit des services pour l'Aglet et protège l'hôte. Plusieurs contextes peuvent être présents sur la même machine. Les contextes sont nommés et peuvent ainsi être localisés par : l'hôte, le port et le nom.
- Identité : chaque Aglet dispose de son propre identifiant.

Le développement des Aglets doit s'appuyer sur un environnement de programmation JAVA. Eclipse est un environnement de développement intégré qui fournit une plateforme modulaire. Il facilite l'intégration des plug-ins et des bibliothèques.

Mise en œuvre des agents

L'agent stationnaire interface (figure IV.9) a été développé pour le système d'exploitation Android. Ce système d'exploitation gère le matériel sur lequel notre agent va s'exécuter. Après la connexion de l'expert à travers son téléphone ou PDA, l'agent interface est activé.



FIGURE IV.9 – Agent interface sous Android

L'agent administrateur sera à son tour activé sur la plateforme par l'agent interface (figure IV.10). Cet agent est responsable du clonage des autres agents, déterminer les itinéraires à l'agent collecteur et la sauvegarde des données.

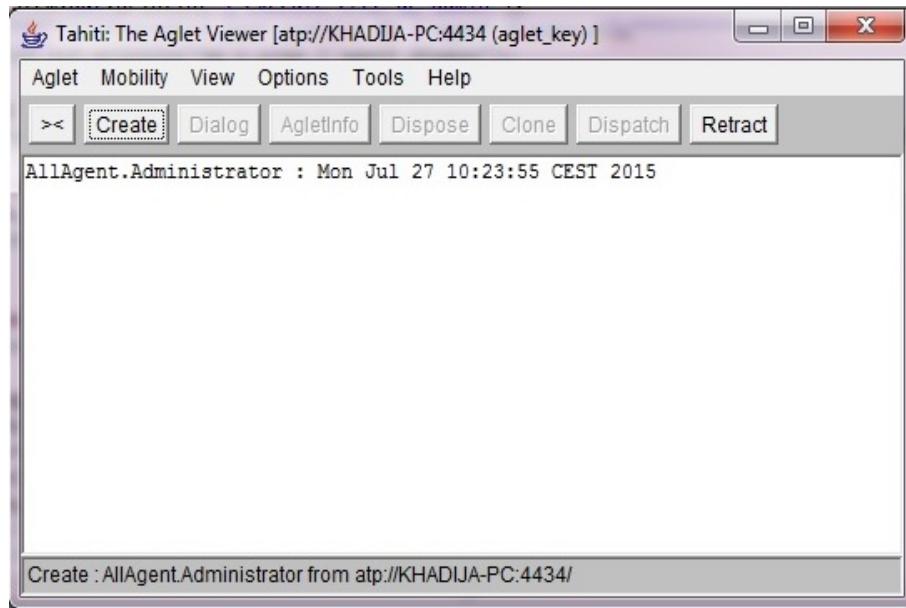


FIGURE IV.10 – Activation de l'agent administrateur

Les deux agents mobiles : collecteur et analyseur sont clonés par l'agent administrateur sur la même hôte (figure IV.11 à gauche). L'agent collecteur est envoyé à l'hôte de destination afin d'amasser les informations sur l'état des machines (figure IV.11 à droite). Il s'est déplacé de l'hôte numéro 4434 en vers l'hôte numéro 9000.

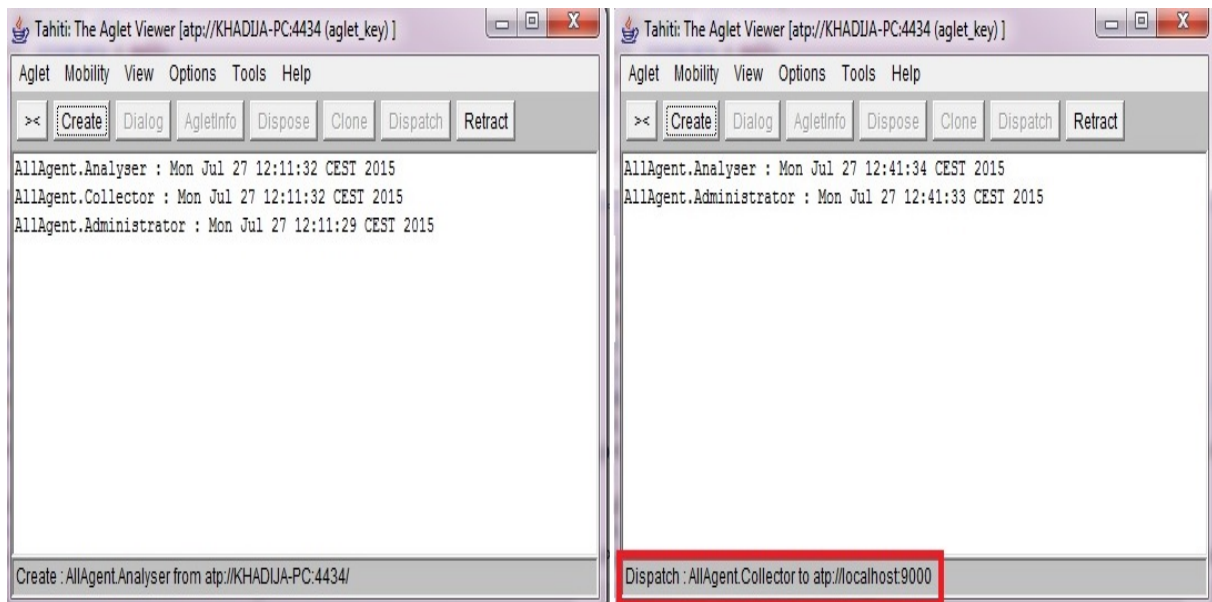


FIGURE IV.11 – Création et envoi de l'agent collecteur

IV.6 Conclusion

Le chapitre présent illustre la mise en œuvre de l'approche de m-maintenance proposée. Nous avons développé trois parties, la modélisation formelle avec les réseaux de Pétri, le développement

d'une automate avec l'environnement LabVIEW et la mise en œuvre des différents agents de notre système.

