

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Industriel

Mémoire de projet de fin d'études
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Management de l'innovation

Thème

Conception et développement d'un système de vision industrielle pour le calcul
automatique du TRS – Application AITech

Présenté par : M. CHERGUI Ryad Farouk
M. YEMMI Mounir

Sous la direction de : M. EL HADJ KHALEF Redouane (ENP)
M. AIB Mabrouk (AITech)

Présenté et soutenu publiquement le (02/07/2017)

Composition du jury :

Président : M. GOURINE Reda, MCB, ENP
Examineur : Mme. BOUKADOUM Nadjwa, MAB, ENP
Promoteur : M. EL HADJ KHALEF Redouane, MCB, ENP
Co-Promoteur : M. AIB Mabrouk, Docteur, ENP

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Génie Industriel

Mémoire de projet de fin d'études
pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Management de l'innovation

Thème

Conception et développement d'un système de vision industrielle pour le calcul
automatique du TRS – Application AITech

Présenté par : M. CHERGUI Ryad Farouk
M. YEMMI Mounir

Sous la direction de : M. EL HADJ KHALEF Redouane (ENP)
M. AIB Mabrouk (AITech)

Présenté et soutenu publiquement le (02/07/2017)

Composition du jury :

Président : M. GOURINE Reda, MCB, ENP
Examineur : Mme. BOUKADOUM Nadjwa, MAB, ENP
Promoteur : M. EL HADJ KHALEF Redouane, MCB, ENP
Co-Promoteur : M. AIB Mabrouk, Docteur, ENP

*Je dédie ce travail à toute ma famille que j'aime
et à tous mes amis que je ne saurais remplacer.*

Ryad.

A celle qui a fait de moi ce que je suis, et celui qui est pour moi ce que je veux être, Ma Mère, Mon Père...

A ma source indéfectible de force, de courage et de détermination, Zakí...

A Nesro, Samo, Neïla et Yanis, ma famille de cœur, je vous serai à jamais reconnaissant...

A la A147, aussi nombreuse soit-elle, pour sa présence dans les meilleurs, et surtout dans les pires moments...

A tous les vrais...

...je dédie ce travail !

Mounir.

Remerciements

Ce projet de fin d'études est l'aboutissement d'une formation d'ingénieur industriel enrichissante. Nous profitons de cette occasion pour adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes à qui nous la devons.

Nous adressons nos vifs remerciements à notre promoteur M. EL HADJ KHALEF, pour son soutien et son accompagnement indéniables tout au long de notre travail, pour ses précieux conseils, recommandations et suggestions.

Nous remercions très profondément notre encadrant au sein d'AITECH, M. AIB d'avoir cru en nous et nous avoir fait confiance pour ce projet. Nous lui adressons toute notre gratitude pour sa disponibilité, son engagement et son aide précieuse pour la réalisation de ce travail.

Par la même occasion, nos sincères remerciements s'adressent à l'équipe AITech, Nassim, Abdou, Zakaria et les autres, pour leur chaleureux accueil et leur implication dans notre travail, ainsi qu'au personnel de l'entreprise Simpex Afric pour leur collaboration et les informations qu'ils ont partagées avec nous.

Enfin, nous remercions l'ensemble du personnel de l'Ecole Nationale Polytechnique, et en particulier les enseignants du département Génie Industriel qui, chacun à sa manière, nous ont accompagnés tout au long de notre formation.

ملخص :

الهدف من هذا العمل هو إعداد حل يتمثل في الرؤية الإلكترونية تعتمد على تمييز الأجسام بواسطة كاميرا، وهذا من أجل حساب مؤشر فعالية التجهيزات الكلية لألات شركات الصناعة الغذائية بطريقة أوتوماتيكية. مؤشر فعالية التجهيزات الكلية هو مؤشر هام لكل الشركات الصناعية. هذا المؤشر قائم على مكوناته الثلاثة : التوافر، الأداء، والجودة. حققنا جميع المراحل باستعمال برنامج LabVIEW، من بناء الخوارزمية إلى عرض النتائج على لوحدة العدادات. هذا الحل يدخل في نطاق مشروع بحث وتطوير لشركة AITech.

الكلمات الدالة : الصيانة الوقائية الشاملة، مؤشر فعالية التجهيزات الكلية، الرؤية الإلكترونية، نظام تنفيذ التصنيع، لوحدة العدادات، بحث وتطوير.

Abstract:

The objective of our work is to develop a machine vision solution, based on object recognition using cameras, in order to automatically calculate the Overall Equipment Effectiveness (OEE) of machines of a food-processing industry company. The OEE is a key metric for any industrial firm. It is based on its three components: Availability, performance, and quality. We accomplished the steps of the solution using LabVIEW, from the development of the algorithm to the display of the results in dashboards. This solution has been developed as a part of an R&D project of the AITech Company, named "Smart TRS".

Keywords: Total Productive Maintenance (TPM), Overall Equipment Effectiveness (OEE), Machine Vision, Manufacturing Execution Systems (MES), Dashboards, R&D.

Résumé :

Notre travail consiste à développer une solution de vision industrielle, basée sur la reconnaissance d'objets en utilisant des caméras. Le but est de calculer automatiquement le taux de rendement synthétique (TRS) des machines d'une entreprise de l'industrie agroalimentaire. Le TRS est un indicateur de performance clé pour toute entreprise industrielle. Il est basé sur le calcul de ses trois composantes : le taux de disponibilité, le taux de performance et le taux de qualité. Nous avons réalisé les étapes de la solution sur le logiciel LabVIEW, depuis le développement de l'algorithme jusqu'à la présentation des résultats sous forme de tableaux de bord. La solution rentre dans le cadre d'un projet de R&D intitulé "Smart TRS" de l'entreprise AITech.

Mots clés : Total Productive Maintenance (TPM), Taux de Rendement Synthétique (TRS), vision industrielle, Manufacturing Execution Systems (MES), tableau de bord, R&D.

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction Générale	12
Chapitre I : Etat des lieux	15
I.1 Présentation de l'entreprise	16
I.1.1 Le marché visé	16
I.1.2 Sa gamme de produits	16
I.1.3 Les partenaires d'AITech	16
I.1.4 L'organigramme de l'entreprise :	17
I.2 Industrie agroalimentaire algérienne : Quelques chiffres	17
I.3 Cadre de travail et problématique	18
I.4 Analyse du besoin	19
I.4.1 Expression du besoin	19
I.4.2 Validation du besoin	20
I.4.3 Détermination des milieux extérieurs	20
I.4.4 Validation des fonctions	21
I.5 Solutions proposées	23
I.5.1 La récupération des données directement depuis les automates des machines :	23
I.5.2 Capteur à infrarouge passif :	23
I.5.3 Technologies basées sur les caméras :	23
I.5.4 Choix de la solution :	23
I.6 Conclusion	24
Chapitre II : Etat de l'art	25
II.1 La Total Productive Maintenance	26
II.1.1 Définition	26
II.1.2 Les objectifs de la TPM	26
II.1.3 Les huit piliers de la TPM	26
II.2 Typologie et modes de production	35
II.2.1 Classification en fonction de l'importance des séries et de la répétitivité.	35
II.2.2 Classification selon l'organisation du flux de production	35
II.3 La vision industrielle	36
II.3.1 Dispositif de capture d'image	37

II.3.2	Estimation des caractéristiques de la caméra	38
II.3.3	Le dispositif de traitement d'image	39
II.4	Le concept de MES	41
II.4.1	Définition	42
II.4.2	Fonctions d'un MES	42
II.4.3	Un outil d'aide à la décision	43
II.5	Tableaux de bord et Cockpit	45
II.5.1	Tableaux de bords	45
II.5.2	Management Cockpit :	47
II.6	Conclusion	48
Chapitre III	: Conception et développement du système	49
III.1	Objectif du système	50
III.1.1	Cible visée par la solution	50
III.1.2	Principe de fonctionnement	50
III.1.3	Moyens logiciels et matériels utilisés	51
III.2	Éléments de conception du système	53
III.2.1	La mesure du TRS	53
III.2.2	Présentation des résultats des mesures	64
III.3	Développement du système	68
III.3.1	Mesure du TRS	68
III.3.2	Présentation des résultats des mesures	74
III.4	Simulations et tests	80
III.4.1	Résultats de la simulation	81
III.4.2	Test du système en milieu industriel	83
III.5	Discussion du système élaboré	87
III.6	Conclusion	87
Conclusion Générale	89
Bibliographie	92
Annexes	95
Annexe I	: Présentation du logiciel <i>LabVIEW</i>	96
Annexe II	: La bibliothèque NI Vision for LabVIEW	97
Annexe III	: Le logiciel Microsoft Excel	97
Annexe IV	: Création des Tableaux Croisés Dynamiques	98

Liste des figures

Figure I-1 : Organigramme de l'entreprise AITech.....	17
Figure I-2 : Diagramme « Bête à cornes » pour l'expression du besoin	20
Figure I-3: « Diagramme de la pieuvre » des milieux extérieurs.....	21
Figure II-1 : Le TRS et ses composantes (Christian.Hohmann, 2017).....	29
Figure II-2 : Exemple de fiche TRS (Stamatis, 2010).....	30
Figure II-3 : Comparatif des différentes méthodes (AKDENIZ, 2017)	31
Figure II-4 : Etapes de la maintenance autonome (Bufferne, 2006).....	32
Figure II-5 : Vers le zéro panne (Bufferne, 2006)	32
Figure II-6 : Composants du pilier 6 (Bufferne, 2006).....	34
Figure II-7 : Histogramme d'une image	40
Figure II-8 : Chaque domaine d'activité au niveau possède une méthode de collection de donnée particulière, indépendante des autres. (Kletti, 2007)	41
Figure II-9 : Les systèmes de collecte de données sont devenus interconnectés et communiquent parfois avec le management de l'entreprise et la production via des interfaces uniformes. (Kletti, 2007)	41
Figure III-1 : Positionnement de la caméra	51
Figure III-2 : Moyens logiciels et matériel et utilisés	52
Figure III-3 : Schéma des étapes de la conception.....	54
Figure III-4 : Niveau de gris dans une image.....	55
Figure III-5 : Exemple de traitement et d'analyse d'image	56
Figure III-6 : Reconnaissance de l'état de l'équipement	57
Figure III-7 : Calcul des temps de fonctionnement.....	58
Figure III-8 : Calcul du nombre de produits.....	59
Figure III-9 : Ligne de passage pour l'incréméntation	60
Figure III-10 : Signal "nouveau produit"	60
Figure III-11 : Contrôle de surface	62
Figure III-12 : Compteurs des produits et produits conformes	63
Figure III-13 : Vision Acquisition dans une boucle while	68
Figure III-14 : Reconnaissance des produits dans l'image	69
Figure III-15 : Script de traitement du VI Express Vision Assistant	69
Figure III-16 : Reconnaissance des "bons" produits.....	70
Figure III-17 : Etat de l'équipement et calcul du temps de fonctionnement.....	70
Figure III-18 : Calcul du taux de disponibilité	71
Figure III-19 : Comptage des produits à la ligne de passage	71
Figure III-20 : Calcul du taux de performance.....	71
Figure III-21 : Comptage des bons produits à la ligne de passage	72
Figure III-22 : Calcul du taux de qualité	72
Figure III-23 : Calcul du TRS	72
Figure III-24 : Enregistrement des données de chaque fonctionnement dans un fichier Excel	73
Figure III-25 : Enregistrement des données de la journée dans un fichier Excel	73
Figure III-26 : Représentation générale du tableau de bord opérationnel	74

Figure III-27 : La page "En cours" du tableau de bord.....	75
Figure III-28 : La page "Données journée" du tableau de bord	75
Figure III-29 : La page "Evolution des 3 taux" du tableau de bord	76
Figure III-30 : Fichier au format .csv contenant les résultats de chaque journée de production.....	77
Figure III-31 : Présentation générale du tableau de bord	77
Figure III-32 : La moyenne du TRS et de ces composantes.....	78
Figure III-33 : Répartition du TRS et de ces composantes en classes	78
Figure III-34 : Représentation des mesures par périodes de temps	79
Figure III-35 : Graphes d'évolution et valeurs moyennes des taux de mai à juin	79
Figure III-36 : Graphes d'évolution et valeurs moyennes des taux du 10 mai au 7 juin	79
Figure III-37 : Image référence de produit conforme	80
Figure III-38 : Forme des présentes dans l'image acquise.....	80
Figure III-39 : Résultat de la barre Marche/Arrêt	81
Figure III-40 : Résultats des graphes d'évolution.....	82
Figure III-41 : Valeurs finales des 3 taux	82
Figure III-42 : Enregistrement des résultats dans le fichier Excel	83
Figure III-43 : Cartographie des flux du process Burger 45g	85
Figure 0-1 : Environnement LabVIEW (face-avant et diagramme)	96
Figure 0-2 : Création de la connexion entre de fichier Excel.....	98
Figure 0-3 : Importation des données depuis le fichier source	99
Figure 0-4 : Tableau contenant les données importées.....	99
Figure 0-5 : Création d'un Tableau Croisé Dynamique.....	100
Figure 0-6 : Sélection des champs à inclure dans le TCD.....	100

Liste des tableaux

Tableau I-1 : Validation des fonctions du système	22
Tableau II-1 : Différence entre les différents tableaux de bord (Fontaine, 2009).....	47
Tableau III-1 : Ecart de comptages enregistrés	81
Tableau III-2 : Cadences des équipements de la ligne burger 45g	86

Liste des abréviations

Blob : Binary Large Object

CCD : Coupled Charge Device

CMOS : Complementary Metal Oxide Semi-Conductor

Fps : Frame per second

MES : Manufacturing Execution System

NOTED : No Touch Exchange of Dies

OLE : Object Linking and Embedding

OPC : OLE for Process Control

OTED : One Touch Exchange of Dies

ROI : Region of Interest

SMED : Single Minute Exchange of Dies

TRS : Taux de rendement synthétique

TCD : Tableau Croisé Dynamique

TPM : Total Productive Maintenance

SVI : Système de vision industrielle

Introduction Générale

Introduction Générale

La nécessité de développer de nouveaux produits ou de nouvelles solutions est au cœur du modèle des entreprises technologiques. Que ce soit dans le but de se développer et de s'élargir, ou dans le but de survivre dans un environnement de concurrence. Parmi les raisons principales qui poussent ces entreprises à se lancer dans des projets de R&D : le développement du portefeuille de produits/services au travers un projet qui est stratégique et qui nécessite des compétences complémentaires à celles déjà acquises, ou encore la maximisation de son retour sur investissement avec un projet plus innovant.

De plus, le nombre d'opportunités augmente après avoir concrétisé un projet R&D, à savoir, l'intégration à de nouveaux marchés, le renforcement du know-how ou être à la pointe de l'innovation. Dans un tel contexte, rationaliser et piloter son développement du portefeuille produit s'avère indispensable. C'est dans cette perspective qu'AITech, la société qui nous a accueillis pour effectuer notre projet de fin d'études, a décidé de lancer un certain nombre de projets de recherche et développement. Le but fondamental est de constituer un meilleur équilibre de son portefeuille technologique, qui est aujourd'hui orienté vers la filière agricole.

Ainsi, AITech a décidé de développer une solution qui bénéficiera aux entreprises industrielles de la filière agroalimentaire ; une filière en pleine croissance et qui représente la 2ème industrie du pays en termes de PIB. Certes, cette filière est caractérisée par la non-satisfaction de l'industrie locale aux besoins de consommation algérienne tant en volume qu'en qualité.

AITech a donc pour ambition de devenir un acteur impactant l'amélioration des volumes et la qualité des productions locales, et ceci par le développement de solutions technologiques destinées à l'optimisation des processus industriels dans la filière de l'agroalimentaire.

Notre travail s'insère dans le cadre du développement de cette solution. Il porte sur la conception d'un système de vision industrielle capable de calculer automatiquement le Taux de Rendement Synthétique (TRS) des lignes de production. Nous avons pris part au projet depuis son initiation, à commencer par s'intéresser aux concepts existants dans les technologies de comptage automatique des objets qui est l'élément clé pour le calcul du TRS. Ceci a constitué notre point de départ, et nous avons pu élaborer les étapes de notre travail et le structurer selon trois chapitres comme suit :

Le chapitre I expose la structure de la société d'accueil et ses missions, ainsi que la présentation de son secteur d'activité. Il décrit le contexte du lancement du projet et ses besoins, établis grâce à une analyse du besoin. Nous indiquerons quelles solutions étaient envisageables et ce par la mise en pratique d'une campagne de veille technologique.

Le chapitre II est consacré à l'état de l'art et aux connaissances théoriques nécessaires au développement de la solution proposée au chapitre I. Seront traités, les concepts et outils principaux tels que le *Manufacturing Execution System* (MES), la méthode de calcul du TRS ainsi que l'approche *Total Productive Maintenance* (TPM) dont il fait partie. De plus, nous exposerons les éléments de base de la vision industrielle qui porteront sur le processus de vision qui va du dimensionnement des produits, jusqu'au traitement de l'image, à la reconnaissance et au comptage des produits. Finalement, la dernière partie fera le point sur les

Introduction Générale

tableaux de bords pour définir les outils requis pour mettre l'information exploitable à la portée de l'utilisateur.

Le chapitre III est dédié au volet pratique, qui est le cœur de la solution. On rapportera la démarche suivie, les outils, logiciels et matériels utilisés pour la réalisation de la solution, ainsi que les étapes de développement et de présentation des résultats.

En guise de conclusion, nous synthétiserons notre travail en reprenant toutes les phases principales du projet et nous mettrons en avant quelques perspectives pour des améliorations potentielles et des apports futurs pour la solution.

Chapitre I : Etat des lieux

Dans ce chapitre, nous allons présenter notre organisme d'accueil pour ce travail : la société AITech, son domaine d'activité, le marché qu'elle vise, ses gammes de produits ainsi que ses perspectives d'évolution. Par la suite nous introduirons notre problématique et cadre de travail qui seront suivis d'une analyse du besoin pour en ressortir avec des solutions potentielles, et enfin nous présenterons la solution préconisée.

I.1 Présentation de l'entreprise

AITech, Algérienne des Industries Technologiques, est une jeune entreprise algérienne spécialisée dans la télégestion, l'optimisation et l'automatisation appliquées à l'agriculture et à l'élevage. Son siège social se situe à Alger-Centre.

Créée en Avril 2016, les fondateurs d'AITech sont deux associés, tous deux ingénieurs industriels diplômés de l'Ecole Nationale Polytechnique.

Sa mission : AITech a pour but d'aider les acteurs du secteur agricole à améliorer leur production grâce à des solutions technologiques simples d'utilisation qui intègrent de l'expertise et les meilleurs pratiques métiers.

Vision : AITech assiste les exploitants agricoles et les éleveurs à faire face à la rareté de certaines ressources à savoir l'eau, les ressources humaines compétentes et motivées, et l'expertise métier ainsi que les ressources onéreuses à savoir les intrants de l'agriculture et de l'élevage.

I.1.1 Le marché visé

Les solutions développées par AITech sont basées sur l'intelligence artificielle et les objets connectés (*Internet Of Things*). Son marché principal concerne les opérateurs du secteur agricole : arboriculteurs (10 hectares et plus) ; maraichers (20 ha et plus), serres agricoles (5 ha et plus), grandes cultures irriguées (50 ha et plus). AITech a aussi développé des solutions spécifiques à l'automatisation et la télégestion des bâtiments d'élevage de volailles.

Les régions ciblées en priorité sont celles qui présentent un grand nombre d'exploitations agricoles et plus particulièrement celles qui souffrent du déficit en eau :

- Grandes cultures : Bechar, Adrar, Naama, El Oued ;
- Cultures maraichères : Relizane, Mostaganem, Tipaza ;
- Arboriculture : Blida (Mitidja), Boumerdes, Ghardaïa, Ain Oussara.

I.1.2 Sa gamme de produits

La gamme de produits d'AITech n'est pas très large vu que c'est une nouvelle entreprise, mais ne cesse de s'agrandir rapidement. Actuellement, les produits développés par AITech (dont la majorité sera commercialisée à partir de septembre 2017) comportent :

- Solution Smart Agriculture : qui vise à réduire la consommation des intrants agricoles et à améliorer les rendements de production ;
- Boîtier de commande avec écran tactile pour le paramétrage des niveaux d'alerte et le suivi en temps réel des actions en cours ;
- Solution pour l'automatisation et l'optimisation des bâtiments d'élevage des volailles.

I.1.3 Les partenaires d'AITech

Dans le cadre de sa politique de Recherche & Développement dans le secteur, AITech a mis en place plusieurs partenariats, à savoir :

Chapitre I : Etat des lieux

- Convention avec l'Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage ;
- Convention avec l'Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles ;
- Partenariat avec l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie ;
- Collaboration en cours avec les Directions des Services Agricoles (Wilaya de Bechar et de Blida) et le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural.

I.1.4 L'organigramme de l'entreprise :

L'équipe actuelle d'AITech est composée de 3 Docteurs-ingénieurs et 2 ingénieurs (spécialités couvertes : Informatique, Automatique, Electronique, Génie Industriel) et un réseau d'experts en freelance (Agronomie, Aviculture, Automatique, Electronique). Un ingénieur agronome est en cours de recrutement (installation programmée pour juillet 2017).

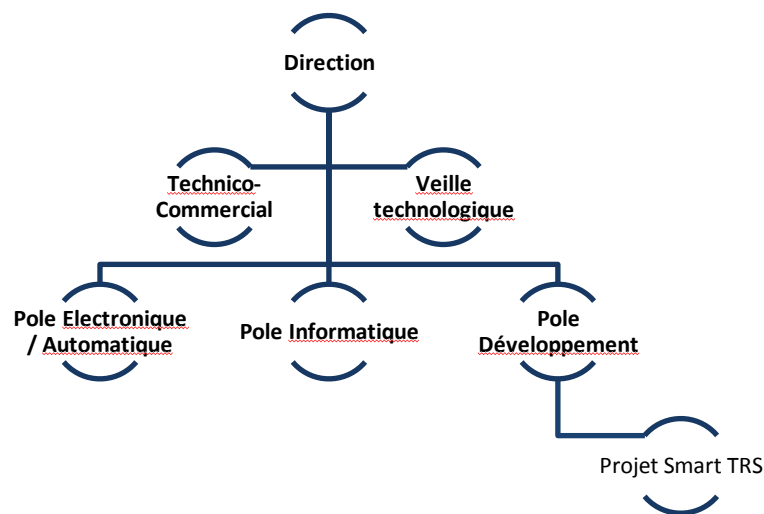


Figure I-1 : Organigramme de l'entreprise AITech

AITech ne cesse de développer de nouvelles solutions qui intègrent :

- Automatisation et télégestion des pivots d'irrigation (partenariat en cours de discussion avec le plus important fabricant de pivots en Algérie) ;
- Système d'alerte intelligent pour les risques phytopathologiques (version Beta finalisée) ;
- Solution globale de type ERP pour la gestion agricole ;

De plus, l'entreprise a lancé un projet de R&D pour le développement d'une solution pour l'optimisation des processus industriels pour le secteur agroalimentaire.

I.2 Industrie agroalimentaire algérienne : Quelques chiffres

L'agriculture et le secteur agroalimentaire représentent près de 23% de la population active. En 2016, l'agriculture contribue à hauteur de 13% au PIB de l'Algérie et le chiffre d'affaires réalisé par l'industrie agroalimentaire représente 40% du total du chiffre d'affaires des industries algériennes hors hydrocarbures (Fiche pays Algérie - Le Moci, 2016).

En 2016, les importations totales ont dépassé les 57 Milliards US\$ et devraient atteindre 61 Milliards \$ en 2017 selon le FMI (Produits alimentaires : Hausse de la facture d'importation sur les 4 premiers mois 2017, 2017) On comprend alors pourquoi le

développement du secteur agricole et agroalimentaire est un enjeu majeur pour l'Algérie aux niveaux économique, politique et social. Il s'agit de la deuxième industrie du pays, après celle de l'énergie. Les ménages algériens consacrent en moyenne 45% de leurs dépenses à l'alimentation. En amont des industries agroalimentaires, on recense en Algérie plus d'un million d'exploitations agricoles couvrant plus de 8,5 millions d'hectares de terres arables, exploitées par l'arboriculture (41%), des cultures maraîchères (26%) et les grandes cultures (33%), principalement céréalières (UBIFRANCE, 2009).

Les industries agroalimentaires représentent au moins 17 000 entreprises mais le secteur exporte très peu, l'Algérie est même un pays structurellement importateur en étant le premier pays importateur des denrées alimentaire en Afrique avec 75% de ses besoins assurés par l'importation, malgré le potentiel pour certains produits. Pour y arriver, l'industrie doit continuer à se développer, à se moderniser et à améliorer ses standards. Les industries agroalimentaires ont une grande importance car elles permettent d'assurer la sécurité alimentaire du pays. C'est pour cela que le gouvernement algérien vise à favoriser de plus en plus le développement de la production dans les secteurs fortement déficitaires, et ceci pour réduire la dépendance vis-à-vis de l'étranger (E.Chérif, 2015)

Les industries agroalimentaires connaissent un développement remarquable depuis 15 ans et les perspectives de croissance sont encore plus importantes pour le futur. Les moteurs du développement sont l'investissement, la modernisation des équipements, l'acquisition de savoir-faire, les partenariats et l'innovation.