Les résultats obtenus par la modélisation avec les RdPGS ont permis d'avoir une vision plus précise et une compréhension approfondie sur les différentes machines. Ceci a engendré un développement rigoureux de notre approche.

Les résultats obtenues ont été testés et peuvent être directement exploités dans la chaîne de production réelle.

Conclusion générale & perspectives

L'objectif principal de la présente thèse a été particulièrement centré autour de la spécification des besoins dictés par le processus de m-maintenance industrielle. Dans ce cadre, notre travail vise la proposition d'une approche de m-maintenance répondante aux besoins des systèmes industriels en terme de temps réel, coût et qualité. Notre travail de thèse a été organisé en trois parties :

A. Recherche bibliographique

La première partie a été divisée en deux. Nous avons commencé notre étude par la présentation de quelques notions générales relatives à notre recherche. Nous avons introduit la notion de maintenance industrielle, son rôle, ses enjeux actuels et ses différentes politiques. Cette partie présente aussi les TIC et leur évolutions récentes. Ainsi, qu'elle expose l'utilité et la présence des TIC dans l'industrie et la maintenance et leur effets.

À la fin de cette partie nous avons présenté une synthèse analytique concernant les différentes politiques de maintenance. Ces politiques ont été étudiées dans différents cas. Un tableau récapitulatif nous a permis de mieux nous positionner. La synthèse de cette étude nous a orienté vers le choix de la maintenance prédictive. En outre, un complément bibliographique sur l'IA, l'IAD et les SMA a été présenté.

La deuxième partie, fournit une synthèse des travaux scientifiques contribuant à renseigner dans différents axes notre problématique. Les courants fondamentaux de recherche concernant les systèmes de maintenance a été réalisés dans cette partie. L'identification de ces courants de recherche a été réalisée par l'étude d'un ensemble de travaux partant du général au spécifique. Nous avons commencé par les travaux discutant l'impact de l'IA en général dans l'industrie et la maintenance industrielle. Ces travaux étudiés offrent des résultats satisfaisants. Néanmoins, quelques inconvénients ont été identifiés et des améliorations ont été apportées.

Nous avons identifié les inconvénients suivants :

- Raisonnement trop spécifique ; aucune généralisation ;
- temps d'exécution parfois long ;
- la possibilité de tombé sur un état bloquant ;
- incertitude d'exécution du système.

À partir de ces inconvénients, nous avons pu éliminer les technologies d'IA utilisées (logique floue, colonies de fourmis, réseaux de neurones) et nous orienté vers une autre technologie qui peut surmonter les inconvénients déjà cités. La technologie agent a prouvé sa capacité et son aptitude dans plusieurs domaines tel que l'industrie ce qui nous a mené à entamer l'apport de cette technologie dans le secteur industriel.

Les travaux étudiés utilisant la technologie agent offrent des résultats correctes. Cependant, les types d'agents choisis ne répondent pas à nos besoins et représentent plusieurs désavantages tel que :

- Une charge réseau est engendrée par la communication entre les agents du système ;
- l'architecture choisie des agents manque de mécanismes spécifiques pour apprendre des comportements passés ;
- aucune adaptation aux nouvelles situations ;
- la latence du réseau n'a pas été pris en compte.

L'étude des derniers travaux nous a mené à choisir un type spécifique d'agent qui permet de franchir les désavantages affrontés. Nous avons choisis les agents mobile grâce aux avantages qui offrent. L'exécution des tâches des agents mobiles exige la présence des TIC. À cet effet nous avons étudié leur impact sur l'industrie d'un part et la maintenance d'un autre part. À travers cette étude, nous avons exploré l'utilité des TIC pour le support de notre problématique.

Les travaux étudiés nous ont orienté vers le choix d'une architecture décentralisée, car la centralisation du système engendre :

- Sécurité difficile a assuré ;
- la difficulté d'échanges et un débit limité

Nous nous sommes aussi inspiré de la troisième étude qui va dans le même direction de nos intentions. Elle met à l'écart les arrêts non nécessaire des systèmes manufacturiers et décrit les avantages de l'utilisation des dispositifs informatiques mobiles et leurs potentiels dans la maintenance industrielle.

Dans l'intention de renforcer notre choix nous avons examiné deux autres travaux. Le premier propose une solution à base d'un dispositif mobile (PDA) pour une mobile e-maintenance basée sur les technologies embarquées et Web. Notre travail va dans le même sens où nous suggérons les améliorations suivantes :

- Assurer une transmission de données sécurisé et rapide.
- Surmonter le problème de temps de latence.
- Informer le personnel en temps réel en utilisant les agents mobiles.

Tandis que le deuxième travail propose un réseau de capteurs sans fil basé sur les agents mobiles pour une maintenance intelligente. Ce travail appui notre choix de l'architecture n-tiers.

B. Modélisation de l'approche proposée

Notre contribution vise à solutionner les problèmes posés par la tâche de m-maintenance toute en évitant les inconvénients retrouvés dans les travaux étudiés précédemment. À cet effet, nous avons proposé une approche de m-maintenance basé sur les agents mobiles et les TIC. Une architecture n-tiers est adopté. Cette architecture offre un degrés élevé de sécurité et d'évolutivité. Nos agents sont intégrés dans chaque tiers de l'architecture.

Dans le but d'avoir un raisonnement rigoureux, nous nous sommes intéressé à la modélisation et la vérification formelle. UML et les réseaux de Pétri ont été employés afin d'éclaircir et démontrer la validité du modèle proposé.

À cet effet une modélisation semi-formelle et formelle a été réalisée. Dans le cadre semi-formelle le langage UML est exploité. Nous avons utilisé l'extension MA-UML pour la modélisation des agents mobiles et leurs caractéristiques. En outre, les réseaux de Pétri ont été adoptés pour la modélisation formelle du système. Les réseaux de Pétri de haut niveau sont les plus appropriés pour la modélisation du comportement des agents mobiles. Ils permettent la modélisation du clonage, le déplacement et la communication entre agents.

Un autre outil formel a été utilisé pour l'étude de performance de notre système. Nous avons adopté les Réseaux de Pétri Stochastiques Généralisés en tant qu'outil graphique permettant la visualisation des aspects dynamiques et statiques du système. Pour cela, le logiciel ORIS a été utilisé. Il est simple et facile et permet la modélisation et la simulation automatique des systèmes complexes.

Pour la mise en place de notre approche nous avons choisis le système agroalimentaire ; l'unité

de production N'gaous-conserve. Nous avons utilisé LabVIEW. LabVIEW nous a permis de développer la machine de pasteurisation. C'est un outil facile à connecter avec d'autres plateformes. Ainsi, il offre un aspect graphique qui facilite le développement des différents logiciels. JAVA et Android ont aussi été utilisés pour l'implémentation des agents.

C. Perspectives de recherche

Notre travail de recherche ouvre plusieurs perspectives. Nous identifions au moins trois voies de développement pour approfondir et développer notre travail.

Avant tout, il est nécessaire de poursuivre le développement des travaux par le traitement de situations plus élaborées. Un objectif important à ce niveau est d'identifier différentes situations afin d'améliorer au plus le système. Ainsi, enrichir l'approche pour l'adapter à d'autres systèmes tel que ceux liés à la fabrication reconfigurables. Ceci nous permettra aussi d'adapter notre solution sur un environnement **cloud computing**.

Une deuxième voie importante consiste à étendre les bonnes pratiques en profitant des **réseaux ad hoc**. Il s'agit de des réseaux sans fil capables de s'organiser sans infrastructure définie préalablement. Ce qui nous permet d'utiliser les réseaux de capteur sans fil dans notre approche et d'avoir une **maintenance ubiquitous**.

Enfin, l'utilisation des agents nous semble très prometteuse pour représenter et simuler des scénarii d'échange et de collaboration entre hôtes. Des améliorations du modèle développé sont prévues. Le système de communication entre agents s'est avéré inadapté pour certains cas. L'utilisation d'**Internet des objets** semble plus avantageuse et préférable.

ANNEXES

Première partie

Services web

Nous présentons dans cette annexe les définitions de base concernant la technologie web et plus particulièrement les services web.

Le concept service

Un service consiste en un mécanisme à travers lequel il est possible pour des acteurs (humains, systèmes des partenaires, etc.) d'accéder à une ou plusieurs ressources ou fonctionnalités métier en invoquant des opérations. Cet accès est défini via une interface dont l'appel est soumis à des contraintes et des règles (*Contract & Policy*) spécifiées dans la description du service [34].

Un service suppose l'existence de trois éléments suivants : un producteur, des consommateurs et un contrat de service (figure ci-dessous).

Le producteur est un acteur qui fournit le service.

Les consommateurs sont considérés comme des clients ou les demandeurs de services.

Les termes du service rendu sont définis dans **un contrat** de service qui sert d'interface d'échange entre les deux parties (fournisseur et client).

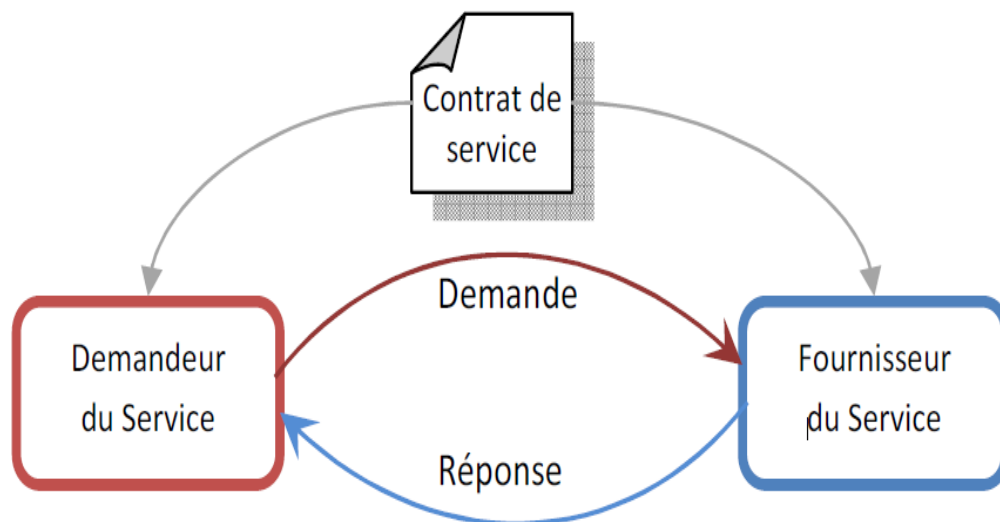


FIGURE 12 – Service : boucle d'interactions entre demandeur et fournisseur de service [50]

Le web

Le World Wide Web (*WWW*), littéralement la « toile (d'araignée) mondiale » et communément appelé le Web, peut être considéré comme un réseau de documents multimédias reliés entre eux par des liens hypertextes. Il repose principalement sur le protocole de communication HTTP (*HyperText Transfer Protocol*) permettant d'accéder à des documents identifiés et localisés grâce à leurs URL (*Unified Resource Locator*)[26].