L'industrie agroalimentaire algérienne étant en forte expansion, ceci représente une réelle opportunité pour une entreprise comme AITech qui vise à développer des solutions pour l'automatisation et l'optimisation des process industriels dans ce secteur.

I.3 Cadre de travail et problématique

Afin d'améliorer le système de production des industries agroalimentaires des technologies avancées en matière de traitement de l'information doivent être mises en œuvre. L'automatisation du contrôle en temps réel des processus est l'un des aspects importants. AITech, jeune entreprise qui vise à acquérir de nouvelles parts de marché et développer des solutions par l'automatisation et l'optimisation des processus de l'industrie agroalimentaire, à lancer un projet afin de développer de nouvelles solutions et d'acquérir du savoir-faire dans ce domaine.

C'est dans ce cadre que notre travail s'insère. Un projet de R&D de la société AITech qui souhaite développer la solution *Smart TRS*. Cette solution consiste à mesurer automatiquement et en temps réel le taux de rendement synthétique ou TRS des lignes de production dans les entreprises industrielles du secteur agroalimentaire.

Ce TRS est un indicateur de performance essentiel qui permet de connaître le taux d'utilisation d'un équipement en mesurant la disponibilité, la performance et la qualité produite par ce même équipement.

Dans cette optique, notre travail consiste à concevoir une méthode pour mesurer de manière automatique cet indicateur de performance des lignes de production, et de réaliser un prototype de cette solution.

Dans ce qui va suivre, des solutions sont proposées afin de mesurer le TRS automatiquement en s'inspirant de l'analyse fonctionnelle pour bien définir le besoin et le valider

I.4 Analyse du besoin

Pour expliciter le projet de notre étude, nous commencerons par suivre la démarche de l'analyse fonctionnelle. Cette démarche nous permettra de modéliser le système et de le décrire sous forme d'un ensemble de fonctions à partir du point de vue de l'utilisateur, en effectuant une analyse externe.

Dans la logique de cette démarche, nous commencerons par exprimer le besoin et le valider. L'étape d'expression du besoin permet de formuler l'objectif fondamental du système que nous allons concevoir, tandis que l'étape de validation du besoin permet de mettre en évidence les circonstances de l'intérêt de ce système, ainsi que de vérifier l'existence de ce besoin, et sa stabilité dans le temps. (Yannou, Analyse Fonctionnelle et Analyse de la Valeur, 1997).

Nous déterminerons ensuite les milieux extérieurs avant d'en faire ressortir les fonctions de notre système par l'outil «diagramme de la pieuvre» et de les valider. Cette étape permettra de se focaliser sur les fonctions principales du système, et de ne pas trop se pencher sur des fonctions qui risquent de disparaître dans le temps (Yannou, Analyse Fonctionnelle et Analyse de la Valeur, 1997).

Par la suite, nous procéderons à la proposition des solutions qui s'offrent à nous pour assurer ces fonctions et répondre au besoin. Nous finirons par choisir la solution qui s'est avérée la meilleure.

I.4.1 Expression du besoin

L'expression du besoin peut être formulée par le graphe suivant « Bête à cornes » :

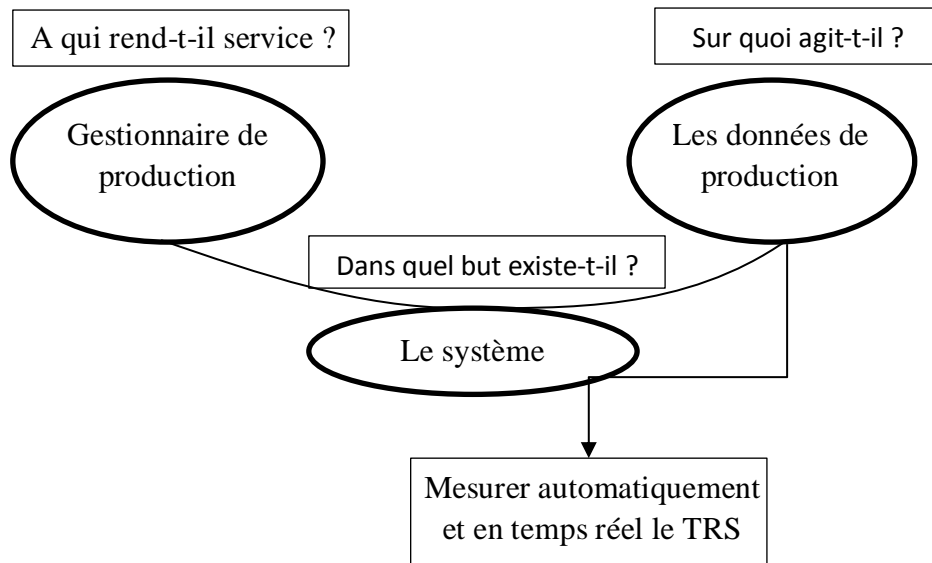


Figure I-2 : Diagramme « Bête à cornes » pour l'expression du besoin

Notre système existe dans le but de mesurer automatiquement le taux de rendement synthétique d'un équipement de production et de le présenter au gestionnaire pour lui permettre de prendre des décisions selon son niveau hiérarchique. Ainsi, le besoin est : *Le système mesure automatiquement le TRS d'un équipement de production.*

Une fois le besoin exprimé en répondant aux questions fondamentales sur la Figure I-2, il est question de le valider.

I.4.2 Validation du besoin

Pour valider le besoin, il faut répondre aux trois questions suivantes :

- *Pourquoi le besoin existe-t-il ?* Le besoin existe pour permettre le suivi de l'évolution à court comme à long termes du rendement des machines de manière plus fiable et moins coûteuse ;
- *Qu'est-ce qui pourrait faire évoluer le besoin ?* La croissance de la compétition au sein de l'industrie engendrera une plus grande nécessité d'optimisation des ressources et de réduction des coûts ;
- *Qu'est-ce qui pourrait faire disparaître le besoin ?* Tant que les entreprises sont à la quête de l'optimisation de leur processus de production, la mesure automatique du rendement de leurs équipements reste la solution idéale. Donc la probabilité que le besoin disparaisse est minime.

I.4.3 Détermination des milieux extérieurs

Cette étape permet de recenser les milieux extérieurs qui interagissent avec notre système, et d'en déduire les fonctions de celui-ci. Ces milieux sont résumés dans le schéma suivant « Diagramme de la pieuvre » :

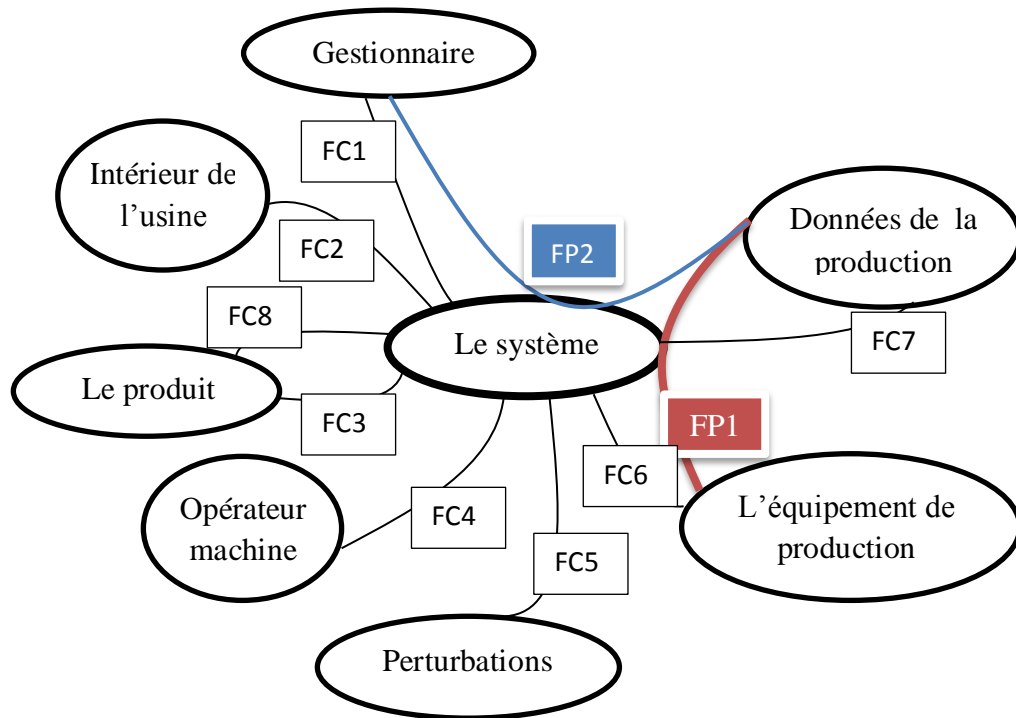


Figure I-3: « Diagramme de la pieuvre » des milieux extérieurs

FP 1 : Calculer automatiquement et en temps réel le TRS d'un équipement de production à partir des données de production.

FP 2 : Présenter les résultats du TRS au gestionnaire.

FC 1 : Faciliter la lecture du résultat du TRS.

FC 2 : Résister aux conditions intérieures de l'usine.

FC 3 : Ne pas être en contact avec le produit.

FC 4 : Ne pas encombrer l'opérateur.

FC 5 : Sauvegarder les données automatiquement lors d'un arrêt brusque du système.

FC 6 : Ne pas être intrusif à l'équipement de production.

FC 7 : Etre paramétrable selon les caractéristiques de la production.

FC 8 : Evaluer la qualité du produit.

I.4.4 Validation des fonctions

Dans cette étape chaque fonction devra être validée, et sa stabilité vérifiée à l'aide du tableau suivant en répondant aux questions suivantes :

- *Dans quel but la fonction existe-t-elle ?* Il est question de définir la finalité de la fonction ;
- *A cause de quoi ?* Pour savoir la cause ou l'origine de la fonction ;

Chapitre I : Etat des lieux

- *Risque de disparaître ?* Savoir si la fonction pourrait disparaître ou évoluer.

Fonction	Dans quel but ?	A cause de quoi ?	Risque de disparaître ?
FP1	Suivre l'évolution à court terme comme à long terme de la productivité des machines de manière plus fiable et moins coûteuse	Les coûts engendrés par la méthode classique de calcul et le manque de fiabilité de l'information	Non, il y aura toujours des entreprises qui se soucient du rendement de leurs équipements
FP2	Faciliter le processus de prise de décision	Minimiser les pertes d'informations	Non, il y aura toujours des gestionnaires qui ont besoin d'information pour prendre les bonnes décisions
FC1	Présenter l'information pertinente seulement et gagner de temps	Le gestionnaire doit prendre des décisions rapides et efficaces	Oui, dans le cas où une production peut s'autogérer
FC2	Pour garder le système opérationnel à 100 %	Impact de l'environnement sur l'efficacité du système	Non, pour pouvoir fonctionner correctement, la solution se doit d'être résistante
FC3	Eviter de dégrader la qualité du produit	Les exigences qualité sur les produits agroalimentaires	Non, car les exigences qualité ne disparaîtront pas
FC4	Pour ne pas gêner l'opérateur dans son travail	Le poste de travail de l'opérateur doit être ergonomique	Oui, dans le cas où on peut se passer de l'opérateur
FC5	Eviter la perte des données	Risque d'interruptions brusques	Non, le système perdrait de sa fiabilité
FC6	Pour ne pas troubler le processus de production	Les pertes que cela engendrerait	Non, le système est là pour optimiser le processus et non le dégrader
FC7	Pouvoir s'adapter à plusieurs clients	La différence entre les paramètres de l'environnement interne du client	Non, la solution doit pouvoir s'adapter facilement à chaque nouveau client
FC8	Assurer la précision des calculs	La mesure du TRS exige la connaissance de la conformité du produit.	Oui, dans le cas où on propose un système de contrôle qualité alternatif

Tableau I-1 : Validation des fonctions du système

Le besoin ayant été exprimé, les fonctions ayant été validées, nous proposons maintenant des solutions technologiques adaptées aux besoins du projet et capables de remplir les fonctions citées précédemment.

I.5 Solutions proposées

Nous avons donc effectué une campagne de veille technologique sur les différentes solutions utilisées dans le domaine de mesure, de contrôle et de collecte automatique de données dans l'industrie. A travers les différentes recherches et collectes d'informations sur les articles de recherches, revues technologiques spécialisées, offres commerciales et différents autres types de source d'information qui traitent du sujet, nous avons pu déterminer trois méthodes qui permettent de récupérer les données des machines qui sont indispensables au calcul du TRS. Ces méthodes sont présentées ci-après.

I.5.1 La récupération des données directement depuis les automates des machines :

La solution la plus rapide pour obtenir des données d'une machine est sûrement de pouvoir les récolter directement depuis cette dernière, si celle-ci est pilotée par des automates. Grâce à un protocole universel appelé OLE for OPC (Object Linking and Embedding for Process Control), on peut standardiser les échanges de flux entre équipements hétérogènes communicants à travers un serveur OPC. Néanmoins, après des approfondissements sur le terrain, on constate qu'il n'est souvent pas possible de se connecter directement aux automates des machines (cela dépend en grande partie des modèles). En effet, les fournisseurs d'équipements ont tendance à ne pas donner l'accès à leurs automates sur le marché Algérien afin que leurs clients restent dépendants d'eux. Par ailleurs, la grande diversité des automates existant sur le marché des entreprises algériennes du secteur agro-alimentaire impliquerait que la solution développée soit lourdement adaptée pour chaque nouveau client. Ce qui est un déficit en *scalabilité* trop important pour être rentable pour AITech (cf. explications complémentaires à la section I.5.4).

I.5.2 Capteur à infrarouge passif :

Les capteurs directionnels à infrarouge passif détectent les changements de luminosité dans leurs champs de vision lorsqu'un objet passe. Ils signalent des présences, des positions finales, et servent de générateurs d'impulsions pour des opérations de comptage.

I.5.3 Technologies basées sur les caméras :

Cette technologie est basée sur la vision industrielle, et son fonctionnement est basé sur la détection des objets par leur forme, leurs contours ou une région les composant. Elle peut s'adapter à des opérations de comptage d'objets mais aussi d'estimations de leurs caractéristiques visuelles. Cette technologie nécessite une caméra pour l'acquisition de l'image et un logiciel de traitement pour l'extraction de l'information depuis cette image.

I.5.4 Choix de la solution :

Après avoir effectué une visite dans une unité de production agroalimentaire possédant des automates, nous avons découvert que pour la plupart des machines, l'accès aux données des automates était protégé. Il nous a d'ailleurs été confirmé par des automaticiens intervenant régulièrement dans des entreprises du secteur ciblé que cette situation était très courante. Par ailleurs, l'accès aux automates nécessitait des logiciels de coûts élevés propres aux fournisseurs des automates pour établir une connexion. Après plusieurs essais, cette solution a

été abandonnée car elle présentait de nombreuses contraintes telles que la difficulté d'accès aux données des automates et la difficulté de répliquer la solution pour de nouveaux clients (chaque client ayant souvent des automates différents, il faudrait repartir à zéro pour chaque nouveau client).

Entre la solution basée sur la vision industrielle et celle sur les capteurs, le système de vision a été sélectionné, car en plus d'offrir la possibilité de comptage des produits, cette solution permet d'effectuer des mesures dimensionnelles et chromatique sur le produit. Ce qui permet d'effectuer un contrôle qualité sur le produit, et de juger de sa conformité. Cela permettrait à notre système d'effectuer la mesure du TRS de manière complète.

I.6 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter l'organisme d'accueil AITech et ses domaines d'activité, d'une part. D'autre part, il nous a permis de définir notre problématique et notre cadre de travail. Nous avons entamé par la suite une étude du besoin en s'inspirant de l'analyse fonctionnelle. Ce qui nous a aidés à bien exprimer le besoin, le valider et identifier les fonctions que doit remplir le système. Cette étude du besoin nous a amenés à proposer des solutions et à choisir la meilleure à savoir un système de vision industrielle pour le calcul du TRS. Le choix de cette solution nous amène à nous documenter sur les différents outils et concepts liés au développement de cette solution.

Chapitre II : Etat de l'art

Après avoir introduit la problématique dans le chapitre précédent ainsi que la piste de solution à suivre, une revue de littérature s'impose : c'est l'objet du présent chapitre. Nous allons, dans un premier temps, expliquer les concepts de la Total Productive Maintenance (TPM) ainsi que le Taux de Rendement Synthétique (TRS). Dans un second temps, nous allons présenter les différentes typologies de production. La vision industrielle sera ensuite introduite ainsi que les constituants d'un système de vision industrielle. Nous finirons par expliquer le concept des Manufacturing Execution Systems (MES) ainsi que les tableaux de bord et le Cockpit Management.

II.1 La Total Productive Maintenance

II.1.1 Définition

La Total Productive Maintenance (TPM) est une démarche globale d'amélioration permanente des ressources de production qui vise la performance économique des entreprises. Elle est globale car elle concerne toute personne de l'entreprise, du directeur à l'opérateur (Bufferne, 2006).

II.1.2 Les objectifs de la TPM

La TPM a pour objectif de régénérer la culture de l'entreprise par l'amélioration des ressources humaines et du système de production. Cette culture s'appuie sur la suppression des causes premières de dysfonctionnement, et l'à-peu-près dans la propreté et l'état des équipements (Bufferne, 2006) ; c'est donc une approche proactive. Dans une logique de prévention plus qu'une logique de management des processus, elle rentre dans une démarche d'amélioration continue pour essayer d'atteindre le zéro déchet, zéro erreur et zéro accident au travail (Stamatis, 2010) :

II.1.2.1 Valoriser et améliorer les ressources humaines

La réalisation des objectifs de productivité et de qualité dépend de l'expérience et du savoir-faire des salariés, et pour pouvoir les exploiter il faut :

- Savoir écouter et faire participer et admettre que les bonnes idées peuvent provenir des autres ;
- Améliorer leur expérience, savoir-faire et connaissances relatives au processus et technologies des équipements ;
- Redonner conscience à l'ensemble du personnel, de l'importance des équipements dans la performance industrielle.

II.1.2.2 Améliorer le système de production

La TPM vise à améliorer les équipements, les méthodes, les procédés et l'organisation du système de production. Elle essaye donc de mener simultanément 2 actions :

- Retrouver l'état normal des équipements ;
- Etudier et supprimer les causes réelles d'inefficacité des ressources de production.

II.1.3 Les huit piliers de la TPM

La démarche TPM est basée sur 8 piliers qui permettent de la construire, d'en retirer les bénéfices, et de pérenniser les résultats (Bufferne, 2006) :

II.1.3.1 Amélioration au cas par cas – Kobetsu Kaizen :

Ce pilier est aussi appelé « chasse aux pertes », et est basé en grande partie sur le Taux de Rendement Synthétique (TRS).

II.1.3.1.1 Le Taux de Rendement Synthétique (TRS)

a- Définition et concept :

Chapitre II : Etat de l'art

Le taux de rendement synthétique (TRS) est un indicateur qui mesure le taux d'utilisation des machines. Il est constitué de 3 composantes (Christian.Hohmann, 2017) :

- Le taux de disponibilité ;
- Le taux de performance ;
- Le taux de qualité.

Le TRS est considéré comme l'indicateur de performance phare de la production, et ceci revient à ses caractéristiques qui font de lui un très bon indicateur (Bufferne, 2006):

- Il est relativement simple à mesurer ;
- Il est indépendant de l'industrie et de son niveau d'activités, le TRS s'exprime en pourcentage et permet donc la comparaison des lignes de production, des ateliers ou des usines, même si leur niveau de production est différent ;
- C'est un indicateur synthétique, en un seul chiffre il permet de caractériser la productivité d'une ligne ;

Le TRS met l'accent sur l'efficacité d'une opération de fabrication, c'est une mesure qui identifie le potentiel de l'équipement, et identifie et suit les pertes et permet d'identifier les opportunités. Le suivi du rendement d'une ligne de production par son TRS permet de :

- Accroître les profits ;
- S'améliorer par rapport aux concurrents ;
- Identifier les propriétés des équipements ;
- Réduire les dépenses.

Du fait qu'il soit relativement simple à mesurer, indépendant de l'industrie et synthétique, et qu'il permet d'accroître les profits et de réduire les dépenses, le TRS est considéré aujourd'hui comme étant le principal indicateur de performance de la production qui permet d'augmenter le bénéfice net de l'entreprise (Anand, 2010).

Ceci dit, la présentation de la valeur du TRS ne présente pas d'intérêt en soi. L'objectif de mesurer l'efficacité est de l'améliorer, et pour cela il faut identifier les différentes pertes et leur impact sur le TRS.

b- Les 16 pertes définies par la TPM

Ces pertes sont appelées « Muda » en japonais, et se présentent ainsi (Bufferne, 2006)

- **Pertes dues au manque de fiabilité :**

- Arrêts programmés : Nettoyage, maintenance préventive, essais des équipements... ;
- Les pannes ;
- Les réglages ;
- Les pertes aux démarrages ;
- La marche à vide ;
- Micro-arrêts ;

- Sous-vitesse ;
- Non-qualité, rebus, retouches...
- **Pertes dues aux carences de l'organisation :**
 - Changement de fabrication : Temps perdu entre deux ordres de fabrication ;
 - Activité de l'opérateur ;
 - Déplacements, manutentions ;
 - Organisation du poste ;
 - Défauts logistiques : attente de MP, outillages, moyens de manutention... ;
 - Excès de mesure ;
 - Manque de charge – blocage amont ou aval.

- **Pertes dues aux méthodes ou procédés :**

Elles apparaissent rarement dans le TRS, et ne correspondent pas à des minutes ou des pièces produites mais à des coûts...

- Rendement matériaux : les pertes de matières ;
- Rendement énergétique ;
- Surconsommation d'outillage et fourniture.

c- Le calcul du TRS :

Le calcul du TRS repose sur la décomposition du temps total de vie d'un équipement ou d'une installation (Bufferne, 2006).

On distingue en premier lieu le **temps d'ouverture**, c'est à dire le temps pour lequel l'accès à l'équipement ou à l'installation est possible. Le temps perdu par rapport au temps total correspond à la fermeture de l'installation.

De ce temps d'ouverture, on devra aussi déduire les arrêts planifiés. Suivant les organisations de travail, il pourra s'agir des pauses, des repas, des arrêts pour la maintenance des équipements, des réunions, des essais, etc. On obtient ainsi le **temps requis**.

Sur ce temps, on devra déduire les temps perdus pour des problèmes, des pannes, des réglages, des changements d'outils ou de production. On obtiendra ainsi le **temps de fonctionnement** (ou temps de fonctionnement brut (Figure II-1)). On peut calculer à ce niveau le premier taux qui est la **Disponibilité opérationnelle** (Do) de l'équipement (ou taux de disponibilité), qui représente le temps de fonctionnement sur le temps requis.

$$\text{Disponibilité opérationnelle} = \text{Temps de fonctionnement} / \text{Temps requis}$$

Mais durant ce temps de fonctionnement, l'équipement ne produit pas nécessairement à la cadence nominale. Ça peut-être le fait d'une baisse de cadence, de micro-arrêts ou de défauts machine, qui induisent une perte de performance. Les micro-arrêts sont définis comme étant des interruptions mineures qui ne nécessitent pas d'intervention majeure pour le redémarrage, et qui ne sont généralement pas enregistrées. Le temps obtenu en déduisant ces

Chapitre II : Etat de l'art

perdes de cadence est le **temps net** (ou temps de fonctionnement net). On peut calculer à ce niveau le **taux de performance Tp** :

$$\text{Taux de Performance} = \text{Temps net} / \text{Temps de fonctionnement}$$

Ou aussi

$$\text{Taux de Performance} = (\text{Quantités produite} / \text{Temps de fonctionnement}) / \text{Cadence idéale}$$

Notons que dans le calcul de la performance, dans les quantités, on ne prend pas en compte les rebuts.