HTML (*HyperText Markup Language*) est le langage de présentation généralement utilisé, permettant une mise en forme graphique des documents diffusés sur le web.

Le W3C (*World Wide Web Consortium*) est l'organisme chargé d'établir les standards concernant les technologies relatives au web.

Service web

Un service web est un logiciel conçu pour permettre des interactions entre des machines sur un réseau [26]. Il peut être accessible depuis une autre application (un client, un serveur ou un autre service web). En échangeant des messages les autres systèmes interagissent avec ce service. Les messages sont généralement transportés en utilisant le protocole de communication HTTP. Leurs contenus sont décrits sous le format XML conjointement avec d'autres standards web.

Le service web peut être implémenté comme une application autonome ou comme un ensemble d'applications. Il s'agit d'une technologie permettant à des applications de dialoguer à distance via Internet, indépendamment des plates-formes et des langages sur lesquelles elles reposent [53].

Les services web sont caractérisés essentiellement selon les points suivants [65] :

- **Basé sur le web** : les services web sont basés sur les protocoles et les langages du web.
- **Auto-Descriptifs et Autonomes** : le cadre des services contient en lui-même toutes les informations nécessaires à l'utilisation des applications, sous la forme de trois fonctions : trouver, décrire et exécuter. Ces fonctions sont réalisées respectivement à l'aide des technologies : UDDI *Universal Description Discovery and Integration*, WSDL *Web Services Description Language* et SOAP *Simple Object Access Protocol*.
- **Modulaires** : ils fonctionnent de manière modulaire et non pas intégrée. Les fonctionnalités ne sont pas intégrées ; plusieurs applications sont créées et vont interopérer entre

elles, remplissant chacune une de ces fonctionnalités. Cela permet de développer sous forme services web des fonctions pouvant être réutilisées dans d'autres applications, et aussi de les composer avec d'autres fonctions pour former une nouvelle application.

Les trois technologies standard, toutes fondées sur XML, sont utilisées pour la mise en œuvre des services web : SOAP, WSDL et UDDI.

SOAP : ce protocole permet la transmission de messages entre objets distants, ce qui veut dire qu'il autorise un objet à invoquer des méthodes d'objets physiquement situés sur un autre serveur.

WSDL : Il décrit de manière abstraite et indépendante du langage de programmation l'ensemble des fonctionnalités offertes par un service. Il permet de connaître les protocoles, les serveurs, les ports, le format des messages, les entrées, les sorties, les exceptions possibles et les opérations réalisées par un service web.

UDDI : L'annuaire de services UDDI est conçu comme un registre consultable, répertoriant les services web disponibles ainsi que leurs descriptions. Il permet ainsi de découvrir les services désirés de manière entièrement automatique.

Deuxième partie

Les réseaux de Pétri

Réseaux de Pétri reconfigurable

D'après Hoffman [25], le système P/T est défini par l'ensemble $PN = \langle P, T, pre, post, M^0 \rangle$ où :

- P : est un ensemble fini de places ;
- T : est un ensemble fini de transitions ;
- pre et $post$ sont deux fonctions : $pre, post : T \rightarrow P^\oplus$
sachant que P^\oplus représente plusieurs ensemble sur l'ensemble de places P ;
- M^0 : est le marquage initial $M^0 \in P^\oplus$

Une transition $t \in T$ est activée pour un marquage $M \in P^\oplus$, SSI (si et seulement si) : $pre(t) \leq M$.

Si t est activée, elle peut être affranchie pour transformer le marquage M à M' , sachant que $M' = M \ominus pre(t) \oplus post(t)$. L'inverse \ominus de \oplus est défini seulement : $M_1 \ominus M_2$ quand $M_2 \leq M_1$.

En se basant sur les définitions développées dans [25] [38], nous présentons la définition de : l'union, la transformation et le morphisme.

Morphisme

Nous avons les deux systèmes P/T ; $N_i = P_i, T_i, pre_i, post_i, M^0_i$ et $N_j = P_j, T_j, pre_j, post_j, M^0_j$.

Un morphisme g entre N_i et N_j est la fonction $g = N_i \rightarrow N_j$; ainsi nous avons $g = (g_T, g_P)$, sachant que : $g_T = T_i \rightarrow T_j$ et $g_P = P_i \rightarrow P_j$ sont deux morphismes qui cartographie les transitions vers la transition et places vers les places, respectivement.

g_T et g_P satisfont :

- $pre_i \circ g_T = g_P^\oplus \circ pre_i$
- $post_i \circ g_T = g_P^\oplus \circ post_i$

L'union

Nous avons trois réseaux : $N_0 = P_0, T_0, pre_0, post_0, N_1 = P_1, T_1, pre_1, post_1$ et $N_2 = P_2, T_2, pre_2, post_2$ avec deux morphisme : $f = N_2 \rightarrow N_0$ et $g = N_2 \rightarrow N_1$. Le réseau N_2 représente une interface commune entre N_0 et N_1 . L'union des réseaux N_0 et N_1 est le réseau $N = P, T, pre, post$ défini en utilisant les deux morphisme $f' = N_0 \rightarrow N$ et $g' = N_1 \rightarrow N$. L'opérateur de l'union est écrit $+_N$.

Selon les auteurs de [63], le réseau N est construit comme suit :

- 1 $T = T_0 +_{T_2} T_1$. T est l'union disjointe de T_0 et T_1 , où nous unissons ensemble les transitions t tel que : $f_T(t) \in N_0$ et $g_T(t) \in N_1$ pour chaque $t \in T$.
- 2 $P = P_0 +_{P_2} P_1$. P est l'union disjointe de P_0 et P_1 , où nous unissons ensemble les places p tel que : $f_P(p) \in P_0$ et $g_P(p) \in P_1$ pour chaque $p \in P$.
- 3 $pre(t) = pre_0(t_0)$ si $g'_T(t_0) = t$ sinon $pre(t) = pre_1(t_1)$ si $f'_T(t_1) = t$. L'ensemble des places d'entrées d'une transition t dans le nouveau réseau N est l'ensemble des places d'entrées de la transition t_0 défini dans N_0 SSI t est l'image de t_0 par le morphisme g' (idem pour t_1 et N_1 par le morphisme f').
- 4 $post(t) = post_0(t_0)$ si $g'_T(t_0) = t$ sinon $post(t) = post_1(t_1)$ si $f'_T(t_1) = t$. L'ensemble des places de sorties d'une transition t dans le nouveau réseau N est l'ensemble des places d'entrées de la transition t_0 défini dans N_0 SSI t est l'image de t_0 par le morphisme g' (idem pour t_1 et N_1 par le morphisme f').

Transformation

En se basant sur la construction de l'union d'un réseau P/T , la transformation de ce réseau est : double union. Nous avons les réseaux de Pétri L , K , R et C , la transformation $f : N_0 \rightarrow N_1$ transforme le réseau N_0 à N_1 en utilisant la règle $r = (L, K, R)$ et le matching $f : L \rightarrow N_0$ SSI nous avons une double union.

Selon les auteurs de [38], k_1 , k_2 , c et n sont des morphismes. Le réseau C est nommé le **contexte** de transformation et satisfait :

- 1 $T_c = (T_1 \setminus m_T(T_L)) \cup m_T(k_1 T(T_k))$. Les transitions de C sont l'union de l'ensemble de transitions dans N_0 (excluant ceux qui représentent les images des transitions de L par m) et l'ensemble des images des transitions de K par la composition des morphismes $m \circ k_1$.
- 2 $P_c = (P_1 \setminus m_P(P_L)) \cup m_P(k_1 P(P_k))$. Les places de C sont l'union de l'ensemble de places dans N_0 (excluant ceux qui représentent les images des transitions de L par m) et l'ensemble des images des transitions de K par la composition des morphismes $m \circ k_1$.
- 3 $Pre_C = Pre_{1|TC}$. La relation Pre_C est la même que Pre_1 limitée uniquement à l'ensemble T_C .
- 4 $Post_C = Post_{1|TC}$. La relation $Post_C$ est la même que $Post_1$ limitée uniquement à l'ensemble T_C .

Les Réseaux de Pétri Stochastiques Généralisés

Les Réseaux de Pétri Stochastiques Généralisés (*RPSG*) ont été introduit en 1984 par G. Balbo, G. Conte et M. Ajmone [43]. Leur définition a été améliorée par la suite en 1987 par les mêmes auteurs en collaboration avec G. Chiola [40].

Ce type de réseau de Pétri contient deux types de transitions : transition immédiate et transition temporisée. Un temps de transition exponentielle aléatoire est associée seulement avec les transitions temporisées, contrairement aux transitions immédiates, elle franchit dans un zéro temps avec une priorité plus élevée que les transitions temporisées. En outre, des arcs inhibiteurs sont autorisés, les différents niveaux de priorité des transitions immédiates peuvent être utilisés, et les poids sont associés à des transitions immédiates [39].

Un RPSG est défini par :

$RPSG = (P, T, I, O, H, M_0, W, \mathcal{P})$, où le réseau comprend :

- La base sous-jacente d'un réseau de Pétri : (P, T, I, O, M_0) ;
- $H \subset P \times T$ un ensemble d'arcs inhibiteur ;
- \mathcal{P} : une affectation de priorités aux transitions, qui associe la priorité la plus basse (0) avec des transitions temporisées et des priorités plus élevées ≥ 1 avec des transitions immédiates ;
- $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ est un tableau où les entrées :
 - a- Est le paramètre de l'exponentiel négatif de pdf (*probability density function*) du délai de transition si t_i est une transition temporisée,
 - b- un poids utilisé pour le calcul des probabilités de franchissement d'une transitions si t_i est une transition immédiate.

Dans la représentation graphique des RPSG, les transition immédiate sont représentées par des segments et les transitions temporisées par des rectangles blancs ou noirs.

Troisième partie

LabVIEW

LabVIEW

National instrument a conçu un environnement de développement spécialisé en informatique industrielle et scientifique ; LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*). Ainsi, elle a crée un langage entièrement graphique nommé langage G. Ce dernier représente l'appui de LabVIEW. Grâce à sa syntaxe graphique, LabVIEW permet de créer des logiciels complexes tout en facilitant la programmation, ce qui diminue les délais de développement. Il possède des bibliothèques de fonctions dédiées à l'acquisition de données, l'instrumentation, à l'analyse mathématique des mesures...etc. Il dispose d'une capacité d'intégration à presque tous les matériels. Dans la plus part du temps, LabVIEW est particulièrement recommandé pour développer des systèmes de contrôle et supervision.



FIGURE 13 – Logo de LabVIEW

A travers LabVIEW et grâce à ses nombreuses bibliothèques, il est possible d'interfacer et de commander les cartes et appareils au moyen de :

- VXI (*Vme eXtensions for Instrumentation*), PXI (*PCI eXtensions for Instrumentation*), Compact PCI,
- PCI (*Peripheral Component Interconnect*), PCI express, PXI express,
- USB, FireWire,
- TCP/IP,
- Bluetooth, WIFI,
- Automates programmables (PLC)...