Enfin, ce temps net n'est pas consacré qu'à la production de produits corrects. Un certain nombre de produits vont être mis au rebut. Cette perte de qualité correspond à un temps qui peut être déduit du temps net. Le temps réellement consacré à la production de produits bons est appelé **temps utile**. On calcule ici alors le **taux de qualité Tq**, qui représente le temps utile sur le temps net :

$$\text{Taux de qualité} = \text{Temps utile} / \text{Temps net}$$

Ou aussi

$$\text{Taux de qualité} = \text{Nombre de bons produits} / \text{Total des produits}$$

Le TRS se calcule donc comme suit (Bufferne, 2006) :

$$\text{TRS} = \text{Disponibilité} \times \text{Taux de Performance} \times \text{Taux de Qualité}$$

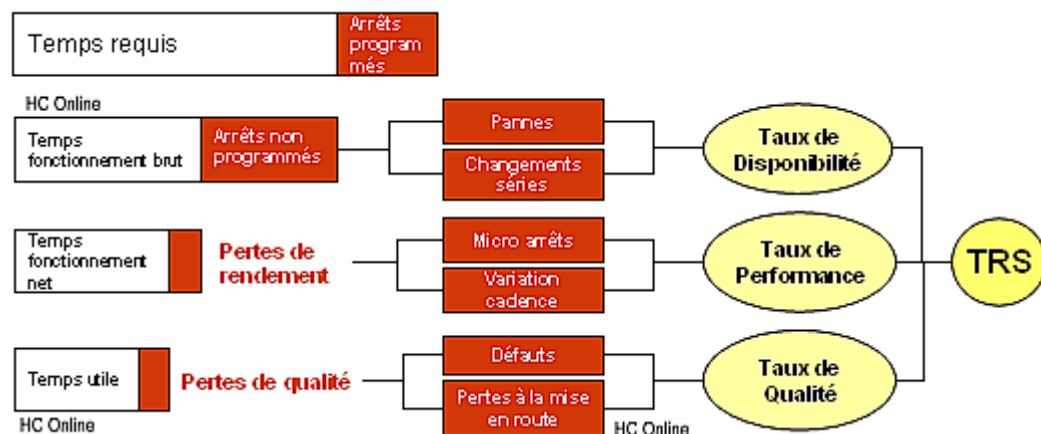


Figure II-1 : Le TRS et ses composantes (Christian.Hohmann, 2017)

Pour mesurer le TRS, les données nécessaires peuvent être récupérées de la ligne de production de différentes manières, plus ou moins automatisées :

Chapitre II : Etat de l'art

Les méthodes manuelles : La mesure manuelle du TRS consiste à se déplacer au niveau de l'équipement ou de la ligne de production, d'observer leurs comportements et d'effectuer des chronométrages afin de mesurer les différents temps relatifs au TRS. La collecte consiste généralement à noircir des cases dans une fiche, comme celle de la Figure II-2.

Overall Equipment Effectiveness (OEE)

Equipment ID: _____ Date: _____
 Part ID: _____ Shift: _____

Equipment Availability:

A. Total available time _____ minutes
 B. Planned Downtime _____ minutes
 C. Net available time (A-B) _____ minutes
 D. Unplanned downtime (from downtime reports)
 # of breakdowns _____ Total Minutes _____ +
 # of setups & adjustments _____ Total Minutes _____ +
 # of minor breakdowns _____ Total minutes _____ = _____ minutes
 E. Operating time (C-D) _____ minutes
 F. Equipment availability (E/C)x100 _____% [90%]

Performance Efficiency:

G. Total parts run (good + bad) _____ parts
 H. Ideal cycle time _____ minutes/part
 I. Performance efficiency (HxG)x100 _____% [95%]

Quality Rate:

J. Total defects (rework + scrap) _____ parts
 K. Quality rate [(G-J)/G]x 100 _____% [99%]

Overall Equipment Effectiveness:
 (F x I x K) x 100 _____% [85%]

Figure II-2 : Exemple de fiche TRS (Stamatis, 2010)

Les méthodes semi-automatiques : La saisie semi-automatique consiste en une aide à la saisie qui peut s'effectuer par lecture des codes à barres, des boutons préprogrammés ou claviers spécifiques. Un niveau plus abouti de ce type de saisie est l'acquisition automatique de la durée de l'arrêt (Christian.Hohmann, 2017).

Les méthodes automatiques : Ce type de saisie des données est réalisé à partir de dispositifs informatiques qui relèvent l'information au niveau de la machine. Ces dispositifs dialoguent avec les automates des machines, ou relèvent les états des différents capteurs placés judicieusement sur la ligne de production (Christian.Hohmann, 2017).

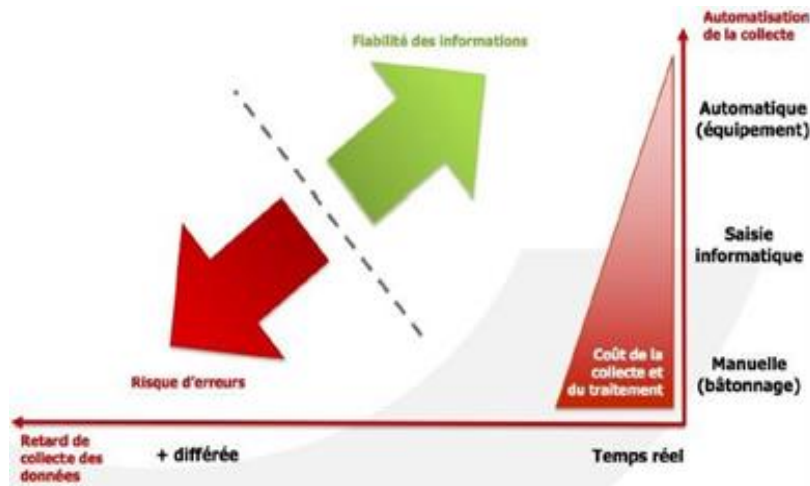


Figure II-3 : Comparatif des différentes méthodes (AKDENIZ, 2017)

En général, la mesure automatique, bien que coûteuse, est celle qui offre la meilleure performance, car cette méthode exhaustive permet de disposer des résultats en temps réel et en permanence, c'est aussi une méthode objective qui donne des résultats plus fiables, ne laissant pas de place à l'interprétation humaine qui peut être parfois biaisée (Christian.Hohmann, 2017). La Figure II-3 met en évidence les différences entre les trois méthodes.

Le premier pilier propose aussi des méthodes pour réduire les différentes pertes (Bufferne, 2006) :

- Actions sur le changement d'outillage : en utilisant le *SMED* (*Single Minute Exchange of Dies*) qui est une méthode créée par Shigeo Shingo permettant de changer de fabrication en un temps inférieur à 10 minutes, le *OTED* (*One Touch Exchange of Dies*) pour le changement automatique par simple commande de l'opérateur ou le *NOTED* (*No Touch Exchange of Dies*) pour le changement automatique programmé ;
- Actions sur les réglages ;
- Actions sur les défauts et retouches ;
- Action sur les pannes : en élaborant un programme de maintenance préventive ;
- Action sur la sous vitesse ;
- Action sur les arrêts programmés.

II.1.3.2 Gestion et maintenance autonome des équipements (Jishu-Hozen) :

En maintenance autonome, l'opérateur est l'élément clé. Cela implique des activités quotidiennes de maintenance effectuées par les opérateurs eux-mêmes qui empêchent la détérioration de l'équipement. Les étapes de cette maintenance autonome sont :

- Préparation et information du personnel ;
- Conduire l'inspection initiale et le nettoyage ;
- Supprimer les causes de dégradations forcées ;
- Développer et tester toutes les procédures de nettoyage, d'inspection et de lubrification pour les normes possibles ;
- Basé sur la tâche précédente, mener et développer des procédures d'inspection ;

Chapitre II : Etat de l'art

- Conduire les inspections de manière autonome ;
- Appliquer la normalisation des procédures d'inspection effectuées précédemment, Et appliquer la gestion visuelle dans la mesure du possible à proximité de la machine ;
- Continuez à effectuer une maintenance autonome pour une amélioration continue.

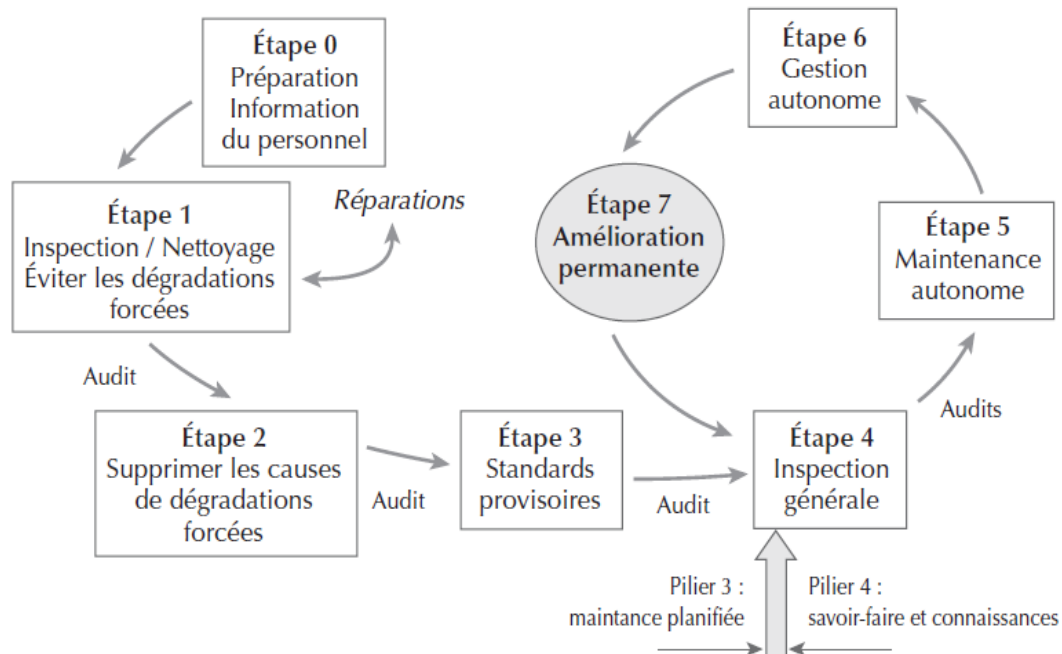


Figure II-4 : Etapes de la maintenance autonome (Bufferne, 2006)

II.1.3.3 Maintenance planifiée :

Son but principal est d'atteindre le **zéro panne**, ses différentes phases se présentent comme suit (Bufferne, 2006) :

Phase 1 Diminuer la fréquence et la dispersion des pannes	Phase 2 Augmenter la durée de vie	Phase 3 Réaliser la maintenance préventive basée sur le temps	Phase 4 Appliquer la maintenance prédictive
Analyse de l'existant Éliminer les causes de détériorations forcées			
Réparations et améliorations de la durée de vie intrinsèque des composants			
Estimer les MTBF et définir les standards de maintenance provisoire basée sur le temps			
Adapter les standards aux besoins			
Améliorer l'efficacité de la maintenance Trouver les corrélations			
			Implanter la mainte- nance prédictive
Généraliser à tous les équipements et améliorer l'efficacité des opérations			

Figure II-5 : Vers le zéro panne (Bufferne, 2006)

La planification de la maintenance privilégie la maintenance **préventive** au détriment des interventions curatives.

II.1.3.4 Amélioration des connaissances et des savoir-faire :

Au niveau de ce pilier, on agit en 6 étapes :

- Définir la politique de base de la formation et ses objectifs ;
- Définir les besoins de l'entreprise en termes de compétences et de savoir-faire ;
- Évaluer les écarts Besoins entreprise/Niveaux individuels ;
- Former des instructeurs (personnel de maintenance et leaders de production) ;
- Construire et diffuser les formations ;
- Évaluer les résultats et définir les actions de consolidation.

Pour développer ce pilier, le JIPM applique le principe de la roue de Deming ou **PDCA** :

- **Plan** : définir les matières à enseigner
- **Do** : Former
- **Check** : Contrôler les résultats
- **Act** : Améliorer

II.1.3.5 Maitrise de la conception des produits et équipements associés :

Le pilier conception concerne les équipements et les produits. Il a pour objectifs de concevoir des produits faciles à fabriquer et des équipements faciles à utiliser (Bufferne, 2006).

La capitalisation de l'expérience sert à accélérer les nouveaux projets et développements. Il s'agit de prendre en compte les leçons apprises lors des résolutions de problèmes et d'intégrer les améliorations dans le design des équipements (Bufferne, 2006).

II.1.3.6 Maintenance de la qualité :

Ce pilier est orienté vers le maintien du niveau de qualité des produits issus du processus et de son amélioration. On cherche à éliminer les causes de non qualité afin que chaque minute du processus soit une minute utile produisant un bon produit. C'est la proactivité dans la maitrise de la qualité (Bufferne, 2006).

L'interaction et la cohérence entre les différents piliers de la TPM sont mises en évidence dans le pilier maintenance de la qualité. Cette structure peut être représentée par le diagramme d'Ishikawa :

Les 10 étapes de la maintenance qualité sont (Bufferne, 2006) :

- 1- Confirmer et décrire la situation actuelle ;
- 2- Mettre en évidence les éléments du process liés aux paramètres qualité ;
- 3- Définir les conditions 4M ;
- 4- Etablir le plan d'action ;
- 5- Analyser les conditions 4M ;

- 6- Améliorer au cas par cas les conditions 4M ;
- 7- Fixer les conditions 4M ;
- 8- Améliorer les méthodes de contrôle ;
- 9- Fixer les standards de contrôle ;
- 10- Suivre les tendances et réviser les standards.

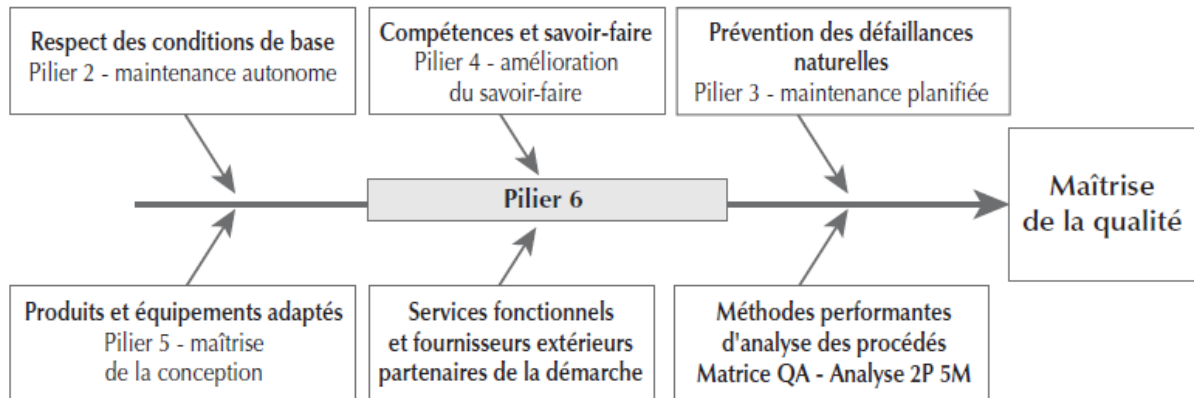


Figure II-6 : Composants du pilier 6 (Buffeme, 2006)

II.1.3.7 TPM des services fonctionnels (TPM dans les bureaux) :

Les services fonctionnels (planning, magasins et stockages, informatique, etc.) constituent des usines d'informations dont la valeur ajoutée doit être maximale. L'information doit être facilement accessible, utile, exacte, rapide et facile à utiliser.

Ce pilier se déroule en 5 étapes (En accord avec les **5S**) :

- 1- Nettoyage/Rangement initial ;
- 2- Analyse du déroulement des tâches ;
- 3- Amélioration continue de l'efficacité ;
- 4- Standardisation et automatisation des tâches, amélioration du contrôle visuel ;
- 5- Poursuite des améliorations continues ;

II.1.3.8 Sécurité, conditions de travail, environnement :

En supprimant l'imprévu et le hasard dans les activités de production et en standardisant les méthodes de travail la TPM permet d'obtenir le ZERO ACCIDENT.

En effet les différents piliers créent les éléments de la sécurité tels que :

- La standardisation du travail ;
- La responsabilisation, implication ;
- La rigueur ;
- La communication ;
- Les savoir-faire – Réflexes d'amélioration permanente ;
- La suppression des « ennuis permanents », Respect des équipements, de son travail et de soi-même.

II.2 Typologie et modes de production

Un système de production est le lieu où se trouvent les moyens pour faire des transformations afin de réaliser un produit. Un processus de production est généralement composé d'un grand nombre d'opérations ou de transformations organisées en réseau. Ces opérations assurent des transformations de forme (modification des produits eux même), des transformations dans le temps (fonction de stockage) ou dans l'espace (fonction de transport). Les entreprises se différencient par leurs systèmes de production, par son organisation et la spécificité des produits qu'elle fabrique. De ce fait il existe une classification des entreprises en fonction de certains critères qui sont les suivants (COURTOIS, PILLET, & MARTIN-BONNEFOUS, 2006):

- Quantités fabriquées et répétitivité ;
- Organisation des flux de production ;
- Relation avec les clients.

Ces critères permettent de bien délimiter le mode de production d'une entreprise.

II.2.1 Classification en fonction de l'importance des séries et de la répétitivité

Ce premier critère permet de différencier les entreprises en fonction des quantités qui sortent de la production et de la répétitivité de ces quantités. Les quantités lancées peuvent être (COURTOIS, PILLET, & MARTIN-BONNEFOUS, 2006) :

- En production unitaire ;
- En production par petites séries ;
- En production par moyennes séries ;
- En production par grandes séries.

II.2.1.1 Production unitaire

Ce type d'organisation concerne la réalisation de grands projets unique sur des périodes assez longues. Le produit est unique et est réaliser en apportant les moyens de production sur le site de construction pour effectuer la fabrication.

II.2.1.2 Production par petites et moyennes séries

Dans ce système tous les moyens de la production sont utilisés pour produire une grande variété de produits avec des quantités faibles. Dans ce cas la production est organisée en ateliers spécialisés.

II.2.1.3 Production par grandes séries

Dans ce cas, c'est une production de masse ou les quantités sont très importantes ; ce type de production s'appuie sur la fabrication de produits standards à grande consommation.

II.2.2 Classification selon l'organisation du flux de production

Par ce critère, les entreprises se singularisent par le flux qui passe sur leurs systèmes de production. On distingue trois grands types de production :

- Production en continu ;
- Production discrète ;
- Production en discontinu ;
- Production par projet.

II.2.2.1 Production en continu

La production en continu est utilisée dans le cas où on traite des quantités importantes d'un produit ou d'une famille de produits, par conséquent le flux du produit est linéaire. Un tel système est organisé en ligne de fabrication, les produits passent successivement et dans le même ordre par une séquence identique de postes de travail.

Ce type de production ne permet pas une grande flexibilité car les machines et les installations sont dédiées au produit à fabriquer.

En générale, dans ce type les processus de production ainsi que les systèmes de manutention sont soutenus par une automatisation poussée. Cette automatisation est devenue nécessaire par le besoin d'obtenir des coûts de revient bas, un niveau de qualité élevé et stable, de n'avoir que peu d'en-cours et d'obtenir une circulation rapide des produits.

II.2.2.2 Production discrète

La production en discontinu est pratiquée lorsque l'on traite des quantités relativement faibles de nombreux produits variés. De ce fait la production est organisée en ateliers fonctionnels qui regroupent les machines en fonction de leurs tâches, dans ce cas le flux des produits est en fonction de l'enchaînement des tâches à réaliser. Ces ateliers peuvent être à cheminement unique (flowshop) c'est-à-dire que les gammes sont identiques ou à cheminement multiple où chaque produit ou famille de produits possède (jobshop) ou ne possède pas (openshop) une gamme spécifique.

Dans ce type de production, les machines sont multitâches et aptes à réaliser un grand nombre de travaux ce qui donne une grande flexibilité. Mais les niveaux de stocks et d'en-cours sont élevés car il est difficile d'équilibrer les tâches dans une production discontinue.

II.2.2.3 Production en discontinu

Ce type de production se situe par définition à mi-chemin entre la production en continu et la production discrètes. Les deux types sont couplés : la production est continue mais il y a un conditionnement discret des produits (SITAYEB, 2005)

II.2.2.4 Production par projet

Le produit dans ce type de production est unique ainsi que son processus de production. Son principe est donc de suivre toutes les opérations conduisant à l'aboutissement du projet, en minimisant les temps morts et les coûts.

Dans ce type de production, on ne peut pas stabiliser la production de façon formelle.

II.3 La vision industrielle

La vision industrielle peut être définie comme étant l'application de la vision par ordinateur aux différentes problématiques des domaines industriels. Son principe est de doter

les machines de la capacité de voir afin d'automatiser des opérations de contrôle qualité ou de contrôle de processus (VANDENBROUCKE, 2015). Les applications de la vision par ordinateur à l'industrie sont nombreuses. Elle peut réaliser plusieurs tâches dont on cite :

- Le contrôle des états de surface pour détecter les défauts d'aspect tels que des rayures, griffures, tâches ou défauts de nuances de couleurs ;
- Le contrôle dimensionnel qui consiste à mesurer les dimensions des pièces de différentes géométries ;
- Le comptage et le tri des pièces ;
- L'identification et le référencement des produits pour le traitement statistique, ainsi que la gestion des stocks ou des flux de production.

Un système de vision industrielle est principalement constitué d'un dispositif d'éclairage, un dispositif de capture d'image, un dispositif optique qui est généralement associé au dispositif de capture et une unité de traitement. Nous allons présenter dans ce qui suit le dispositif de capture d'image, les paramètres à estimer pour le dimensionnement de sa caméra, et en enfin le dispositif de traitement de l'image (VANDENBROUCKE, 2015).

II.3.1 Dispositif de capture d'image

II.3.1.1 Technologie caméras

II.3.1.1.1 La caméra

C'est l'élément qui permet de capturer l'image. Elle est composée de capteurs qui convertissent l'énergie lumineuse (photon) en énergie électrique (électron). Ces capteurs sont disposés sous forme matricielle ou linéaire selon les types de caméras.

Les caractéristiques principales à considérer pour choisir le capteur sont sa sensibilité, sa réponse spectrale, son rapport signal bruit, sa fréquence d'acquisition, sa résolution et la taille de son capteur.

II.3.1.1.2 Caméra CCD ou CMOS

Le fonctionnement d'un capteur CCD (Charge-Coupled Device) et d'un capteur CMOS (Complementary Metal Oxide Semi-Conducteur) suit à peu près le même principe, qui est basé sur une technologie à semi-conducteurs. Cependant, le capteur CCD a longtemps offert une plus haute sensibilité et une meilleure qualité d'image, avec peu de bruit. Le CMOS, par contre, permet la fabrication, à faible coût, de caméras plus compactes et de faible consommation. Mais ces dernières années, un progrès significatif du capteur CMOS a été constaté, sa qualité et sa sensibilité sont devenues comparables à celle du CCD, tout en restant moins coûteux et moins énergivores. C'est pour ces raisons qu'il s'impose de plus en plus dans les applications de vision industrielle.

II.3.1.1.3 Caméra analogique, numérique, intelligente

Trois types de caméras diffèrent quant à la conversion du signal et sous quelle forme il est envoyé : La caméra analogique délivre un signal analogique qui nécessite une carte d'acquisition pour être converti en numérique, la caméra numérique numérise elle-même l'image et la caméra intelligente réalise elle-même le traitement de l'image.

II.3.1.1.4 Caméra matricielle ou linéaire

L'organisation des éléments photosensibles sur le capteur conduit à définir deux types de caméras : les caméras matricielles (area-scan cameras) et les caméras linéaires (line-scan cameras). Dans la première, les éléments sont disposés en matrice, tandis que sur la seconde ils correspondent à une ligne d'un capteur matriciel et acquièrent l'image ligne par ligne.

II.3.2 Estimation des caractéristiques de la caméra

Selon le besoin en dimensions du champ à visualiser, en fréquence d'acquisition et en niveau de détail, les paramètres caractéristiques de la caméra doivent être déterminés afin d'assurer une vision de qualité répondant aux exigences techniques du projet.

II.3.2.1 La résolution

Les principaux paramètres dimensionnels à considérer pour déterminer la résolution horizontale R_x et la résolution verticale R_y du capteur sont :

- Le champ à visualiser : qui représente la longueur H_x et la largeur H_y de la surface que le capteur doit observer. Il dépend de la taille maximale des objets à contrôler, incluant des marges supplémentaires éventuelles, ainsi que du nombre et mouvement des objets devant la caméra ;
- La précision spatiale : qui est la taille P du plus petit élément observé par 1 pixel ;

A partir de la précision spatiale et du champ de vision que l'on veut atteindre on calcule les résolutions verticale et horizontale exigée selon cette relation de proportionnalité :

$$R_x = \frac{H_x}{P}$$

Et :

$$R_y = \frac{H_y}{P}$$

Généralement la précision souhaitée selon l'axe des abscisses et selon l'axe des ordonnées est identique.

II.3.2.2 La fréquence image

La fréquence image représente le nombre d'images que capture la caméra en une seconde (fps : *frame per seconde*). Elle conditionne donc le nombre d'objets qu'il est possible d'inspecter par seconde, et par conséquent dépend de la cadence de production dans le cas d'une production en continu. La fréquence F est l'inverse du temps t séparant l'apparition de deux objets consécutifs à contrôler. On veut avoir deux objets à chaque image (pour assurer qu'au moins un objet apparait complètement dans notre image), donc en prenant un champ de vision de longueur d (dans le sens du défilement des objets) égale à la somme du diamètre d'un objet et de la distance séparant deux objets successifs. Dans ces conditions, si les objets à contrôler défilent à une vitesse V , la fréquence image minimale requise est estimée par la relation :

$$F = \frac{V}{d}$$

II.3.2.3 La taille du capteur

Cette surface est proportionnelle à la taille du pixel. A résolution fixe, plus la taille du pixel est grande, plus celle du capteur l'est aussi, et plus il devient sensible. Il n'y a pas de règle fixe pour déterminer la taille du capteur idéale. Cependant, en général, pour une résolution donnée plus la taille du capteur est grande, mieux c'est (VANDENBROUCKE, 2015).