Les programmes LabVIEW sont appelés VI (*Virtual Instruments*). Chaque VI est constitué de trois composants ; un diagramme de bloque, une façade et un panneau de connexion. Le diagramme de bloque est le cœur du programme, il représente le code source. Il est basé sur le langage G. La façade est construite en utilisant des commandes qui représentent les entrées et des indicateurs qui représentent les sorties. Le panneau de connexion est la représentation des VI dans d'autres diagrammes de bloque.

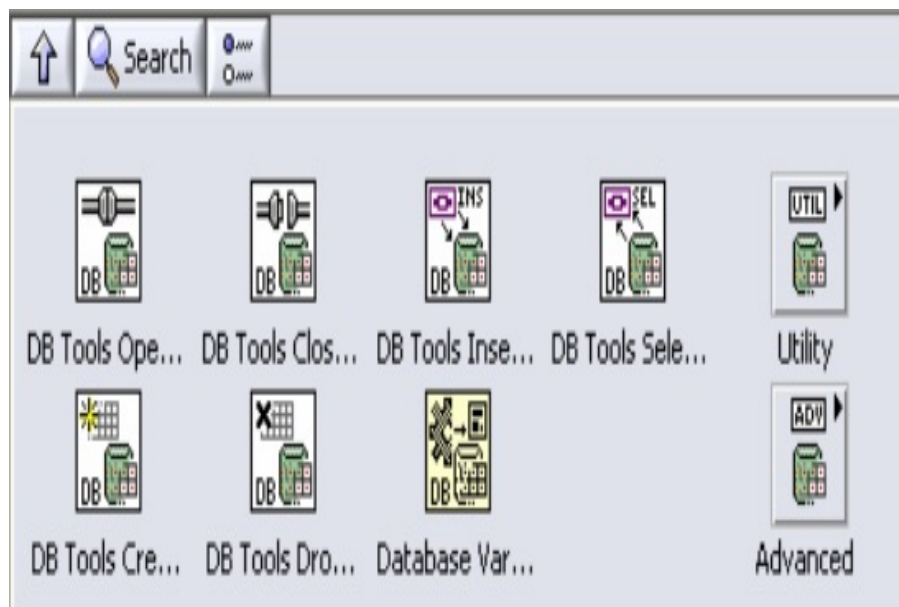


FIGURE 14 – L'outil de manipulation des bases de données

La figure suivante illustre une partie du diagramme de bloque de l'enregistrement des données de la machine.

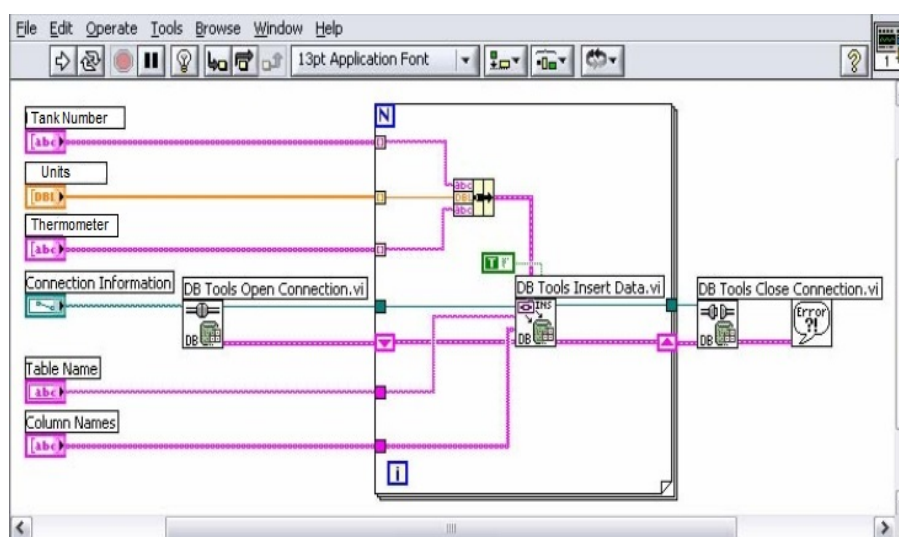


FIGURE 15 – Sauvegarde des données sous Microsoft Access

TABLE 5 – Interprétation de la figure IV.11

| Sous titre | Interprétation | Signification |
|---------------------------|--|--|
| Tank number | Le numéro du réservoir | Les informations de chaque réservoir sont sauvegardées sur des tables séparées pour plus de précision |
| Units | Le nombre d'unités | Le niveau d'eau dans les réservoirs doit toujours être surveillé afin d'éviter de grands dégâts |
| Thermometer | Le thermomètre associé | Un thermomètre est associé à chaque réservoir |
| Connection Information | Les informations de connexion | Déterminer l'emplacement de la base de données sur l'ordinateur |
| Table Name | Le nom de la table dans la base de données | - |
| Column Names | Noms des colonnes de la table | - |
| DB Tools Open Connection | Outil de connexion à la base de données | Ouvrir une connexion avec la base de données en utilisant les informations disponible dans « <i>Connection Information</i> » |
| DB Tools Insert Data | Outil d'insertion d'informations dans la base de données | Insérer les données nécessaires dans la base tout en respectant l'ordre de colonnes et leurs noms |
| DB Tools Close Connection | Outils de clôture de la base de données | A la fin des opérations chaque table doit être fermée. Pour des nouvelles manipulations une nouvelle connexion doit être établie. |

Bibliographie

- [1] *Le Petit Robert, Dictionnaire de la langue française*. première édition de 1967, 2004.
- [2] A.A.ALHOUAIJ : *Contribution à l'optimisation de la maintenance dans un contexte distribué*. Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2010.
- [3] AFNOR : Accès aux machines et installations industrielles, règles de sécurité. Rapport technique, AFNOR, 2002.
- [4] Norme AFNOR : Statistique et qualité, introduction à la fiabilité. Rapport technique, Standard X NF, 06-501, 1977.
- [5] Norme AFNOR : Terminologie de la maintenance. Rapport technique, Norme NF X60—010, 2001.
- [6] Ahmad ALALI ALHOUAIJ : *Contribution à l'optimisation de la maintenance dans un contexte distribué*. Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2010.
- [7] A.MULLER, M.C. SUHNER et B.IUNG : Formalisation of a new prognosis model for supporting proactive maintenance implementation on industrial system. *Journal of Reliability Engineering System Safety*, 93:243–253, 2008.
- [8] A. ARNAIZ, C. EMMANOUILDIS, B. IUNG et E. JANTUNEN : Mobile maintenance management. *Journal of International Technology and Information Management*, 15:11—22, 2007.
- [9] A.ROSMANI et K.SHARUL : A review of condition-based maintenance decision-making. *European Journal of Industrial Engineering*, 6:519–541, 2012.
- [10] A.SEGUY : *Décision collaborative dans les systèmes distribués -application à la e-maintenance*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2008.
- [11] E. BIERMANN, C. ERMEL, F. HERMANN et T. MODICA : A visual editor for reconfigurable object nets based on the eclipse graphical editor framework. *In In Proceeding 14th Workshop on Algorithms and Tools for Petri Nets (AWPN07). GI Special Interest Group on Petri Nets and Related System Models*, 2007.

- [12] A.H. BOND et L.GASSER : A survey of distributed artificial intelligence. *In San Mateo MORGAN KAUFMANN PUBLISHERS, éditeur : Readings in Distributed Artificial Intelligence*. 1988.
- [13] J. CAMPOS, E. JANTUNEN et O. PRAKASH : A web and mobile device architecture for mobile e-maintenance. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 45:71—80, 2009.
- [14] B. CHAIB-DRAA, B. MOULIN, R. MANDIAU et P. MILLOT : Trends in distributed artificial intelligence. *Journal of Artificial Intelligence Review*, 6:35—66, 1992.
- [15] R.G. COOPER : How new product strategies impact on performance. *Journal of Product Innovation Management*, 1:5—18, 1984.
- [16] A.S. CUI, M. ZHAO et T. RAVICHANDRAN : Market uncertainty and dynamic new product launch strategies : a system dynamics model. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 53:530—550, 2011.
- [17] D.HEDJAZZI : *Conception d'un modèle coopératif de support de la télémaintenance industrielle*. Thèse de doctorat, Université Hadj Lakhdar Batna, 2011.
- [18] D.RACOCEANU : *Contribution à la surveillance des Systèmes de Production en utilisant les Techniques de Intelligence Artificielle*. Thèse de doctorat, l'Université de Franche-Comté de Besançon, 2006.
- [19] D.TAZI : Externalisation de la maintenance et sécurité : une analyse bibliographique. Rapport technique, Institut pour une Culture de Sécurité Industrielle, 2010.
- [20] E. H. DURFEE, V.R. LESSER et D.D. CORKILL : Coherent cooperation among communicating problem solvers. *IEEE Transactions on Computer Science*, 36:1275—1291, 1987.
- [21] E. H. DURFEE, V.R. LESSER et D.D. CORKILL : Trends in cooperative distributed problem solving. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 1:63—83, 1989.
- [22] F.MONCHY : *Maintenance - méthodes et organisations*. Dunod, Paris, 2000.
- [23] G.BUCCI, L.CARNEVALI, L.RIDI et E.VICARIO : Oris : a tool for modeling, verification and evaluation of real time systems. *International Journal on Software Tools for Technology Transfer*, 12:391—403, 2010.
- [24] H.KAFFEL : *La maintenance distribuée : concept, évaluation et mise en uvre*. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 2001.

- [25] K. HOFFMANN, H. EHRIG et T. MOSSAKOWSKI : High—level nets with nets and rules as tokens. *In In Proceedings of 26th International Conference, ICATPN 2005, Miami, USA, June 20-25*, pages 268—288, 2005.
- [26] I.RASOVSKA : *Contribution à une méthodologie de capitalisation des connaissances basée sur le raisonnement à partir de cas : Application au diagnostic dans une plateforme de—maintenance*. Thèse de doctorat, Université de Franche—Comté, 2006.
- [27] A. K. S. JARDINE, D. LIN et D. BANJEVIC : A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Journal of Mechanical Systems and Signal Processing*, 20:1483–1510, 2006.
- [28] N. JENNINGS et M. WOOLDRIDGE : Agent—oriented software engineering. *In Agent Technology*. 2001.
- [29] N. R. JENNINGS, M. WOOLDRIDGE et K. SYCARA : A roadmap of agent research and development. *Journal of Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 1:7–38, 1998.
- [30] J.FERBER : *les systèmes multi agents vers une intelligence collective*. InterEditions, Paris, 1997.
- [31] J.OH, J.HAN et J.YANG : A fuzzy—based decision-making method for evaluating product discontinuity at the product transition point. *Journal of Computers in Industry*, 65:746–760, 2014.
- [32] K.ABID, L.KAHOUL, L. H.MOUSS et O.KAZAR : Formal specification of a mobile agent based maintenance for manufacturing systems. *In In Proceeding of 7th International Workshop on Verification and Evaluation of Computer and Communication Systems*, 2013.
- [33] K.SHAHRUL et A.ROSMANI : An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. *Journal of Computers and Industrial Engineering*, 63:135—149, 2012.
- [34] K.TOULOUM : *Analyse et modélisation orientée services dun système de maintenance industrielle*. Mémoire de D.E.A., Université Abderrahmane Mira de Bejaia, 2007.
- [35] D.B. LANGE et M.OSHIMA : *Programming and Deploying Java, Mobile Agents with Aglets*. Addison-Wesley, 1998.
- [36] J. LEE, L. LIAO, E.LAPIRA, J. NI et L.LI : Informatics platform for designing and deploying e-manufacturing systems. *Journal of Collaborative Design and Planning for Digital Manufacturing*, pages 1—35, 2009.