II.3.3 Le dispositif de traitement d'image

Le traitement de l'image se fait à partir d'algorithmes. Ces algorithmes peuvent être réalisés au travers de deux types de systèmes : des systèmes programmables dans un langage informatique ; ou des systèmes configurables qui permettent le traitement d'image à travers des logiciels spécialisés.

De manière générale, le développement de l'application de vision s'effectue selon un nombre d'étapes depuis l'acquisition de l'image jusqu'à l'exploitation des résultats (VANDENBROUCKE, 2015).

II.3.3.1 Configuration de l'acquisition

La première étape est de configurer le système, paramétrer la caméra, choisir les images de références, définir les zones d'intérêt ou ROI (*Region of Interest*), et régler l'image visuellement en ajustant le matériel.

II.3.3.2 Prétraitement et calibration

Avant de procéder à l'analyse de l'image, une série de prétraitements ainsi qu'une phase de calibration sont effectuées :

Le prétraitement : Cette étape a pour objectif de restaurer l'image et de l'améliorer (atténuer le bruit, corriger la mise au point, les défauts d'éclairage...) ainsi que de mettre en évidence les zones d'intérêt afin de préparer à l'analyse. Le prétraitement peut être ponctuel lorsque son résultat ne dépend que du pixel traité, ou il peut tenir compte du voisinage.

Parmi les opérations ponctuelles on cite la binarisation, aussi appelée seuillage, ou filtrage. A partir de l'histogramme d'une image (qui est une fonction qui associe à chaque valeur d'intensité le nombre de pixels prenant cette valeur (Figure II-7)), la fonction de binarisation transforme les valeurs numériques de chaque pixel selon 2 valeurs : valeur 0 et valeur 1. Pour cela, elle nécessite le choix de 2 seuils ($seuil_{inf}$ et $seuil_{sup}$, où $seuil_{inf} < seuil_{sup}$). L'opération effectuée est (Gastellu-Etchegorry, 2008) :

$$f(i) = 1 \Leftrightarrow i \in [seuil_{inf}; seuil_{sup}] \text{ et } f(i) = 0 \text{ si } i \notin [seuil_{inf}; seuil_{sup}]$$

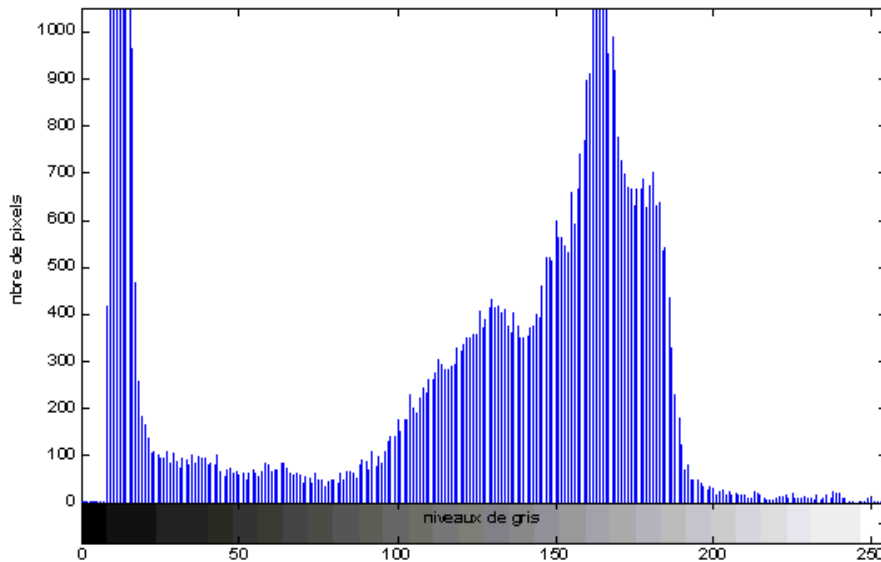


Figure II-7 : Histogramme d'une image

Les opérations de visionnage prennent en compte les niveaux des pixels voisins du pixel traité afin de modifier son niveau. Parmi ces opérations, certaines permettent de supprimer les éléments de petite taille provenant d'effets de perspective ou même de bruits (l'ouverture), ou de supprimer les petits trous provenant eux aussi de bruits (la fermeture).

II.3.3.3 La détection

D'une acquisition à une autre, les objets subissent des changements de position, d'orientation ou d'échelle. Il est alors nécessaire de détecter l'objet dans l'image quel que soient ces paramètres. L'objet peut être détecté par ses bords, par une région particulière le constituant, ou par sa forme.

Détection de contours : Un contour est une zone de l'image où la luminosité varie brusquement. Ces contours correspondent souvent aux bords de l'objet, et permettent donc de les localiser et les mesurer. La recherche de bords se fait généralement en utilisant une structure physique qui délimite la zone de l'image à analyser (ROI).

Détection de régions : Les outils de détection de régions supposent que les régions détectées correspondent à des objets ou des parties d'objet de la scène. Une région est donc un ensemble de pixels connexes qui possèdent des niveaux de luminosité similaires. Il est possible de détecter les régions dans une image en effectuant une binarisation, puis en séparant l'image en un arrière-plan noir, et un premier-plan blanc. Ensuite, une analyse en composantes connexes permet la détection.

Détection des formes : Les outils de reconnaissance de forme permettent de reconnaître un objet par comparaison à un modèle. Les modèles sont introduits dans le système dans une phase d'apprentissage hors-ligne. Pendant l'acquisition, le système procède à la comparaison en-ligne des images acquises aux modèles enregistrés, puis classe chaque objet détecté selon la similarité de ses attributs avec ceux des modèles d'apprentissage.

II.4 Le concept de MES

Le concept des *Manufacturing Execution Systems* (MES) est né suite à la demande des entreprises de manufacturing en termes de solutions du point de vue de réactivité, qualité, respect des standards, réductions des coûts, respect des délais...etc. (Ugarte, Artibab, & Pellerina, 2009).

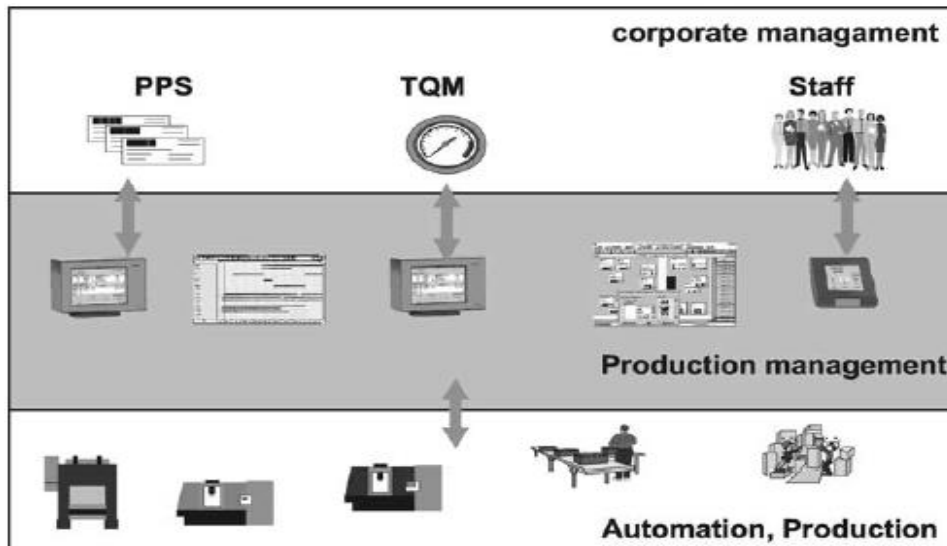


Figure II-8 : Chaque domaine d'activité au niveau possède une méthode de collection de donnée particulière, indépendante des autres. (Kletti, 2007)

Son apport était d'assurer l'intégration des trois groupes de systèmes de collecte de données déjà existants, à savoir ceux de la production, ceux pour le personnel et ceux pour la qualité.

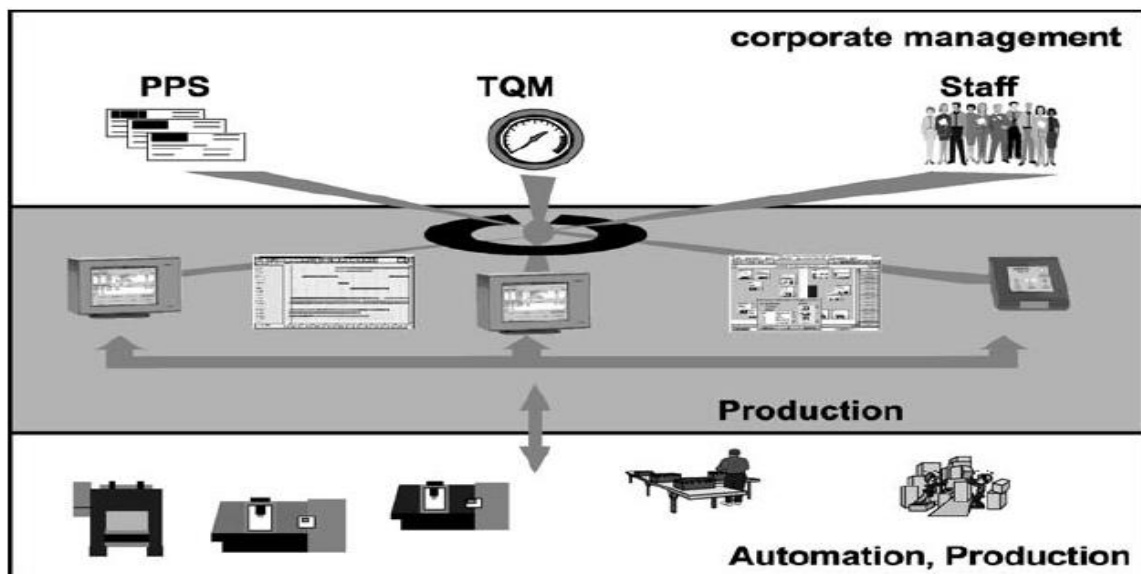


Figure II-9 : Les systèmes de collecte de données sont devenus interconnectés et communiquent parfois avec le management de l'entreprise et la production via des interfaces uniformes. (Kletti, 2007)

II.4.1 Définition

Le MES est défini par le MESA¹ comme étant « un système d'information qui procure l'information nécessaire à l'optimisation des activités de production depuis le lancement de la commande jusqu'au produit fini. En utilisant des données actualisées et adéquates, un MES guide, initie, rapporte et répond aux activités qui interviennent dans l'usine. L'importante réactivité aux changements et la diminution des opérations à non-valeur-ajoutée qui en résultent donnent lieu à des process efficaces [...] Le MES améliore le rendement des équipements [...] Le MES fournit les informations critiques à propos des activités de production au sein de l'entreprise et de la chaîne logistique via des communications bidirectionnelles. » (MESA)

De ces définitions découlent les fonctions d'un MES. La structure de ces fonctions diffère selon les standards qui les présentent, mais elles sont, au final, toutes sensiblement proches.

II.4.2 Fonctions d'un MES

Le standard MESA définit 11 groupes de fonctions nécessaires pour avoir un bon support management de la production. Ces groupes sont (Ugarte, Artibab, & Pellerina, 2009) :

- Planning détaillé : Ordonnancement détaillé des opérations ;
- Gestion des ressources : Management et supervision des ressources comme les machines, les outils, etc. ;
- Gestion des documents : Management et distribution de l'information concernant les produits, procédés, designs ou commandes ;
- Collecte et acquisition des données : Visualisation, enregistrement, collecte et organisation des données concernant les procédés, le matériel, les matières premières, la gestion du personnel, etc.
- Gestion du procédé : Contrôle et management du workflow dans l'usine à partir des activités programmées et actuelles ;
- Gestion de la maintenance : planning et exécution des activités appropriées pour garder les équipements et tous les actifs opérationnels et performants ;
- Gestion de la qualité : Enregistrer et analyser les caractéristiques de produits et procédés, et les confronter aux exigences ;
- Analyse de la performance : Comparer les résultats mesurés au niveau de l'usine avec les objectifs et normes mis en place par la direction, le client et le règlement ;
- Traçabilité produit et généalogie : superviser l'évolution des unités ou lots d'outputs pour créer un historique complet du produit ;

¹ Manufacturing Enterprise Solutions Association (MESA) International est une communauté internationale non lucrative qui regroupe des entreprises de fabrication, des fournisseurs de logiciel et de matériel de la technologie de l'information, des intégrateurs de système, des consultants, des analystes, des éditeurs, des académiciens et des étudiants. L'objectif commun est d'améliorer les résultats des entreprises et de leurs opérations de production à travers les applications d'optimisation et l'implémentation des technologies de l'information et des bonnes pratiques. (MESA)

- Cheminement des produits et des lots : Donner les instructions d'envoyer des matières ou des commandes à certaines parties de l'usine pour commencer un procédé ou une étape ;
- Gestion de la main d'œuvre : Localiser et diriger le personnel durant un shift, en tenant compte des qualifications, du travail à accomplir et des besoins de l'entreprise.

Toutes ces fonctions, ou des combinaisons entre certaines d'entre elles peuvent former une solution MES complète.

II.4.3 Un outil d'aide à la décision

Dans toutes les entreprises, les problèmes doivent être détectés rapidement et les actions correctives prises dans les plus courts délais dans le but d'éviter toute complication. Comme chaque niveau de l'entreprise voudrait avoir sa propre manière de voir l'information, la mission du MES est de lier, évaluer, condenser et rendre accessible l'information adéquate sous forme de tableaux, de listes, de graphes..., etc. en fonction des besoins (Kletti, 2007) :

II.4.3.1 Dans le bureau du chef d'équipe

Le responsable de production, ou le chef d'équipe, a besoin de connaître en temps réel l'état des lieux de son unité, ainsi que des outils qui lui permettent de la commander, en temps réel aussi :

- Une vue en temps réel du statut des machines, et de l'état d'avancement des commandes ;
- Des outils d'ordonnancement simples pour séquencer ou modifier l'ordre de passage des commandes ;
- Le planning des congés et des heures/jours de repos des employés (gestion de main d'œuvre à court terme);
- Fiche de présence des employés ;
- Rapports de production des équipes/heures de travail précédentes ;
- Rapport de qualité des heures précédentes.

II.4.3.2 Pour le planning des opérations et le contrôle de la production

La responsable production, par exemple, a pour sa part besoin d'un tableau graphique qui lui permette d'élaborer les plannings en fonction des capacités actuelles et futures :

- Outils d'analyse du progrès de la production avec outils d'extrapolation et de planning automatique ;
- Listes des produits à fabriquer, des matières premières à transformer et des corrections à apporter.
- Outils de planning détaillé en forme de graphiques ;
- Statistiques et historiques des commandes permettant d'effectuer des inférences sur l'avancement des commandes actuelles ;
- Analyse de la performance et de la disponibilité des machines.

II.4.3.3 Pour la maintenance

Les statistiques relatives aux problèmes et leurs causes ainsi qu'aux temps d'arrêt ou de baisse de performance permettent à la personne en charge de mieux investiguer sur l'origine des pannes et de les éliminer. Les données relatives à la maintenance qui peuvent être intéressantes :

- Représentation graphique des machines avec leur état en temps réel ;
- Planning de maintenance pour les équipements ;
- Statistiques des origines des problèmes ;
- Représentation graphique de données importantes à la maintenance (degré d'utilisation, évolution de la performance...).

II.4.3.4 Pour le département qualité

Un enregistrement de l'historique du produit (arbre du lot) devrait être créé automatiquement, car ces informations deviennent de plus en plus importantes surtout avec les exigences des normes actuelles. Le MES peut fournir :

- La génération automatique des ordres de contrôle qualité sur la base de l'historique et des plannings d'inspection ;
- Les compteurs en ligne des pièces produites et gestion automatique de la fréquence de prélèvement sur la base des fonctions de contrôle statistique du PDA.
- L'enregistrement de l'information relative au lot à travers les terminaux d'entrée du PDA.
- La génération d'un historique complet des produits finis et en cours et des matières premières qui les composent (traçabilité).

II.4.3.5 Pour le management de la production

Le management utilise des analyses condensées des données clés comme le TRS pour être capable d'évaluer le rendement des machines, et de l'améliorer, à long terme :

- Evaluation du pourcentage d'utilisation des machines et du taux de production ;
- Support à l'amélioration continue à travers l'observation à long terme des changements d'utilisation et autres données ;
- Evaluation et analyse des statistiques relatives aux problèmes de production comme les délais, ruptures de stocks, taux de rebuts..., etc.

II.4.3.6 Pour la gestion du personnel

Le MES procure un tableau qui affiche le nombre et l'identité des employés présents et absents, et les temps prévus de non productivité (pauses, formations...) :

- Fiches des présences à temps réel ;
- Affectation automatique des vacances, congés de maladies, jours de repos..., etc.
- Tableau comparatif de la relation entre le taux de présence et de la productivité ;
- Calcul automatique des primes de rendement et l'intégration des données nécessaires relatives aux salaires ;

- Mise en place d'un système d'information du personnel qui peut servir à élaborer le planning de la main d'œuvre à court terme.

Cette différence entre les besoins de chaque acteur de l'entreprise, selon sa position et son niveau de prise de décision, nous amène à traiter le sujet des tableaux de bords et cockpits.

II.5 Tableaux de bord et Cockpit

Quel que soit le niveau où l'on est en entreprise (stratégique, tactique ou opérationnel), la prise de décision nécessite une bonne connaissance de la situation réelle des processus et des activités, des écarts par rapport aux objectifs de performance, de coûts et de délais visés, des moyens engagés, des problèmes et contraintes à gérer et des risques potentiels encourus.

Une information fiable, régulière et synthétique des acteurs est nécessaire, pouvant prendre la forme de rapports d'avancement, de notes de synthèse ou de tableaux de bord.

II.5.1 Tableaux de bords

II.5.1.1 Définitions et catégories des tableaux de bord

Un tableau de bord est une représentation **visuelle** permettant un **accès rapide** à l'**information** dont a besoin l'utilisateur sous forme macroscopique et **synthétique**, à l'aide d'**indicateurs** qui permettent de contrôler la réalisation des objectifs fixés et de prendre des **décisions** nécessaires, selon une périodicité appropriée et dans un délai limité.

Un tableau de bord peut porter sur l'activité globale de l'entreprise comme pour un processus bien précis (Ministère de l'Industrie et de la Promotions des Investissements Direction Générale de l'Intelligence Economique, 2010).

II.5.1.2 Objectifs d'un tableau de bord

Le tableau de bord est un outil d'aide à la décision très important et remplit notamment les rôles suivants :

- C'est un système d'alerte et également d'action : il permet de prendre les mesures nécessaires lorsque des écarts sont détectés entre ce qui est prévu et ce qui se passe réellement ;
- C'est ensuite un moyen d'apprentissage car le décideur tire des conclusions sur les écarts constatés et les actions mises en place pour corriger le tir,
- Enfin, il permet également au décideur de se projeter en avant et d'avoir ainsi des informations pour établir ses prévisions.

Le tableau de bord permet donc au décideur d'être réactif en cas de problème et de prendre des décisions en s'appuyant sur des éléments objectifs.

On peut classer les tableaux de bords selon plusieurs critères mais nous choisirons de distinguer les tableaux de bords en fonction de leurs buts premiers :

II.5.1.3 Les tableaux de bords stratégiques (Balanced scorecard)

Le « *balanced scorecard* » est un tableau conçu par R.S. Kaplan et D. Norton qui traduit la mission et la **stratégie** de l'entreprise en un ensemble **d'indicateurs de performance** constituant la base d'un système de pilotage de la stratégie (CLERMONT, Le tableau de bord prospectif, 2016). Les données n'ont pas besoin d'être rafraichies en temps réel. Il mesure la performance de l'entreprise selon 4 axes équilibrés :

- Résultats financiers ;
- Performance envers les clients ;
- Processus internes ;
- Apprentissage organisationnel (capacité de l'entreprise à changer et à s'améliorer pour devenir une organisation apprenante).

II.5.1.4 Les tableaux de bord de gestion

Le tableau de bord de gestion est un outil faisant état de la performance de la gestion qui est faite d'une entreprise par rapport aux événements passés et en fonction de ceux qu'elle prévoit pour l'avenir. Il consiste à déterminer des indicateurs, à se fixer des objectifs et à observer et analyser leur variation dans le temps, sur un intervalle défini à l'avance. Tout écart devra être justifié et des actions mises en œuvre en conséquence pour y remédier (CLERMONT, Le tableau de bord de gestion, 2016).

Les tableaux de bord de gestion utilisent essentiellement des indicateurs de résultat (Figge, Hahn, Schaltegger, & Wagner, 2002) pour indiquer si les objectifs tactiques ou stratégiques ont été atteints ou pas.

II.5.1.5 Les tableaux de bord opérationnels

Ils permettent à l'utilisateur d'être informé en temps réel des alertes et informations importantes de son mécanisme de production. Ce tableau permet de piloter une activité, comparable à un tableau de bord de voiture ou d'avion. L'information doit être claire, visible et le tableau ergonomique. On ne doit pas risquer de passer à côté de l'information. Ce type de tableaux peut avoir des designs très variés selon l'activité qu'il permet de piloter. En fait, il permet de mettre l'opérationnel au service de la stratégie (Ministère de l'Industrie et de la Promotions des Investissements Direction Générale de l'Intelligence Economique, 2010).

Ce type de tableaux de bord est formé à base d'indicateurs de pilotage (Figge, Hahn, Schaltegger, & Wagner, 2002) qui indiquent les mesures à prendre pour atteindre les objectifs fixés.

II.5.1.6 Comparatif des différents tableaux de bord

Le tableau suivant résume les caractéristiques de chaque type de tableau de bord et les différences qui existent entre eux :

Chapitre II : Etat de l'art

	Opérationnel	Gestion	Stratégique
Utilisateurs	Managers, superviseurs et opérateurs	Managers	Dirigeants (<i>Executives</i>)
Information	Détaillé	Détaillé/résumé	Résumé
Usage	Affichage journalier production et opérations	Affichage progressif sur initiative	Affichage de l'alignement et atteinte des objectifs stratégiques
Niveau d'organisation	Unité de travail	Département	Entreprise ou Stratégie business de l'unité
Mise à jour	Quotidienne	Quotidienne/Hebdomadaire	Mensuelle

Tableau II-1 : Différence entre les différents tableaux de bord (Fontaine, 2009)

II.5.2 Management Cockpit :

Une des applications les plus importantes des tableaux de bords numériques est de soutenir les besoins en information pour les cadres et décideurs de l'entreprise, c'est le *Management Cockpit*. Le concept de *War Room* est également appliqué avec succès dans le management et le contrôle des entreprises.

Pourquoi les entreprises ont besoin du *Management Cockpit/War Room* ?

Essentiellement, les entreprises et les gestionnaires citent deux raisons pour l'utilisation d'un *Management Cockpit/War Room* :

- Les informations efficaces fournies : L'information, adaptée aux besoins de la direction et axée sur la prise de décision et la résolution de problèmes, est préparée visuellement et fournie à un groupe de managers ;
- Management collaboratif efficace : Il soutient efficacement le travail d'une équipe de management et les processus de communication, d'analyse et de décision qui l'accompagnent.

Patrick Georges, l'inventeur du concept du *Management Cockpit*, neurochirurgien et professeur de management de l'intelligence humaine, dit que le cerveau humain ne peut appréhender qu'une partie de toutes les informations de l'entreprise. Il faut donc choisir intelligemment les informations pertinentes et rationaliser ses décisions.

II.5.2.1 Concept et fonctionnement de la *War Room* :

Essentiellement, la *War Room* est une salle de management stratégique qui contient un ensemble élaboré de tableaux de bords affichés sur les 4 murs de la salle et qui permet au top-managers de mieux saisir comment les différents facteurs du business interagissent. Les quatre murs sont désignés par couleur : Noir, rouge, bleu, et blanc et répondent aux questions suivantes :

Mur Noir : Où en sommes-nous par rapport à nos objectifs globaux ?

Mur Bleu : qu'en est-il de nos ressources ?

Mur rouge : Quelle sont les difficultés ?

Mur Blanc : Comment sont nos projets stratégiques ?

Les informations sont représentées selon 4 niveaux de détail :

Niveau 1 : Statut général de la vue logique/la réponse ;

Niveau 2 : Visualisation des causes/faits conducteurs sous-jacents ;

Niveau 3 : Visualisation des détails (courbes des tendances) ;

Niveau 4 : Analyse en ligne interactive des figures détaillées.

II.5.2.2 Bénéfices du Management cockpit :

Le *Management Cockpit* permet une gestion des réunions améliorée du fait qu'il offre des informations pertinentes aux décideurs qui favorisent la réflexion systématique, et assure une cohérence du management qui aide la direction à guider la stratégie de l'entreprise.

II.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons abordé les principes fondamentaux qui sont indispensables pour l'élaboration de notre solution évoquée dans la partie I.5, à savoir : la *Total Productive Maintenance* (TPM) et le taux de rendement synthétique (TRS), les typologies de production, la vision industrielle, le concept de *Manufacturing Execution System* (MES), les tableaux de bord et le Cockpit management.

Nous allons dans ce qui suit proposer une conception de la solution proposée pour le calcul automatique du TRS ainsi que les tableaux de bord qui afficheront les traitements effectués.