- [37] J.B. LEGER : Introduction à la e-maintenance. Rapport technique, Institut de Productique de Besançon, 2004.
- [38] L.KAHOUL, K.DJOUANI et A.CHAOUI : Formal study of reconfigurable manufacturing systems : A high level petri nets based approach. *Journal of Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems*, 8062:106—117, 2013.
- [39] M.A.MARSAN : Stochastic petri nets : An elementary introduction. *Lecture Notes in Computer Science*, 424:1—29, 1990.
- [40] M.A.MARSAN, G. BALBO, G. CHIOLA et G. CONTE : Generalized stochastic petri nets revisited : Random switches and priorities. *In International Workshop on Petri Nets and Performance Models*, 1987.
- [41] M.A.MARSAN, G.BALBO, G.CONTE, S.DONATELLI et G.FRANCESCHINIS : *Modelling with Generalised Stochastic Petri Nets*. John Wiley Sons, 1995.
- [42] E.E. MANGINA, S.D.J. MCARTHUR et J.R. McDONALD : Autonomous agents for distributed problem solving in condition monitoring. *Lecture Notes in Computer Science*, 1821:683—692, 2000.
- [43] M.A. MARSAN, G. BALBO et G. CONTE : A class of generalised stochastic petri nets for the performance evaluation of multiprocessor systems. *ACM Transactions on Computer Systems (TOCS)*, 2:93—122, 1984.
- [44] M. MCGRATH : *Product Strategy for High Technology Companies*. McGraw—Hill, New York, 2000.
- [45] M.H.KARRAY : *Contribution à la spécification et à l'élaboration d'une plateforme de maintenance orientée connaissances*. Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, 2012.
- [46] M.K. MOLLOY : *On the integration of delay and throughput measures in processing models*. Thèse de doctorat, Université de California, Los Angeles, USA, 1981.
- [47] S. NAKAJIMA : La maintenance productive totale (tpm), nouvelle vague de la production industrielle. Rapport technique, AFNOR Gestion, 1987.
- [48] S. NAKAJIMA : La maintenance productive totale : Mise en uvre. Rapport technique, AFNOR Gestion, 1989.
- [49] N.REZKI, O.KAZAR, L.H.MOUSS, L.KAHOUL et D.REZKI : A novel approach for multivariate process monitoring using several intelligences. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, in press, 2015.

- [50] N.SALATGÉ : *Conception et mise en œuvre d'une plate-forme pour la sûreté de fonctionnement des Services Web*. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2006.
- [51] O.KADRI : *L'application des algorithmes de colonies de fourmis pour le diagnostic des systèmes dynamiques et complexes*. Thèse de doctorat, Université Hadj Lakhdar Batna, 2013.
- [52] P.ADZAKPA : *Maintenance des systèmes distribués : méthodes d'aide à la décision temps-réel*. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Troyes, 2004.
- [53] P.BONNET : *Cadre de référence web service*, 2005.
- [54] R.K.MOBLEY : *An Introduction to Predictive Maintenance*. Van Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- [55] S.HAMIDA : *Une approche basée agent mobile pour le m-service web sémantique*. Thèse de doctorat, Université Mohamed Kheider Biskra, 2014.
- [56] D. SIMCHI-LEVI, P. KAMINSKY et E. SIMCHI-LEVI : *Designing and Managing the Supply Chain : Concepts, Strategies and Case Studies*. McGraw-Hill International Division, Singapore, 2003.
- [57] S.NAKTIN : *Les réseaux de Petri Stochastiques*. Thèse de doctorat, CNAM, Paris, France, 1980.
- [58] J.G. SUN, X.B. YANG et D. HUANG : Multi-agent based distributed chemical process monitoring and diagnosis. *In Proceeding of International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, volume 2, pages 851–856, 2002.
- [59] T.BANGEMANN, X.REBEUF, D.REBOUL, A.SCHULZE et J.SZYMANSKI : Proteus — creating distributed maintenance systems through an integration platform. *Journal of Computers in Industry*, 2006.
- [60] X. WANG, A. JIANG et S. WANG : Mobile agent based wireless sensor network for intelligent maintenance. *Journal of Advances in Intelligent Computing*, 3645:316–325, 2005.
- [61] T. WIREMAN : *World class maintenance management*. Industrial Press, New York, 1990.
- [62] W.WANG, P.W. TSE et J.LEE : Remote machine maintenance system through internet and mobile communication. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 31:783–789, 2007.

- [63] X.NAN, L.A.PING et X.L-YUN : Modeling and analysis method for reconfigurable manufacturing cell based on generalized stochastic petri nets. *Journal of Computer Integrated Manufacturing Systems*, 6:828—834, 2006.
- [64] X.WU, V.KUMAR, J.R.QUINLAN et J.GHOSH : Top 10 algorithms in data mining. *Journal of Knowledge and Information Systems*, 14:1–37, 2008.
- [65] Y.VASILIEV : *SOA and WS—BPEL : composing service-oriented solutions with PHP and ActiveBPEL*. Packt Publishing, 2007.
- [66] Z.ZHANG, Y.WANG et K.WANG : Fault diagnosis and prognosis using wavelet packet decomposition : Fourier transform and artificial neural network. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24:1213–1227, 2013.