Chapitre III : Conception et développement du système

A travers ce chapitre, nous allons aborder les étapes que nous avons suivies pour la conception et le développement de notre système. Nous commencerons par établir les objectifs de ce système, en présentant son principe de fonctionnement ainsi que la cible à laquelle il est destiné et les moyens matériels et logiciels que nous avons utilisés pour son développement. Nous présenterons ensuite les éléments clés de conception des deux fonctions principales de notre système : la mesure du taux de rendement synthétique d'un équipement industriel, et la présentation des résultats de ces mesures. Par la suite, nous aborderons les étapes de développement du système, et les simulations effectuées. Nous finirons par présenter une discussion sur le système, et les résultats des simulations.

Chapitre III : Conception et développement

III.1 Objectif du système

Avant d'entamer la conception de notre système, il est nécessaire de bien définir ses objectifs. L'analyse effectuée à partir de l'expression du besoin nous a amenés à définir les fonctions que doit accomplir notre système et de proposer des solutions pour en sélectionner la meilleure (sections I.4 et I.5 p19). L'étude de l'état de l'art dans les domaines des *Manufacturing Execution Systems* (MES), de la vision industrielle, la typologie de production et la *Total Productive Maintenance* (TPM) nous a permis par la suite de mieux répondre aux questions concernant les objectifs de notre système : A qui notre système est-il destiné ? Comment fonctionne-t-il ?

III.1.1 Cible visée par la solution

Cette solution s'adresse aux entreprises de production agroalimentaire. Elle s'adapte aux systèmes de production en grandes, moyennes ou petites séries, dotées d'équipements automatisés ou semi-automatisés. Ces systèmes de production peuvent être à flux continus, discrets ou se situant entre les deux (discontinus) (II.2, p35).

Les entreprises ciblées par cette solution sont celles qui visent à maximiser le rendement de leurs ressources et optimiser leurs processus de production. La valeur qui leur est offerte est une solution proposant certaines fonctionnalités d'un MES qui permet de déterminer le niveau de productivité de leurs équipements, d'étudier son évolution dans le but de l'optimiser, et ce à l'aide de moyens automatiques qui permettent d'effectuer ces mesures en temps réel et en permanence, et d'éliminer, ou de minimiser, les facteurs humains dans l'acquisition des données.

III.1.2 Principe de fonctionnement

III.1.2.1 Principe de la technologie basée sur la vision industrielle

Le principe de la vision industrielle est de doter les machines de la capacité de voir afin d'automatiser des opérations de contrôle qualité ou de contrôle des processus (II.3, p36). Elle consiste à acquérir l'image de l'objet à contrôler ou à visualiser. Ces images sont ensuite transférées vers un logiciel de traitement qui effectue le contrôle requis. En fonction des résultats du contrôle, une décision est prise selon l'application à laquelle est dédiée cette vision. Parmi ces applications, la vision industrielle peut être dédiée au comptage d'objets ou au contrôle qualité.

La capacité de combiner ces deux opérations représente une des forces de cette technologie. Un système basé sur la vision industrielle peut combiner détection, comptage et contrôle qualité selon des critères très largement paramétrables.

III.1.2.2 Fonctionnement du système

Selon l'analyse fonctionnelle effectuée au premier chapitre (I.4, p19), les deux fonctions pour lesquelles notre système existe sont la mesure automatique et en temps réel du TRS par ses trois composantes, à savoir le taux de disponibilité, le taux de performance et le taux de qualité, ainsi que la présentation des résultats des mesures.

Chapitre III : Conception et développement

Etant basé sur la vision industrielle, ce système va acquérir l'image provenant de la caméra située sur un convoyeur à la sortie d'un équipement dans une ligne de production, comme représenté dans la Figure III-1.

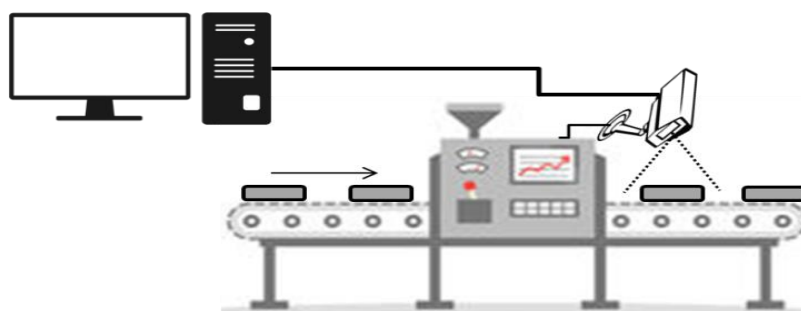


Figure III-1 : Positionnement de la caméra

L'image acquise sera transmise à une unité de traitement qui va la traiter, reconnaître les produits réalisés par la machine ou le poste de travail et en compter le nombre. Le programme effectuera aussi des mesures des dimensions et de la couleur des produits, et à travers ces mesures reconnaîtra les « bons produits » et en comptera le nombre. En combinant ces mesures avec des mesures temporelles, le système calcule les taux relatifs aux TRS en temps réel afin de les présenter dans un tableau de bord. Les résultats seront stockés pour être présentés ultérieurement dans un second tableau de bord.

III.1.3 Moyens logiciels et matériels utilisés

Après avoir défini les objectifs du système, la cible qu'il vise ainsi que son principe de fonctionnement. Il faut sélectionner l'ensemble des moyens et outils nécessaires à la conception et à l'étude de faisabilité de ce système. Nous avons regroupés les différentes ressources qui pouvaient nous permettre d'atteindre les objectifs, et avons choisi les plus adaptés à l'étude.

Notre système de vision industrielle comprend d'une part un volet hardware qui est constitué du capteur de vision (la caméra), de l'unité de traitement, et d'un système d'entrée/sortie numérique, et d'autre part un volet software qui consiste en un logiciel de traitement d'image, un programme de calcul, un emplacement pour le stockage des données et d'une interface pour la présentation des résultats.

• Volet Hardware :

Choix de la caméra : Nous avons opté pour un capteur matriciel de type CMOS (car ce type de capteur présente le meilleur rapport qualité prix (cf. II.3.1.1.2, p37), et qui fournit un signal numérique, afin de faciliter l'acquisition et le traitement de l'image. Le dimensionnement de la caméra en termes de résolution, de fréquence image et de taille du capteur doit être effectué en fonction des paramètres d'une situation réelle dans une unité de production (II.3.2, p38). Pour les besoins du prototype, nous utiliserons une webcam pour réaliser notre étude. Cette webcam sera connectée via USB 2.0 au micro-ordinateur. La version finale de la solution intégrera un capteur CMOS industriel respectant les spécifications minimales en termes de résolution, de fréquence et de taille du capteur. Une

Chapitre III : Conception et développement

étude de dimensionnement a été effectuée pour notre application. Elle est pertinente pour la plupart des cas d'application.

L'unité de traitement : Par souci de simplicité, nous utiliserons un micro-ordinateur comme unité de traitement de l'image. Les ordinateurs portables possèdent généralement les ressources matérielles suffisantes pour obtenir des performances (temps de traitement et capacité de stockage) très acceptables. Il possèdera également toutes les ressources logicielles nécessaires à l'étude.

- **Volet software :**

Le logiciel de traitement d'image : Nous allons utiliser le logiciel *LabVIEW* (cf. Annexe I). Ce logiciel de programmation destiné aux domaines de la science et de l'engineering offre de nombreuses fonctionnalités de vision industrielle à travers sa bibliothèque *NI Vision for LabVIEW* (Annexe II).

Le programme de calcul : Nous utiliserons aussi *LabVIEW* pour établir le programme de calcul. La programmation sur *LabVIEW* se fait avec un langage graphique, facile à manipuler et à comprendre.

L'emplacement de stockage : Les données qui seront stockées par notre système sont les valeurs du TRS et de ses 3 composantes pour chaque journée de production, ainsi que l'historique des fonctionnements de la machine. En phase de prototypage, le nombre de données n'est pas important. Le stockage de données s'effectuera donc sur un fichier *Excel* plutôt que sur une base de données de type relationnelle qui sera nécessaire pour gérer des grandes quantités de données (historique sur plusieurs années et sur plusieurs lignes de production). NB : Soulignons que l'utilisation d'un système de gestion de base de données (SGBD) au lieu d'Excel sera aisée pour AITech qui dispose de plusieurs ingénieurs en informatique spécialistes en SGBD.

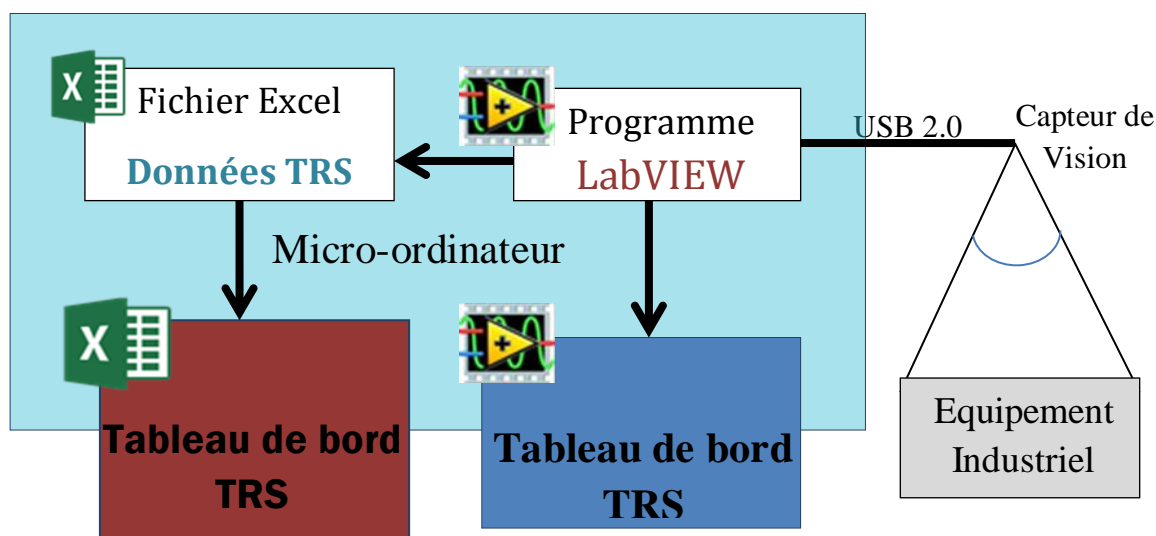


Figure III-2 : Moyens logiciels et matériel et utilisés

Chapitre III : Conception et développement

L'interface pour la présentation des résultats : Deux tableaux de bord serviront à la présentation des résultats des mesures. Le premier à travers la « face-avant » de *LabVIEW* qui offre une interface utilisateur permettant le contrôle des processus en temps réel. Le second sur une interface *Excel*, car ce logiciel offre des fonctionnalités de traitement et de présentation des données utiles et facilement manipulables (Annexe IV).

III.2 Eléments de conception du système

Nous nous tournons maintenant aux éléments principaux de la conception de notre système, en mettant l'accent sur les deux fonctions principales de notre système :

- La mesure du TRS : nous expliquerons la méthode de calcul établie afin de mesurer le TRS de l'équipement, qui est le produit de trois taux, à savoir les taux de disponibilité, de performance et de qualité (II.1.3.1.1, p26) ;
- La présentation des résultats : nous présenterons les deux tableaux de bords conçus en fonction de l'utilisateur à qui ils sont adressés.

Les étapes présentées dans la Figure III-3 (p54) représentent les opérations que doit effectuer notre système pour réaliser ses deux fonctions principales. Les étapes du cadre **1** représentent les opérations relatives aux mesures du TRS, tandis que celle du cadre **2** sont les opérations liées à la présentation des résultats.

III.2.1 La mesure du TRS

Le taux de rendement synthétique d'un équipement (TRS) est le produit de 3 taux relatifs à son état de fonctionnement. Pour rappel, le premier d'entre eux, le taux de disponibilité, informe sur la durée pendant laquelle l'équipement est vraiment en marche, tandis que le taux de performance renseigne sur sa cadence de production pendant qu'il est en marche. Quant au taux de qualité, il donne le pourcentage des bons produits sur le total des produits réalisés (II.1.3.1.1, p26). La valeur de ces trois taux dans une ligne de production automatisée est donc relative aux paramètres du flux de produits qui sort de l'équipement (II.2.2, p35). C'est sur ces flux de produits que notre système se base pour mesurer les 3 composantes du TRS. L'image acquise depuis la sortie de l'équipement en question sera traitée et analysée, puis interprétée, dans le but de mesurer les taux, selon ce séquençement :

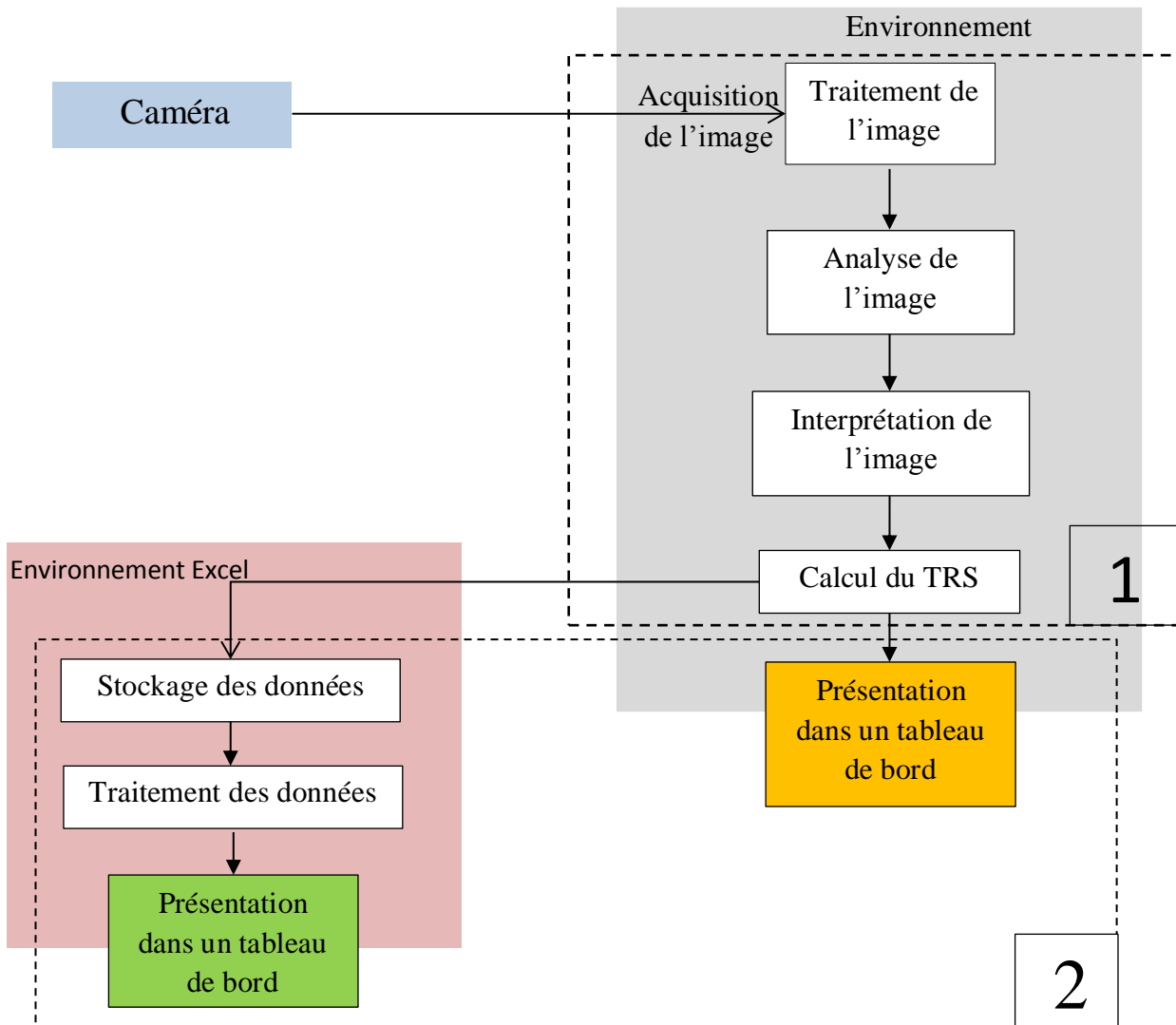


Figure III-3 : Schéma des étapes de la conception

III.2.1.1 L'acquisition de l'image

L'entrée principale qu'utilisera le logiciel pour effectuer les mesures est l'image en provenance de la caméra. Cette étape consiste donc en la mise au point de l'acquisition de l'image par le logiciel de traitement. L'acquisition doit être réglée de manière à répondre au besoin du logiciel de traitement :

- La source d'acquisition : la caméra ;
- Le type de d'acquisition : acquisition continue. Ceci permettra une analyse en temps réel ;
- Les paramètres de l'acquisition : résolution, fréquence image, selon les caractéristiques de notre caméra. Les paramètres de l'image tels que la luminosité, la saturation ou le contraste sont fixés à leur valeur par défaut afin d'obtenir une représentation fidèle de l'aspect réel des objets ;

Cette étape permet de transférer l'image à l'étape suivante, qui est celle du traitement de l'image.

Chapitre III : Conception et développement

III.2.1.2 Traitement et analyse de l'image

L'étape de traitement et d'analyse permet de mettre en évidence l'information qui sera extraite de l'image. Le type de traitement dépend donc de l'information à extraire. Dans notre cas, ces informations sont la présence d'un produit fabriqué, sa position, mais aussi sa forme, ses dimensions et sa couleur. Le traitement et l'analyse doivent donc permettre de mettre en évidence ces informations. Le traitement consiste en des améliorations qui permettent d'accentuer le contraste, dans le but de mieux mettre en évidence les formes des objets présents dans l'image, tandis que les étapes d'analyses permettent de reconnaître ces formes, et de se focaliser sur celles qui représentent des produits. Le traitement et l'analyse consistent en plusieurs étapes qui se succèdent :

1. Extraire le niveau de gris : Cette étape consiste à remplacer, pour chaque pixel de l'image, les trois valeurs représentant les niveaux de rouge, de bleu et de vert, par une seule valeur représentant sa luminosité, comprise entre 0 et 255. Le résultat est une image représentée en niveau de gris, ou en « noir et blanc » (Figure III-4) ;



Figure III-4 : Niveau de gris dans une image

2. La binarisation de l'image : Aussi appelée seuillage, cette opération transforme une image en niveau de gris en image binaire (II.3.3.2, p39). Cette opération permet d'obtenir des masques d'objets, c.-à-d. des images dans lesquelles les valeurs des pixels relatifs à l'objet valent 1, et tous les autres 0.
3. Reconnaissance d'objets : Une analyse en composantes connexes (II.3.3.2, p39) permet d'extraire depuis l'image binarisée, des groupes de pixels connectés appelés blobs (*binary large objects*) ou composantes connexes, qui possèdent la même valeur de luminosité. Ces blobs sont des représentations des objets présents sur l'image.
4. Elimination des objets en contact avec les bords de l'image (ou de la *ROI*) : Cette opération est effectuée afin de ne considérer que les objets qui sont présents totalement sur l'image, pour éviter toute erreur d'estimation des caractéristiques du produit.
5. Suppression des éléments de petite taille et des trous : Par des opérations d'ouverture et de fermeture (II.3.3.2, p39).

Ces étapes de traitement doivent être paramétrables en fonction des caractéristiques du produit et de celles de l'environnement qui l'entoure, d'autres types de traitement sont souvent nécessaires. Par ailleurs, il est possible de définir une ou plusieurs zones d'intérêt ou *ROI* (II.3.3.2, p39) qui permettront d'effectuer les étapes de traitement et d'analyse seulement sur les zones par lesquelles passent les produits.

Chapitre III : Conception et développement

A la fin des étapes de traitement et d'analyse, seules les formes représentant nos produits sont gardées. Un exemple de traitement et d'analyse est montré dans la Figure III-5. Les informations concernant les produits et dont on a besoin pour effectuer nos mesures sont prêtes à être extraites de l'image et interprétées. Ces informations sont les différentes cadences d'apparition des produits, ainsi que les caractéristiques visuelles de ces derniers.

III.2.1.3 Interprétation de l'image

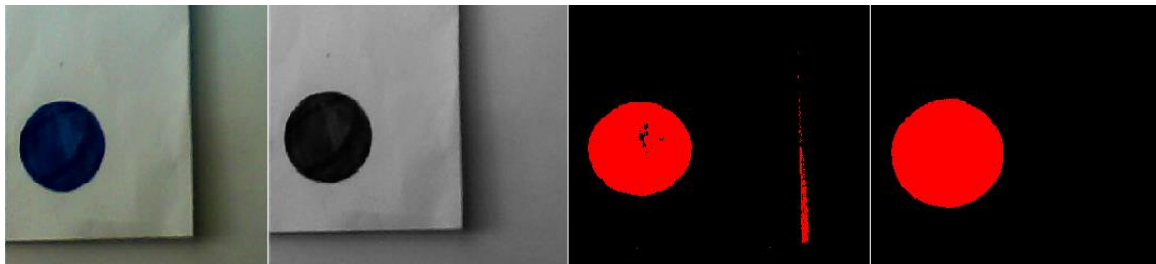


Figure III-5 : Exemple de traitement et d'analyse d'image

Afin de remplir sa première fonction principale, à savoir calculer automatiquement le TRS, notre système de vision industrielle (SVI) procède à l'extraction de l'information depuis l'image. Ces informations concernent en premier lieu la présence d'un ou de plusieurs produits dans l'image, ensuite la mesure des caractéristiques visuelles des produits détectés. En combinant ces calculs avec des calculs temporels, notre système effectuera des mesures en temps réel des trois composantes qui serviront à calculer le TRS.

Nous allons présenter les éléments principaux du processus d'extraction de l'information nécessaire à la mesure du TRS depuis l'image, en distinguant les phases nécessaires au calcul de chacun des trois taux, pour aboutir au calcul du TRS.

III.2.1.3.1 Mesure du taux de disponibilité

Le taux de disponibilité T_{disp} d'un équipement est la première composante de son TRS. Il est obtenu en divisant le temps de fonctionnement T_f par le temps requis T_r (II.1.3.1.1, p26). Le temps requis faisant l'objet d'analyses et d'estimations au sein de la production, il est considéré comme donnée d'entrée. Quant au temps de fonctionnement, il doit être déterminé par notre système de vision. Pour ce faire, le système doit être capable de reconnaître, à chaque instant, si l'équipement est en marche ou en arrêt, pour pouvoir déterminer les temps de fonctionnement et d'arrêt. Le taux de disponibilité pourra ainsi être mesuré.

Nous allons nous baser sur le flux de sortie de la machine pour reconnaître l'état de l'équipement (II.2.2, p35). Une variable booléenne *en arrêt* prendra la valeur *Vrai* si un ou plusieurs produits sont détectés en mouvement dans le sens de la sortie de l'équipement, et *Faux* si aucun produit n'est détecté, ou que les produits sont immobiles (Figure III-6).

Chapitre III : Conception et développement

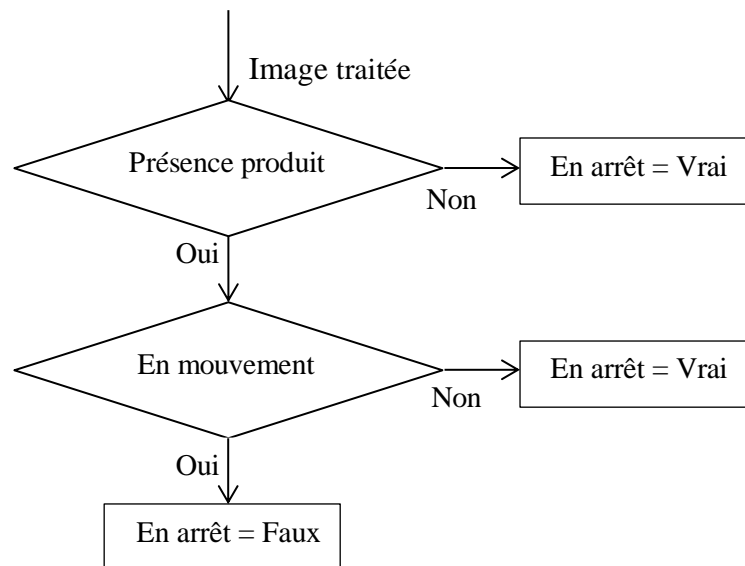


Figure III-6 : Reconnaissance de l'état de l'équipement

A partir de cette reconnaissance de l'état de l'équipement, le système doit déterminer les temps de chaque fonctionnement, à savoir son heure de début et son heure de fin, ainsi que les quantités produites et la cadence de production durant ce fonctionnement. La Figure III-7 montre le processus de calcul et d'enregistrement des temps de fonctionnement.

A chaque démarrage de la machine, le système affecte l'heure de démarrage à la variable « *Heure de début* » afin de la mémoriser. Les compteurs de quantités relatifs à chaque fonctionnement ayant été réinitialisés à 0 au moment de l'arrêt précédent, ils permettront de compter les quantités à partir de ce démarrage (nous aborderons les compteurs de quantités dans le calcul des deux autres taux). Une fois que la machine s'arrête, le système affecte l'heure d'arrêt à la variable « *Heure de fin* » afin de la mémoriser, envoie les données à un fichier *Excel* et réinitialise les compteurs à nouveau.

Cependant tous les arrêts ne représentent pas des pertes de disponibilité. En effet, les micro-arrêts sont des arrêts de très courte durée et qui ne nécessitent pas d'intervention majeure pour le redémarrage, ceux-ci sont assimilés à une perte de performance (II.1.3.1.1, p26). La durée limite pour qu'un arrêt soit considéré comme un micro-arrêt (qu'on appellera *Seuil_{micro-arrêt}*) pouvant varier d'une industrie à une autre, ou même d'un équipement à un autre, sa valeur doit être paramétrable dans notre système et fixée au moment de la mise en œuvre.

Chapitre III : Conception et développement

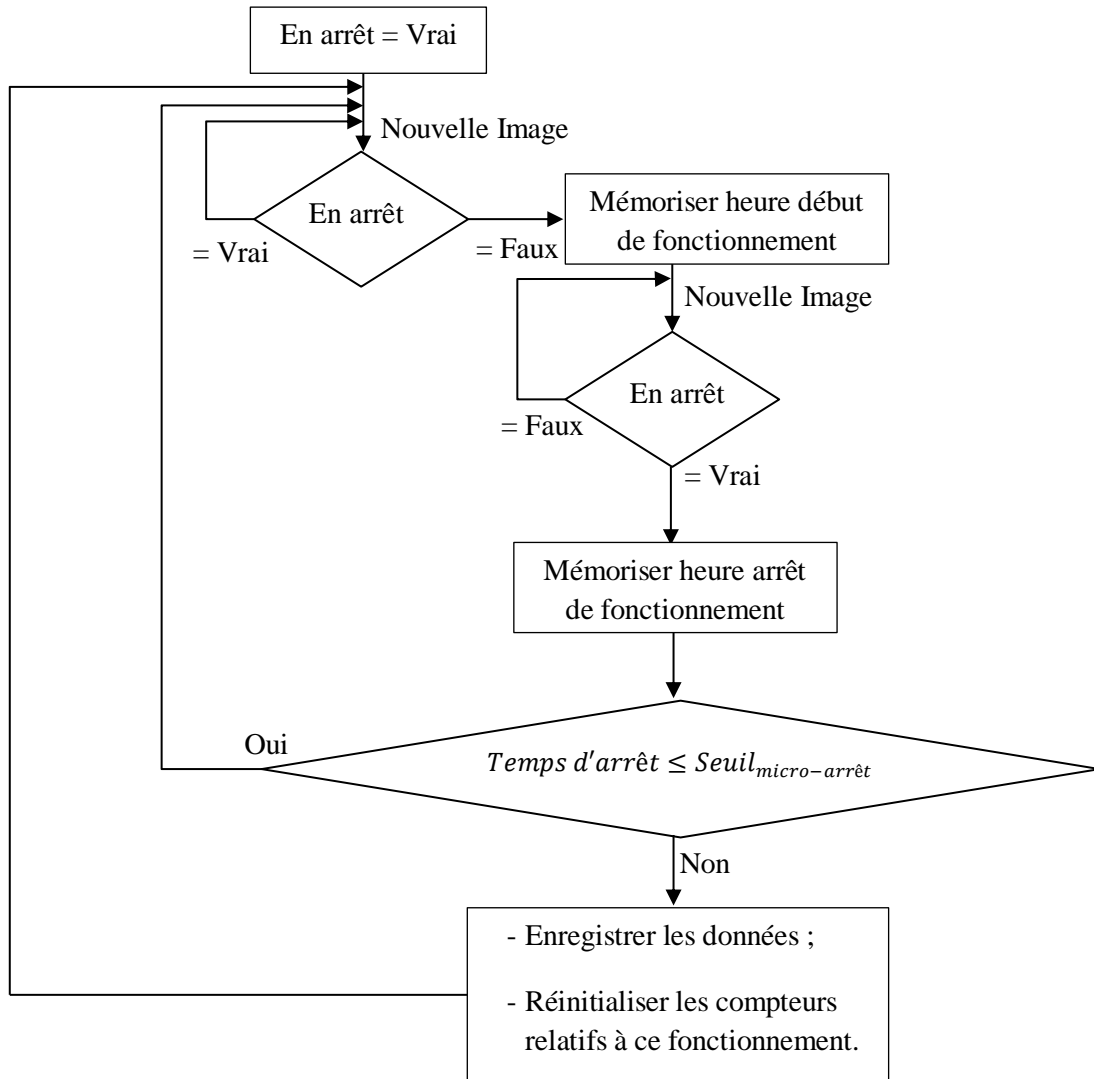


Figure III-7 : Calcul des temps de fonctionnement

Un autre compteur de la durée de fonctionnement générale durant la journée (ou le shift de production), nous permettra de connaître en temps réel la durée totale de fonctionnement T_f (micro-arrêts compris), en le divisant par le temps requis, nous réussissons à observer le taux de disponibilité de l'équipement durant la journée :

$$T_{disp} = \frac{T_f}{T_r}$$

III.2.1.3.2 Mesure du taux de performance

Le taux de performance T_{perf} est la deuxième composante du TRS que notre système doit calculer. Il représente le rapport du temps utile d'un équipement à son temps de fonctionnement, et est équivalent au rapport de la cadence de production réelle $C_{réel}$ de cet équipement sur sa cadence idéale (ou théorique) $C_{idéal}$ (II.1.3.1.1, p26). C'est cette deuxième définition que notre système utilisera pour le calcul du taux de performance.

Comme pour le temps requis, la cadence idéale fait l'objet d'analyses et d'estimations au niveau de la production. Elle sera donc elle aussi introduite au système comme donnée

Chapitre III : Conception et développement

d'entrée. C'est la cadence réelle qui devra être déterminée par le système. Cette cadence sera calculée pour donner l'évolution du taux de performance en temps réel durant toute la journée, mais aussi au taux de performance de chaque fonctionnement dans le but de mettre en évidence son évolution d'un fonctionnement à un autre.

La cadence de production étant définie comme le nombre de produits réalisés par unité de temps, son calcul nécessite la connaissance du nombre de produits réalisés, et des durées de fonctionnement de la machine. Les durées sont calculées comme indiqué précédemment dans le calcul du taux de disponibilité. Pour le dénombrement des produits réalisés, nous aurons besoin de deux compteurs du nombre de produits :

- Un compteur pour toute la journée de production : qu'on appellera *Cpt_prod_total* - il comptera le nombre de produits réalisés du début à la fin de la journée ;
- Un compteur relatif à chaque fonctionnement : *Cpt_prod* - ce compteur comptera le nombre de produits réalisés lors d'un unique fonctionnement.

Ces deux compteurs seront incrémentés à chaque fois qu'un signal « nouveau produit » indiquera la sortie d'un nouveau produit de la machine (Figure III-8). Le second compteur, *Cpt_prod*, sera réinitialisé à 0 à chaque arrêt de production, après que sa valeur ait été envoyée au fichier *Excel* pour enregistrement.

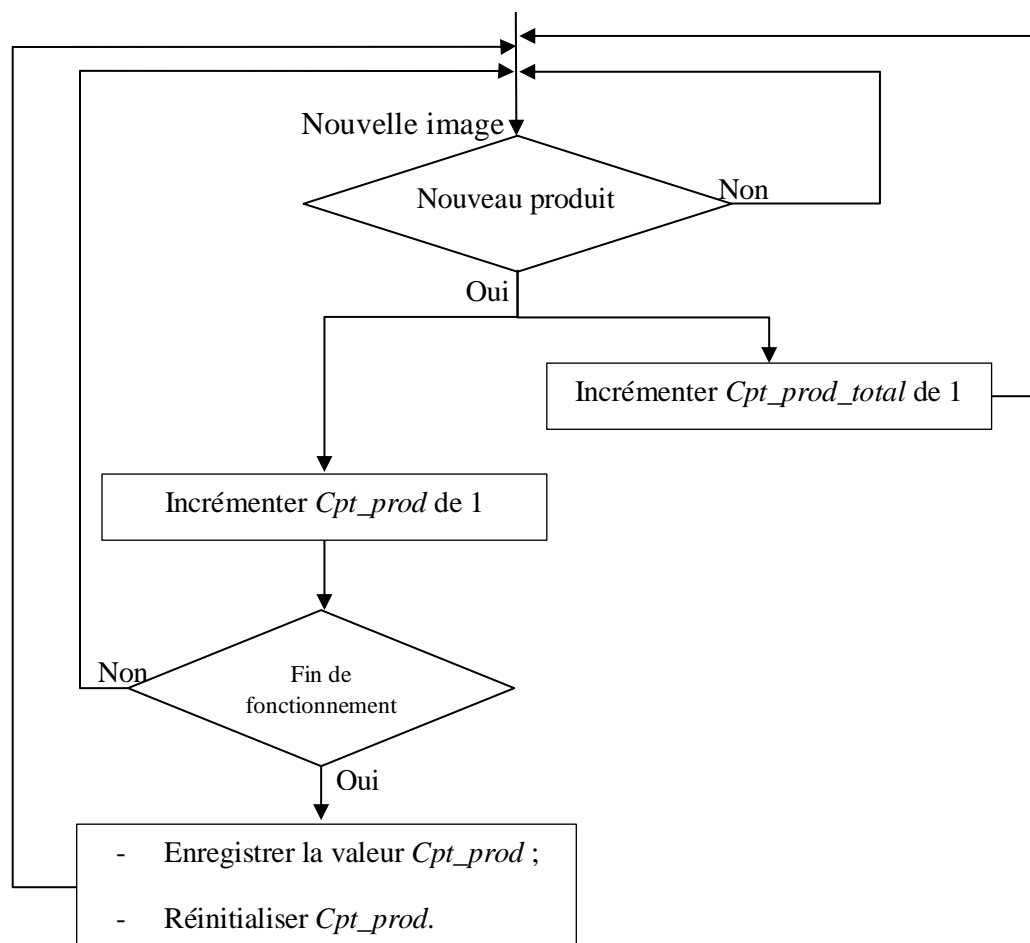


Figure III-8 : Calcul du nombre de produits

Chapitre III : Conception et développement

Il faut bien préciser à ce niveau le sens de la condition « nouveau produit » pour que nos compteurs ne s'incrémentent qu'à la détection de **nouveaux produits**. En effet, étant donné que le traitement de l'image et la détection des produits se font à la fréquence de l'acquisition de l'image (qui peut atteindre les 30fps – images par seconde), à chaque acquisition d'une nouvelle image, le système envoie un signal de détection de produits. Comme un même produit apparaîtra plusieurs fois dans le plan de l'image, le signal de détection de produit sera envoyé autant de fois que le nombre d'images acquises pendant le passage de ce même produit.

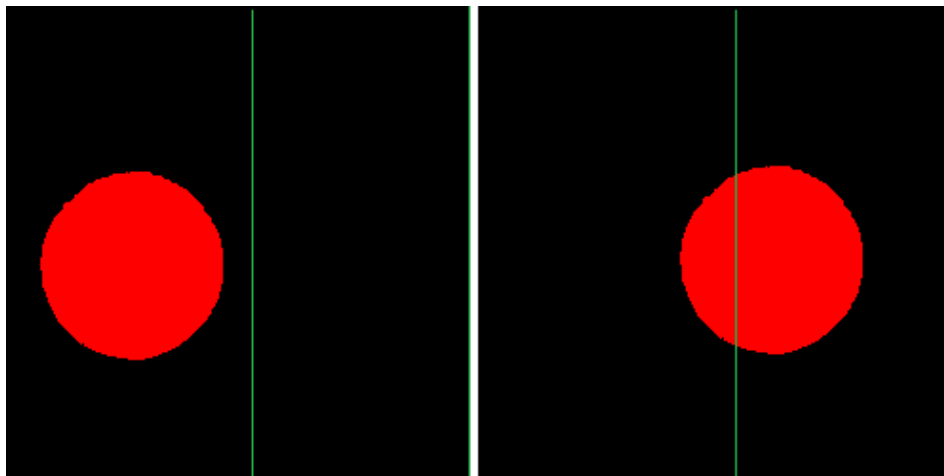


Figure III-9 : Ligne de passage pour l'incrémentation

Pour répondre à ce problème, on conçoit une ligne virtuelle perpendiculaire au sens du déplacement de l'objet dans l'image acquise (Figure III-9). Le signal « nouveau produit » sera envoyé au moment où le produit traverse la ligne. Soit $x_p(i)$ la coordonnée horizontale du centre de gravité de la surface du produit et X_l la position de la ligne de passage. Le signal « nouveau produit » est envoyé lorsque dans une image donnée nous avons : $x_p(i) < X_l$ et que dans l'image qui suit : $x_p(i + 1) \geq X_l$ (Figure III-10).

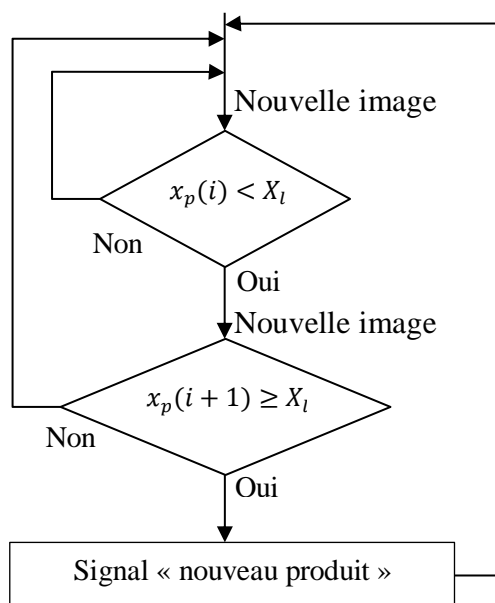


Figure III-10 : Signal "nouveau produit"

Chapitre III : Conception et développement

Ainsi, notre système parvient à calculer le nombre de produits réalisés tout au long du shift de production ou de la journée, ainsi que le nombre de produits par fonctionnement. En divisant ces nombres par les temps total et de chaque fonctionnement, nous obtenons la cadence moyenne de chaque fonctionnement, ainsi que celle de la journée :

- Pour chaque fonctionnement : $C_{réel} = \frac{Cpt_prod}{H_{fin} - H_{début}}$
- Pour toute la journée de production : $C_{réel} = \frac{Cpt_prod_total}{T_f}$

Le taux de performance peut donc être calculé en temps réel, pour toute la journée et pour chaque fonctionnement :

$$T_{perf} = \frac{C_{réel}}{C_{idéal}}$$

III.2.1.3.3 Mesure du taux de qualité

La troisième composante du TRS est le taux de qualité T_q , qui est le rapport du nombre de bons produits (Cpt_bon) au nombre total de produits réalisés (Cpt_prod) dans une période donnée (II.1.3.1.1, p26). Ayant déjà calculé le nombre de produits réalisés, notre SVI doit connaître le nombre de bons produits. Pour ce faire, il doit d'abord distinguer un bon produit d'un mauvais. Pour cela, un contrôle qualité peut être effectué sur les produits pour juger de leur conformité. Ce contrôle qualité sera basé sur les caractéristiques visuelles du produit seulement, en les comparant aux critères de conformité qui sont extraits à partir d'images références de produits conformes. Le produit sera jugé conforme si (Figure III-11) :

- Sa forme et sa couleur sont identiques à celles de l'image du produit de référence introduite dans le système ;
- Ses dimensions maximales selon les deux axes ainsi que la surface du produit sont comprises dans un intervalle de conformité déjà défini.

Chapitre III : Conception et développement

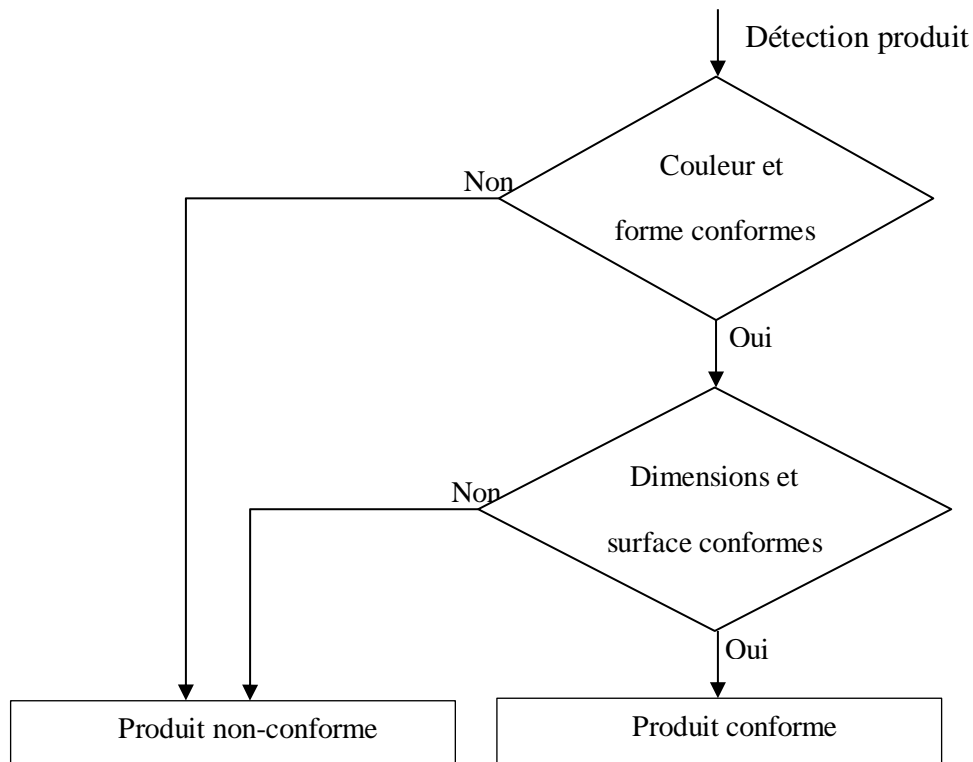


Figure III-11 : Contrôle de surface

C'est à partir de ce signal indiquant la conformité ou non du produit, que le nombre de bons produits sera compté. De la même manière que les compteurs du nombre de produits réalisés, deux compteurs sont mis en place :

- Un compteur dédié aux bons produits de toute la journée : *Cpt_bon_total* ;
- Un compteur relatif aux bons produits durant le dernier fonctionnement : *Cpt_bon*.

L'incréméntation de ces deux compteurs se fait de la même manière que celle des compteurs des nombres de produits réalisés (Figure III-12). Les deux compteurs sont incrémentés à chaque passage d'un **produit conforme** par la ligne verticale citée précédemment. Le compteur *Cpt_bon* est réinitialisé à 0 à chaque arrêt, après que sa valeur ait été enregistrée dans le fichier Excel.

Chapitre III : Conception et développement

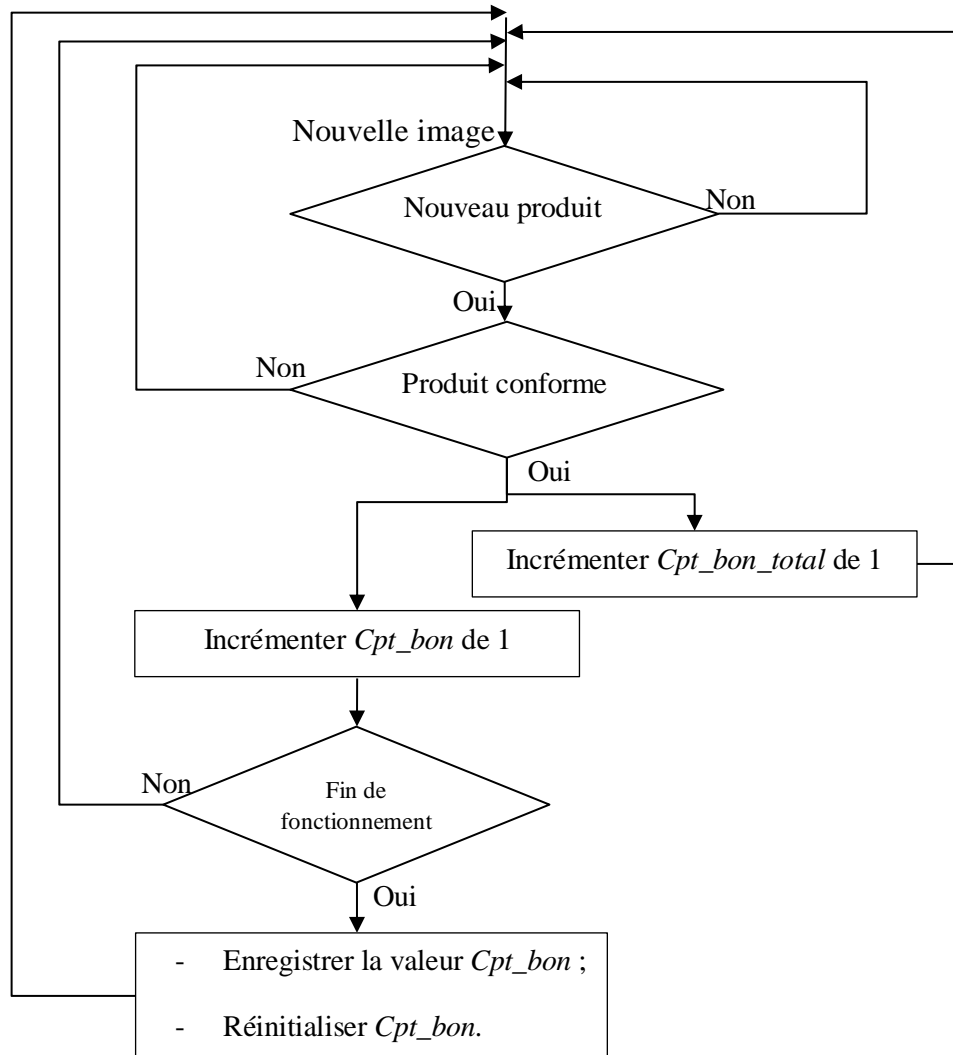


Figure III-12 : Compteurs des produits et produits conformes

Il est clair que les caractéristiques visuelles d'un produit ne suffisent pas toujours pour juger de sa conformité, et que même quand c'est le cas, le contrôle effectué sur une face d'un produit peut s'avérer parfois insuffisant. Pour combler ce manque, une boîte de dialogue s'affichera à la fin de la journée, pour permettre au gestionnaire de rectifier si besoin le nombre de bons produits. Ceci permettra une représentation plus fidèle du taux de qualité.

Le nombre de produits conformes ayant été calculé pour toute la journée de production, mais aussi pour chaque fonctionnement enregistré, sa division par le nombre de produits réalisés au total donnera le taux de qualité de l'équipement, en temps réel durant la journée et aussi pour chaque fonctionnement :

$$T_q = \frac{Cpt_bon}{Cpt_prod}$$

Chapitre III : Conception et développement

III.2.1.4 Calcul du TRS

Une fois le taux de disponibilité, le taux de performance et le taux de qualité déterminés, le TRS, qui n'est autre que le produit de ces trois taux, est calculé de la manière suivante :

$$TRS = T_{disp} \times T_{perf} \times T_q$$

La valeur de ce produit à un instant donné de la journée représente le niveau de rendement qu'a atteint l'équipement à ce stade.

Au final, à partir de l'image acquise, traitée et analysée en temps réel, en provenance de la caméra située à la sortie de la machine, notre SVI détermine les différentes variables nécessaires au calcul du TRS et de ses composantes. En calculant les temps de marche et d'arrêt et les quantités produites, et en effectuant un contrôle de surface pour estimer la qualité des produits, le système détermine automatiquement :

- Le taux de disponibilité d'un équipement, son taux de performance, son taux de qualité et son TRS en temps réel ;
- Les taux de performance et de qualités moyens pour chaque fonctionnement enregistré;
- La valeur du TRS et celles de ses 3 composantes pour une journée de production.

Ainsi, notre système réussit à accomplir sa première fonction principale, qui est la mesure du TRS à temps réel.

Comme pour tout indicateur de performance, l'objectif de la mesure du TRS au jour le jour est de permettre au gestionnaire de suivre l'évolution du rendement de son équipement ou de sa ligne de production, de constater les écarts par rapports aux objectifs et d'utiliser cet indicateur comme outil de progrès. Les mesures doivent donc être présentées au gestionnaire, selon sa position et son niveau de décision.

III.2.2 Présentation des résultats des mesures

La seconde fonction principale pour laquelle le système doit répondre, est de fournir une présentation de cet indicateur de performance aux responsables et décideurs de l'entreprise. Cette fonction a pour objectif de faciliter le processus de prise de décision (I.4, p19) et doit donc présenter l'information de manière claire, significative, et ergonomique.

III.2.2.1 Les TRS, un indicateur de performance clé

Le taux de rendement synthétique est à la fois un indicateur de pilotage et un indicateur de résultat. L'analyse de son évolution sur une longue période permet de déterminer les axes d'amélioration, de mettre en place les plans d'actions en fixant les objectifs et d'observer si ces objectifs ont été atteints, tandis que son contrôle quotidien permet de piloter les activités afin d'atteindre ces objectifs.

Pour que ces analyses puissent être effectuées à partir du TRS, celui-ci doit être présenté de manière à mettre en évidence l'information nécessaire à la lecture et l'interprétation. En

Chapitre III : Conception et développement

fonction de l'interprétation à effectuer, la présentation varie en niveau de détail, en fréquence de rafraîchissement ou en étendue de l'information qu'elle englobe.

Cet indicateur étant à l'interface entre l'opérationnel et le management, nous avons pensé à concevoir deux tableaux de bords pour la présentation des mesures effectuées, l'un destiné aux membres de l'unité de production, l'autre aux managers ou autres responsables de gestion.

III.2.2.2 Le tableau de bord opérationnel

Pour piloter les activités de production de manière efficace, le responsable de l'atelier de production a besoin de connaître les informations importantes concernant ces activités.

III.2.2.2.1 Objectif du tableau de bord opérationnel

Ce tableau de bord est conçu afin de rapporter les informations sur l'état des équipements aux différents responsables de l'unité de production selon l'organisation (chef d'équipe, responsable production, superviseur...). Il présente les mesures effectuées par le système en temps réel et permet d'identifier les écarts par rapport aux objectifs de rendement fixés. Le TRS représente ici un indicateur de pilotage (II.5.1.5, p46) qui permet au décideur de prendre les bonnes décisions de manière instantanée, afin d'atteindre les objectifs fixés pour cet indicateur.

III.2.2.2.2 Informations présentées dans le tableau de bord

Notre tableau de bord opérationnel est directement relié au programme de mesure. Les données sont transmises en temps réel pour être affichés dans l'interface utilisateur :

Informations relatives au taux de disponibilité :

- Une représentation visuelle de l'état actuel de la machine : Un bouton s'affiche en vert quand l'équipement est en marche, et en rouge quand il est à l'arrêt ;
- La durée de l'arrêt actuel ;
- Une jauge représentant en temps réel la proportion de temps de fonctionnement atteinte par rapport au temps requis ;
- Une barre illustrant le séquençage des phases de marche et d'arrêt avec la durée de chaque phase ;
- Une jauge représentant en temps réel le taux de disponibilité atteint à ce stade de la journée.

Informations relatives au taux de performance :

- Le nombre total de produits réalisés depuis le début de la journée ou du shift de production ainsi que le nombre total au fonctionnement actuel ;
- La cadence réelle enregistrée depuis le début de la journée ;
- La somme des durées des micro-arrêts, et leur proportion par rapport au temps total de fonctionnement ;
- Une jauge représentant en temps réel le taux de performance de l'équipement.

Chapitre III : Conception et développement

Informations relatives au taux de qualité :

- Le nombre de bons produits réalisé depuis le début de la journée et pendant le dernier fonctionnement ;
- Une jauge représentant en temps réel le taux de qualité de l'équipement.

Enfin, la synthèse de tous ces chiffres, qui est le taux de rendement synthétique est représentée en temps réel par une jauge. De plus, des graphes illustrant l'évolution en temps réel du TRS ainsi que de ses 3 composantes sont affichés.

III.2.2.2.3 Apport du tableau de bord opérationnel au responsable de la production

Le fait de rapporter en temps réel au responsable de production les données des activités au sein de son atelier est en soi un apport. Ceci lui permet d'être informé des heures de production, des quantités produites, des pauses, des pannes...etc. De plus, il peut à travers un tableau de bord regroupant les activités de plusieurs machines de lignes de production, avoir une meilleure maîtrise de ses activités de production ainsi que des besoins en maintenance et/ou en améliorations opérationnelles.

Le taux de rendement synthétique, ainsi que ses 3 composantes, présentés en temps réel au responsable production, servent d'indicateurs de pilotage qui lui permettent de faire progresser ses processus afin d'atteindre les objectifs fixés par la Direction et traduits en indicateurs. Il permet d'améliorer le TRS d'un équipement, en fixant ses priorités sur la composante du TRS qui enregistre le plus de pertes, et en entreprenant des actions pour l'amélioration. Ainsi, chaque déficit dans une des composantes est réduit en éliminant les causes qui l'engendrent, dans le but d'améliorer le rendement synthétique de l'équipement :

- **Pertes de disponibilité**
 - Réduire les pannes et leurs incidences : En élaborant un programme de maintenance préventive (II.1.3.3, p32) ou en optimisant la gestion des stocks de pièces de rechange ;
 - Réduire les temps de changement de séries : En optimisant les changements de séries, par les méthodes SMED, OTED, NOTED (II.1.3.1.1, p26) ;
 - Eliminer les stocks tampons : En étudiant les files d'attente des produits et en-cours au sein de son atelier.
- **Pertes de performance :**
 - Réduire les temps de cycle ainsi que les micro-arrêts en remettant l'équipement dans ses conditions normales (5S, nettoyage, équilibrage...etc.)
- **Pertes de qualité :**
 - Réduire les rebuts et les retouches en révisant ses méthodes de production, ses procédés, ou la matière première.

Chapitre III : Conception et développement

III.2.2.3 Le tableau de bord de gestion

La Direction de l'entreprise a besoin de recevoir des rapports sur l'ensemble des activités qui se déroulent au sein de celle-ci, afin de prendre les bonnes décisions et d'assurer au mieux la bonne évolution de l'organisation.

III.2.2.3.1 Objectif du tableau de bord de gestion

Ce tableau de bord a pour but de mettre à disposition du manager les informations nécessaires pour observer la performance des activités au sein de l'entreprise, de constater les écarts par rapport aux objectifs, de les justifier, et de fixer de nouveaux objectifs à atteindre.

Pour permettre de prendre les bonnes décisions, ce type de tableau de bord doit inclure d'autres informations telles que le taux de service, le rapport des coûts ou celui du résultat financier. Néanmoins, nous avons conçu ce tableau de bord qui présente le taux de rendement synthétique en tant qu'indicateur de résultat (II.5.1.4, p46). Il permet au manager d'analyser son évolution à travers le temps, d'observer les tendances et de fixer les nouveaux objectifs pour celui-ci.

III.2.2.3.2 Informations présentées dans le tableau de bord

Les résultats des mesures effectuées par le système de vision, qui ont été enregistrées, sont traitées et structurées afin d'être présentées dans ce tableau de bord :

- La moyenne du taux de rendement synthétique, ainsi que celles de ses 3 composantes sont représentées ;
- La répartition des valeurs enregistrées pour chaque taux selon 3 classes est aussi affichée : Une première classe entre 0% et 50%, une deuxième entre 50% et 80% et une troisième de 80% à 100%. Les bornes de chaque classe peuvent être modifiées afin de donner une information pertinente ;
- Les valeurs du TRS et de ses composantes pour chaque journée de production sont affichées, ainsi que le graphe d'évolution de ces taux dans la période de temps que l'on veut étudier et les valeurs moyennes de ces taux pour cette période.

III.2.2.3.3 Apport du tableau de bord de gestion au manager

La présentation de l'historique d'évolution de ces indicateurs de performance offre à la Direction un moyen de constater à quel niveau les objectifs fixés au préalable ont été atteints, mais aussi de fixer les nouveaux objectifs, et de mettre en place des politiques afin de les atteindre :

- En observant les taux de rendements réalisés par les équipements de l'unité de production, la Direction a la possibilité d'améliorer ses plannings de production, de mieux déterminer les délais et gérer les approvisionnements ;
- En constatant des chutes, brusques ou progressives, d'un des taux durant une période récente, des investigations au sein de l'atelier doivent être lancées afin de déterminer les causes de ces écarts, et d'y remédier ;

Chapitre III : Conception et développement

- L'analyse de l'évolution du TRS et de ses composantes permet de prendre des décisions éclairées quant à la maintenance des machines ou leur remplacement pour un meilleur équipement, ou même le changement de mode de production.

Ainsi, en mettant à disposition des différents acteurs de l'entreprise, les mesures réalisées par notre système, celui-ci remplit sa seconde fonction principale, qui consiste à la présentation de l'information.

Après avoir effectué la conception de notre système, nous sommes passés à la phase de développement.

III.3 Développement du système

Le développement de notre système a été effectué en utilisant les moyens matériels et logiciels cités précédemment (III.1.3, p51). Une webcam de résolution 640×480 pixels, doté d'une fréquence image 30 fps a été utilisée pour l'acquisition de l'image. Celle-ci est connectée à un micro-ordinateur qui contient le logiciel *LabVIEW* (Annexe I) pour le traitement de l'image, la mesure du TRS et la présentation dans un tableau de bord opérationnel, ainsi que le logiciel *MS Excel 2016* (Annexe III) pour l'enregistrement des données et la présentation dans un tableau de bord de gestion.

Nous présentons dans ce qui suit les étapes de développement de notre système, en commençant par les étapes de mesure du TRS, ensuite la présentation des mesures dans les tableaux de bord.

III.3.1 Mesure du TRS

La mesure du TRS passe par plusieurs étapes :

III.3.1.1 Acquisition de l'image

L'acquisition de l'image est réalisée à partir du VI Express *Vision acquisition* de la bibliothèque *NI Vision* (Figure III-13), nous mettons au point l'acquisition de l'image, avec les réglages suivants :

- Source d'acquisition : NI-IMAQdx (webcam) ;
- Type d'acquisition : Acquisition continue avec traitement en ligne ;
- Paramètres de l'acquisition : 640x480, 30 fps. La luminosité, le contraste sont fixés à leur valeur par défaut.

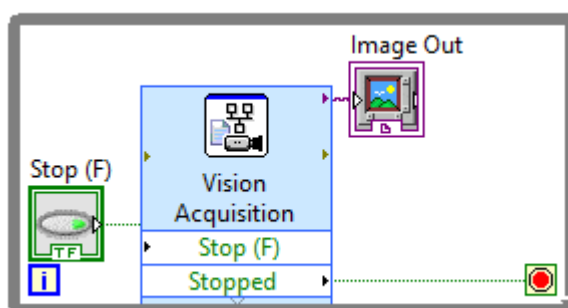


Figure III-13 : Vision Acquisition dans une boucle while

Chapitre III : Conception et développement

III.3.1.2 Traitement et analyse de l'image

L'image acquise par le VI Express *Vision Acquisition* est transmise à deux VI Express *Vision Assistant* de la bibliothèque *NI Vision for LabVIEW* pour le traitement et l'analyse.

Le premier VI est consacré à la reconnaissance de tous les produits. Il est connecté à la fonction *IMAQ Count Objects 2* (Figure III-14) qui procède à la binarisation de l'image et à un traitement paramétrable. Nous introduisons les paramètres suivants :

- 1- Type d'objet à détecter : Foncé ;
- 2- Seuil : 80 ;
- 3- Taille minimum : 3700px² ;
- 4- Taille maximum : 4700px² ;

Cette fonction renvoie le nombre total de produits présents dans l'image et les coordonnées du centre de chacun d'entre eux.

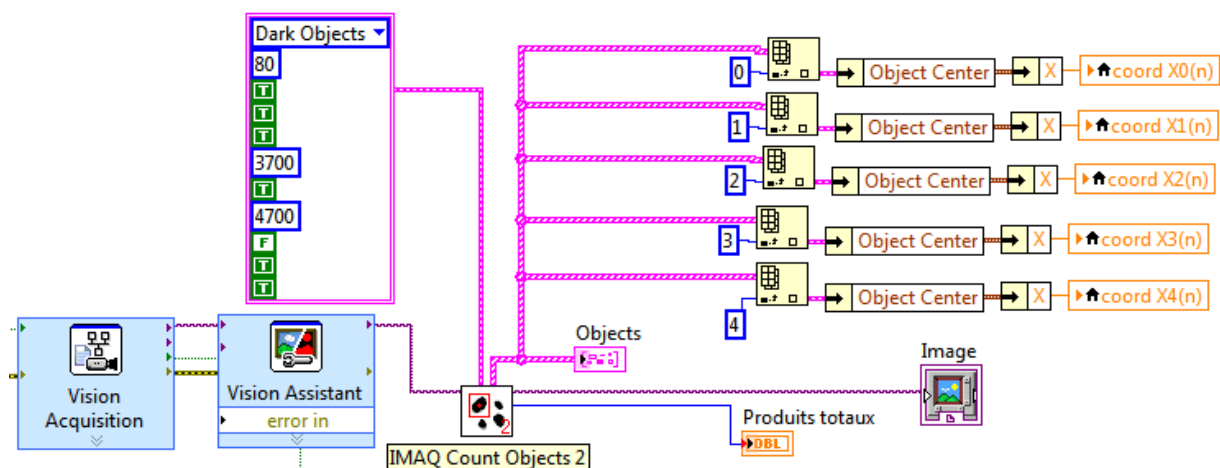


Figure III-14 : Reconnaissance des produits dans l'image

Le second VI Express *Vision Assistant* est consacré à la reconnaissance des produits conformes. Le script de traitement est programmé dans le logiciel *Vision Assistant* et est transféré à *LabVIEW* à travers le VI Express. Le script contient les étapes de traitement suivantes (Figure III-15) :

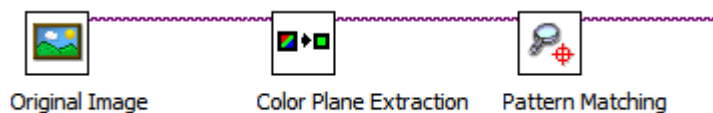


Figure III-15 : Script de traitement du VI Express *Vision Assistant*

- 1- *Color Plane Extraction* : Afin d'extraire le niveau de luminosité de l'image et la rendre « en noir et blanc » ;
- 2- *Pattern Matching* : En utilisant l'image en noir et blanc, cette fonction permet de reconnaître un produit. En utilisant comme modèle une image contenant un produit conforme.

Chapitre III : Conception et développement

Nous choisissons comme information de retour le nombre de produit reconnus présents dans l'image ainsi que les coordonnées de leurs centres.

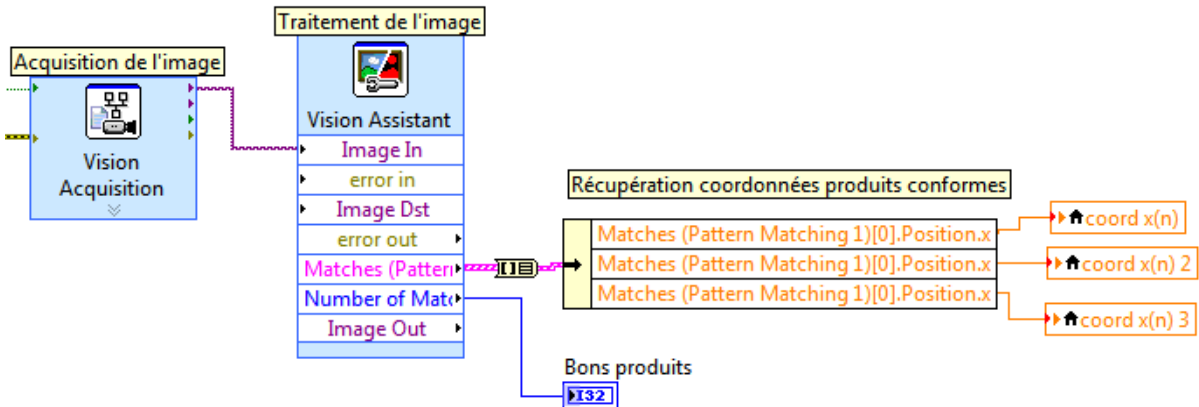


Figure III-16 : Reconnaissance des "bons" produits

III.3.1.3 Interprétation des résultats de l'analyse de l'image

Voici maintenant les étapes de calcul du TRS :

III.3.1.3.1 Mesure du taux de disponibilité :

La reconnaissance de l'état de la machine se fait à travers les coordonnées horizontales (dans le sens du mouvement) du produit détecté. Si dans deux images qui se suivent, la coordonnée $coord\ x(n)$ est supérieure à $coord\ x(n-1)$, alors la variable booléenne *Arrêt* prendra la valeur *fausse*, et prendra *vraie* dans les autres cas.

En parallèle, grâce au VI Express *Temps écoulé*, un chronomètre est lancé à chaque fois que la variable *arrêt* est *fausse*. La durée de chaque fonctionnement sera enregistrée et rajoutée à une variable *temps de fonctionnement*. Le chronomètre sera réinitialisé quand la variable *arrêt* est *vraie*. Cette opération se répète à chaque fonctionnement.

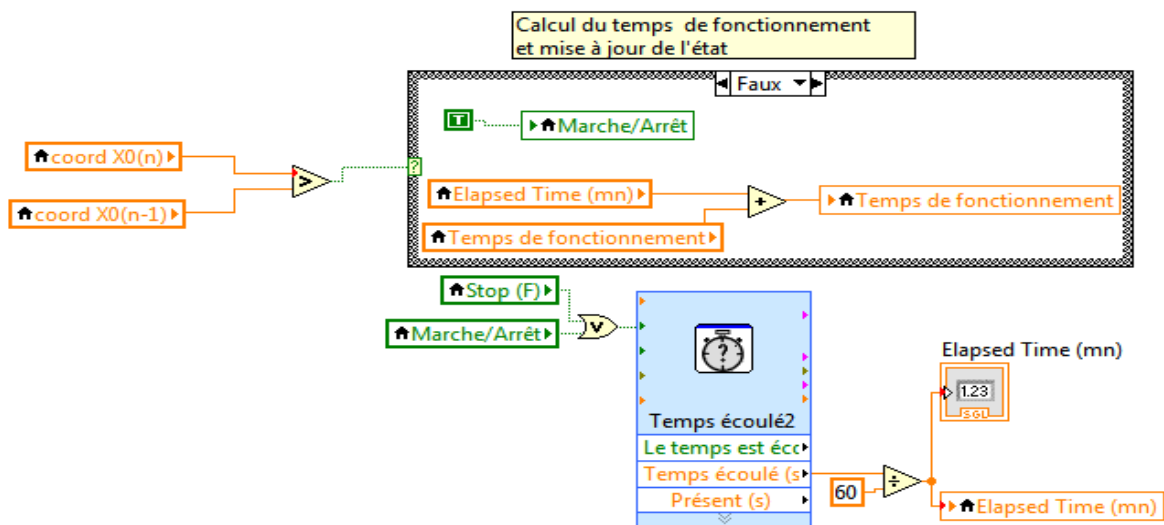


Figure III-17 : Etat de l'équipement et calcul du temps de fonctionnement

Chapitre III : Conception et développement

Le taux de disponibilité est obtenu en divisant le temps de fonctionnement par le temps requis, introduit au préalable comme donnée d'entrée au programme. Il est enregistré ensuite dans la variable disponibilité.

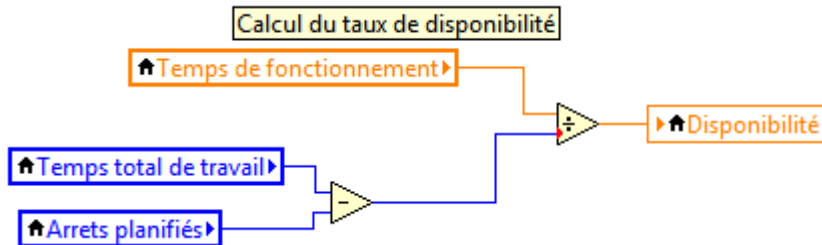


Figure III-18 : Calcul du taux de disponibilité

III.3.1.3.2 Mesure du taux de performance :

Pour mesurer le taux de performance, nous diviserons la cadence réelle de l'équipement sur sa cadence théorique. La cadence théorique est considérée comme constante et sera introduite avant le début de l'acquisition dans une variable *cadence théorique*.

Pour calculer la cadence théorique, le nombre de produits réalisés est compté, Les compteurs *cpt_prod* et *cpt_prod_total* s'incrémentent à chaque passage d'un produit par la ligne verticale X=320.

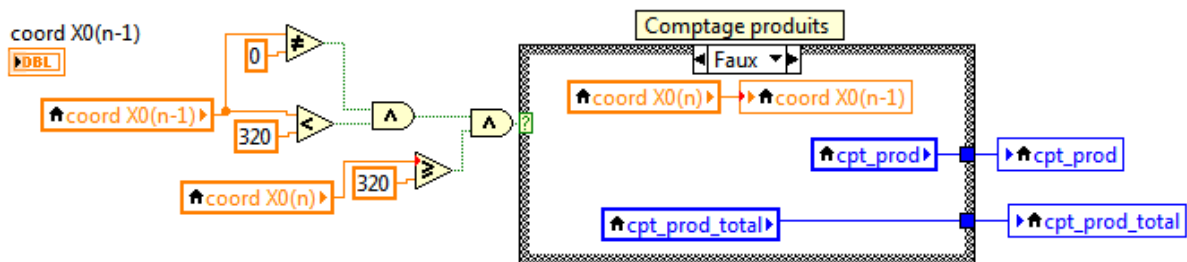


Figure III-19 : Comptage des produits à la ligne de passage

La cadence est calculée en divisant *cpt_prod_total* par le *temps de fonctionnement*. On obtient le taux de performance en divisant la cadence réelle par la cadence théorique. Il est représenté par la variable *performance*

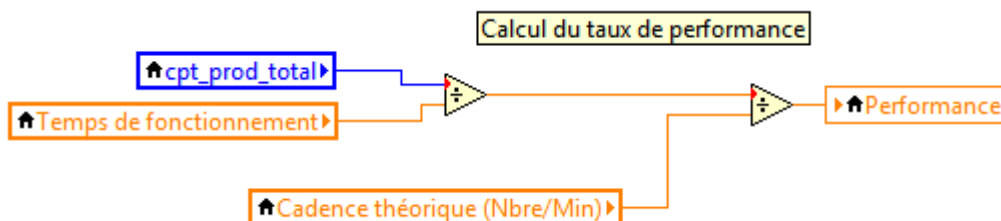


Figure III-20 : Calcul du taux de performance

III.3.1.3.3 Mesure du taux de qualité :

Les compteurs *cpt_bon_total* et *cpt_bon* des produits conformes s'incrémentent à chaque passage d'un bon produit par la ligne virtuelle verticale.

Chapitre III : Conception et développement

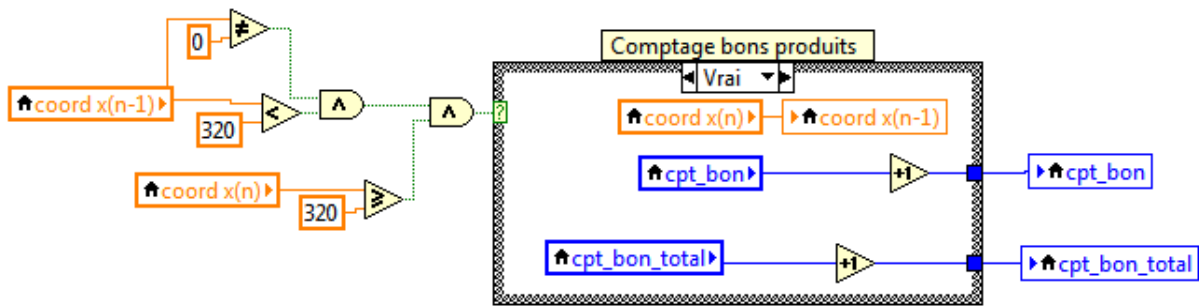


Figure III-21 : Comptage des bons produits à la ligne de passage

Le nombre de bons produits est divisé par le nombre total de produits pour donner le taux de qualité. Ce taux est représenté par la variable *Qualité*.

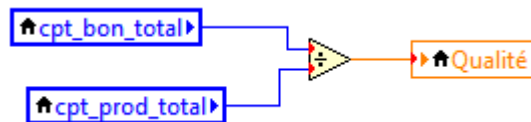


Figure III-22 : Calcul du taux de qualité

III.3.1.3.4 Calcul du TRS :

Le taux de rendement synthétique de l'équipement est obtenu en multipliant les trois taux calculé auparavant.

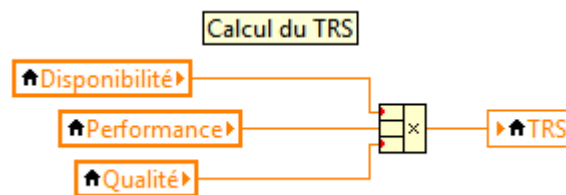


Figure III-23 : Calcul du TRS

III.3.1.3.5 Enregistrement des résultats :

La sauvegarde des données collectées est faite dans deux fichiers *Excel*, en format *.csv*. Le premier est consacré à l'historique des fonctionnements de la machine pendant chaque journée de production. Pour chaque nouveau fonctionnement, sont enregistrés :

- L'heure de début et de fin du fonctionnement ;
- Le nombre de produits total ainsi que de bons produits réalisés ;
- La cadence moyenne ;
- Le taux de qualité ;
- Le nombre de micro-arrêts enregistrés ;
- La durée totale des micro-arrêts.

Chapitre III : Conception et développement

L'écriture dans ce fichier Excel s'effectue juste au moment où il y a eu arrêt de fonctionnement.

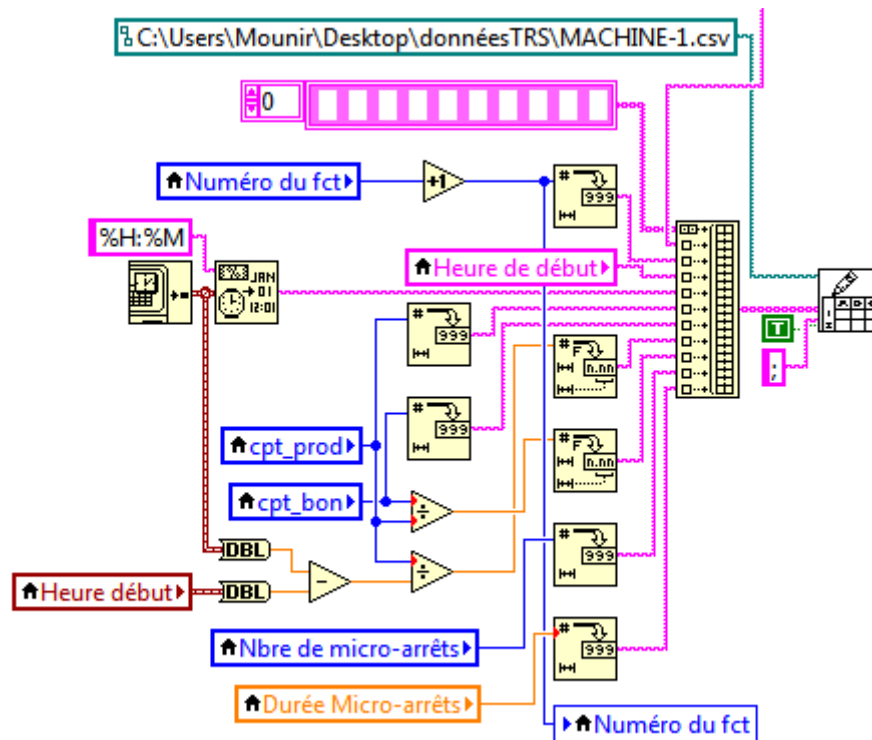


Figure III-24 : Enregistrement des données de chaque fonctionnement dans un fichier Excel

Le deuxième fichier est consacré aux valeurs finales des taux. A la fin de l'exercice (journée ou shift de production) la valeur du taux de rendement synthétique ainsi que les valeurs respectives de ses 3 composantes sont enregistrées, en format .csv, dans un fichier Excel.

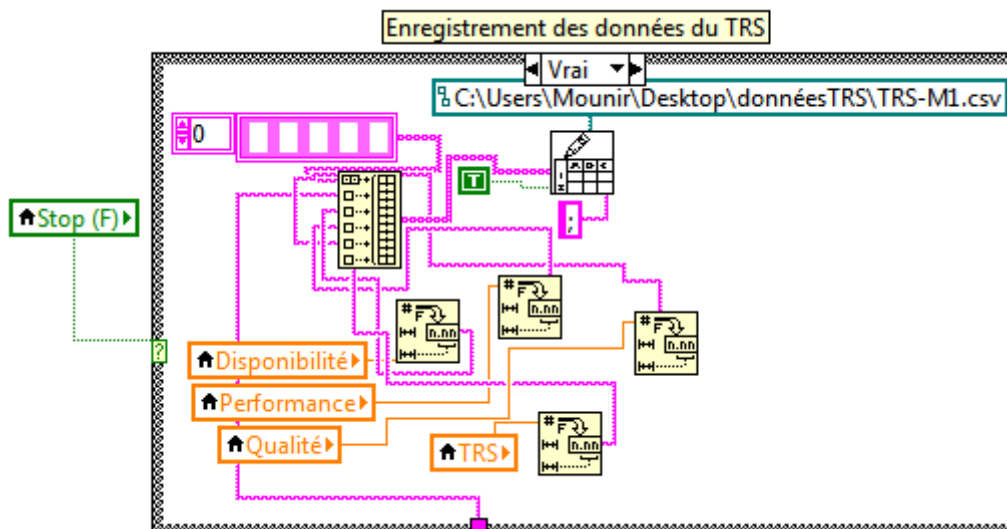


Figure III-25 : Enregistrement des données de la journée dans un fichier Excel

Chapitre III : Conception et développement

III.3.2 Présentation des résultats des mesures

La présentation des résultats des mesures se fait à travers deux tableaux de bord, un premier opérationnel et un second de gestion :

III.3.2.1 Le tableau de bord opérationnel

Le premier tableau de bord a été implémenté sur la face-avant du programme *LabVIEW* destiné aux mesures (Annexe I). L'image de sortie du VI Express *Vision Assistant* est affichée dans ce tableau de bord, ainsi que les différents indicateurs numériques et graphiques qui sont reliés en temps réel aux variables de mesures. Ces indicateurs consistent en un bouton « Marche/Arrêt » qui renseigne sur l'état actuel de la machine, une barre illustrant le séquençement des phases de marche et d'arrêt, et les informations relatives aux taux calculés. Ces informations sont représentées dans 3 pages (Figure III-26) :

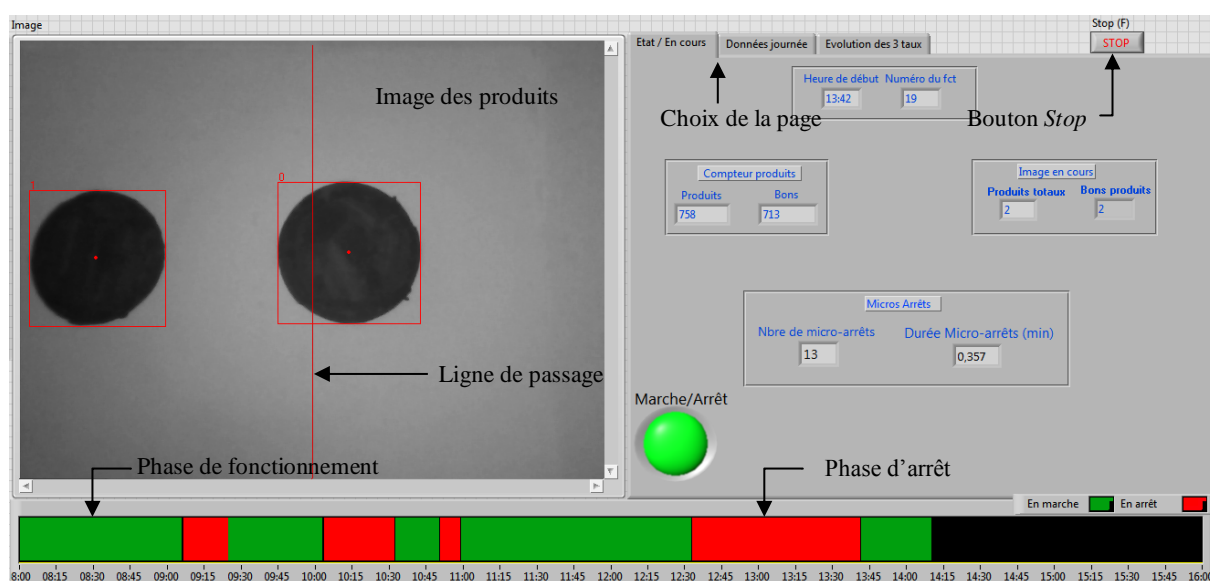


Figure III-26 : Représentation générale du tableau de bord opérationnel

- Une page « *En cours* » renseignant sur la dernière phase de fonctionnement enregistrée ;
- Une page « *Données journée* » où sont affichées les mesures jusqu'à ce stade de la journée ;
- Une page « *Evolution des 3 taux* » où sont représentés les graphes d'évolution des taux de disponibilité, de performance et de qualité.

III.3.2.1.1 La page « En cours »

Cette page renseigne sur la dernière phase de fonctionnement enregistrée, le numéro de ce fonctionnement ainsi que son heure de début, le nombre de produits réalisés et le nombre de bons produits, le nombre de micro-arrêts ainsi que leur durée totale pendant ce fonctionnement. Le nombre de produits présents dans l'image actuelle, ainsi que le nombre de bons produits dans celle-ci sont aussi affichés.

Chapitre III : Conception et développement



Figure III-27 : La page "En cours" du tableau de bord

III.3.2.1.2 La page « Données journée »

C'est dans cette page que sont affichées les valeurs du taux de disponibilité, du taux de performance et du taux de qualité, ainsi que le produit de ces trois taux, qui n'est autre que le taux de rendement synthétique (TRS). Ces valeurs sont représentées graphiquement par des jauges colorées, qui vont de 0% (rouge) à 100% (vert).



Figure III-28 : La page "Données journée" du tableau de bord

Chapitre III : Conception et développement

Dans cette page sont aussi affichés les compteurs de produits et de bons produits ainsi qu'une autre jauge représentant le temps de fonctionnement atteint à ce stade de la journée.

Par ailleurs, cette page contient une partie « *Configuration* » qui permet d'introduire les données théoriques concernant l'équipement, et qui sont nécessaires pour la mesure des différents taux. Ces données sont la cadence théorique de l'équipement, le volume horaire de la journée de production, et la durée totale des arrêts planifiés.

III.3.2.1.3 La page « Evolution des 3 taux »

La troisième page du tableau de bord opérationnel contient les graphes représentant l'évolution du TRS ainsi que des trois taux relatifs à celui-ci.

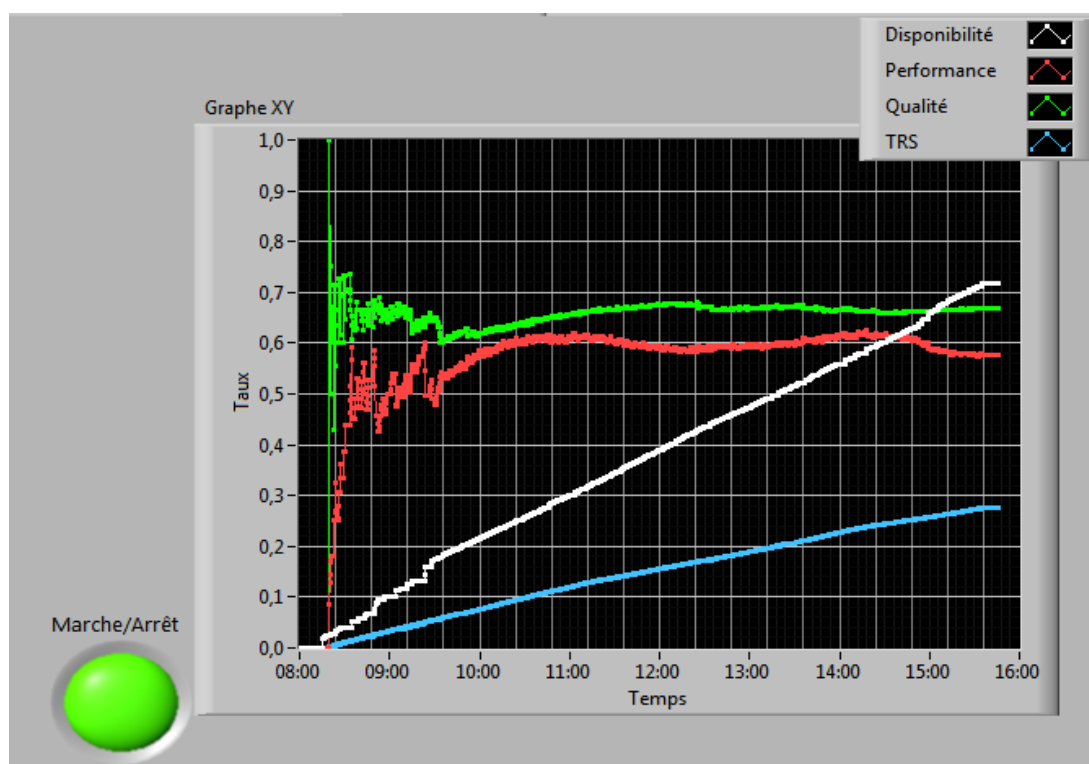


Figure III-29 : La page "Evolution des 3 taux" du tableau de bord

Les taux de performance et de qualité sont représentés dans ce graphe par leurs valeurs en temps réel, tandis que la valeur du taux de disponibilité représente la proportion de disponibilité atteinte par l'équipement par rapport au temps total requis pour la journée. De ce fait, le TRS représente aussi cette même proportion par rapport au TRS total de la journée.

Le bouton « *Stop* » présent dans la partie supérieure droite du tableau de bord (Figure III-26, p74) permet de mettre fin aux processus d'acquisition et de mesure, ce qui indique au programme la fin de la journée de production. Les valeurs finales des taux sont donc enregistrées dans le fichier *Excel*. Ces données seront traitées et présentées dans notre second tableau de bord.

Chapitre III : Conception et développement

	A	B	C	D	E
1	Date	Disp	Perf	Qua	TRS
2	28/05/2017	0,97281597	0,25158019	0,81448062	0,19933699
3	29/05/2017	0,93036492	0,25837875	0,66859742	0,16072181
4	30/05/2017	0,92983451	0,26322688	0,74480022	0,18229539
5	31/05/2017	0,64542401	0,26513104	0,80690072	0,13807842
6	01/06/2017	0,7810652	0,2681457	0,87116328	0,1824558
7	02/06/2017	0,65462053	0,27666601	0,6141073	0,11122174

Figure III-30 : Fichier au format .csv contenant les résultats de chaque journée de production

III.3.2.2 Le tableau de bord de gestion

Le second tableau a été développé en utilisant le logiciel *Excel 2016*. Les résultats de chaque journée de production en termes de TRS et de ses trois composantes ayant été enregistrés dans un fichier au format .csv depuis le programme *LabVIEW*, ils seront exportés vers un autre fichier au format .xls afin d'être traités dans des Tableaux Croisés Dynamiques (Annexe IV) et présentés à travers des Graphiques Croisés Dynamiques dans ce tableau de bord.

Ce tableau de bord est composé de deux parties (Figure III-31). La partie supérieure est consacrée à la représentation des valeurs enregistrées, dans leur ensemble, depuis le début des mesures. La partie inférieure permet de visualiser les taux dans

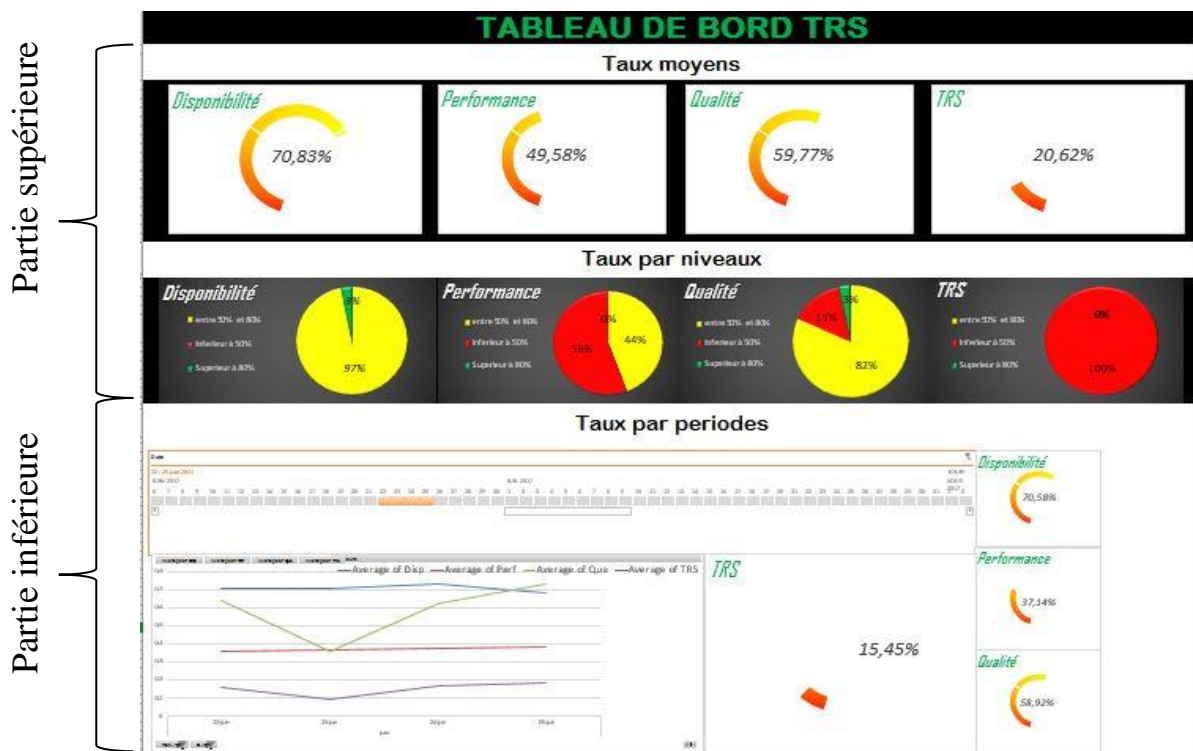


Figure III-31 : Présentation générale du tableau de bord

les périodes de temps voulues.

Chapitre III : Conception et développement

III.3.2.2.1 Partie supérieure du tableau de bord

Dans la partie supérieure du tableau de bord de gestion, les mesures des taux sont présentées dans leur ensemble, sur toute la période dans laquelle ont été effectuées les mesures. Deux visualisations sont proposées :

- Les taux moyens (Figure III-32) : Les valeurs moyennes respectives des taux de disponibilité, de performance, de qualité ainsi que celle du TRS sont représentées par des jauges colorées qui vont du rouge (0%) au vert (100%). Chaque valeur représente la moyenne de toutes les mesures effectuées pour chaque taux et qui

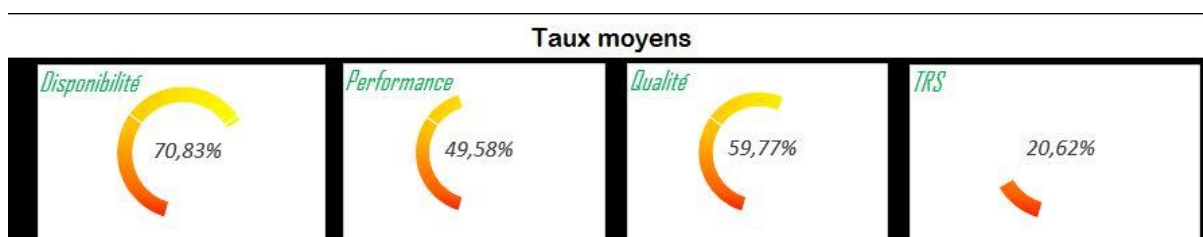


Figure III-32 : La moyenne du TRS et de ces composantes

sont enregistrées dans l'historique ;

- Taux par classe ou « par niveaux » (Figure III-33) : Les mesures effectuées pour chaque taux sont réparties selon 3 classes : La classe des taux entre 0% et 50% (en rouge), la classe des taux entre 50% et 80% (en jaune) et la classe des taux entre 80% et 100% (en vert).



Figure III-33 : Répartition du TRS et de ces composantes en classes

III.3.2.2.2 Partie inférieure du tableau de bord

Cette partie permet de visualiser les valeurs des taux en fonction de la période de temps sélectionné. L'utilisateur peut choisir des plages par jour, par mois, par trimestre ou par année afin de visualiser les données dans ces graphiques (Figure III-).

Chapitre III : Conception et développement

Taux par périodes

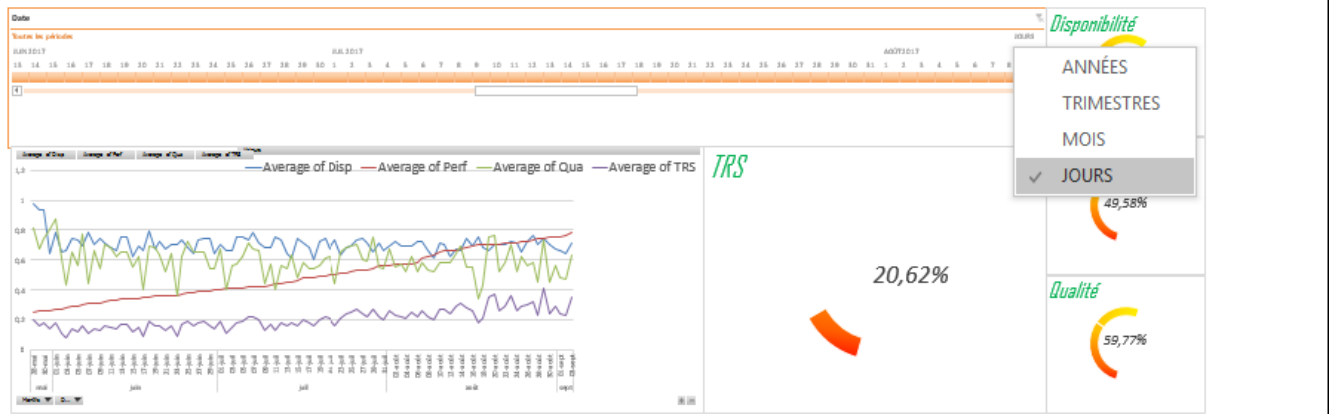


Figure III-34 : Représentation des mesures par périodes de temps

Une fois la période de temps à étudier choisie, la courbe affiche l'évolution des valeurs du TRS et de chacune de ses composantes durant cette période, ainsi que la valeur moyenne de chaque taux pour chaque période. La Figure III- et la Figure III-34 représentent les graphes d'évolutions ainsi que les valeurs moyennes de ces taux respectivement pour les 25 derniers jours et pour les deux derniers mois.

Taux par périodes

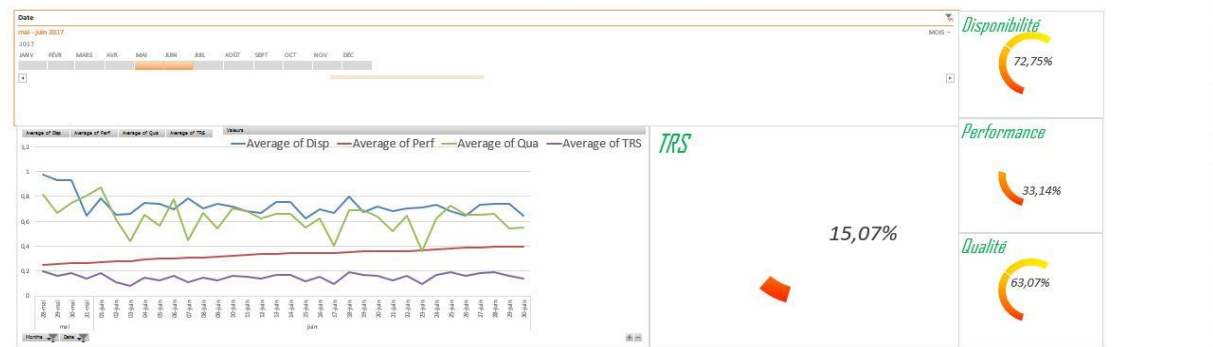


Figure III-35 : Graphes d'évolution et valeurs moyennes des taux de mai à juin

Taux par périodes

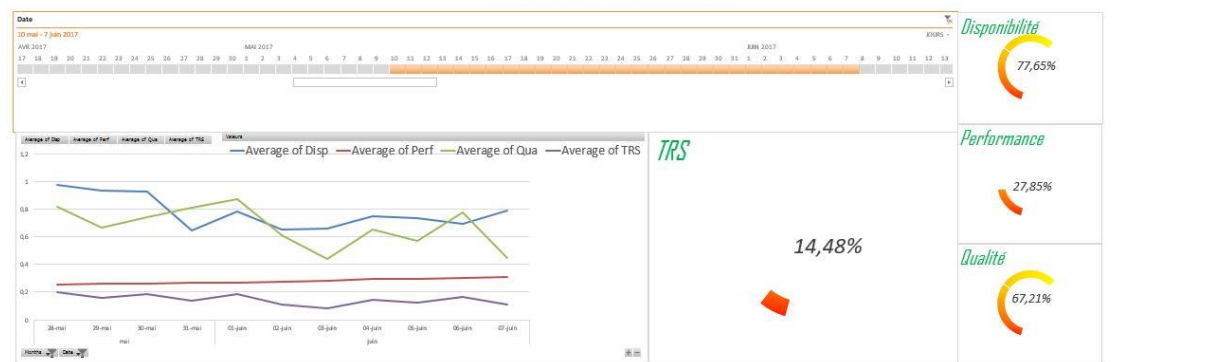


Figure III-34 : Graphes d'évolution et valeurs moyennes des taux du 10 mai au 7 juin

Chapitre III : Conception et développement

III.4 Simulations et tests

Le prototype réalisé a été testé par des simulations de petites durées (de 5 à 10 minutes), afin de simuler les différents scénarios potentiels.

Les données relatives au fonctionnement idéal de l'équipement ont été fixées à de petites valeurs permettant d'observer le comportement du système :

- Un temps total de travail de 20 min, et une durée totale des arrêts planifiés de 15 min, ce qui nous donne un temps requis de 5min ;
- Une cadence théorique de 30 produits par minute.

Une image représentant un objet circulaire bleu (Figure III-35), a été introduite comme référence de produit conforme à la fonction « *Pattern Matching* ».



Figure III-35 : Image référence de produit conforme

Le programme a ensuite été lancé, et des représentations d'objets de différentes formes et dimensions (Figure III-36) dont des représentations de notre produit conforme ont été passées à travers le plan de la caméra, nous avons tenté de faire varier les paramètres de passage des objets afin de visualiser le comportement de notre système.

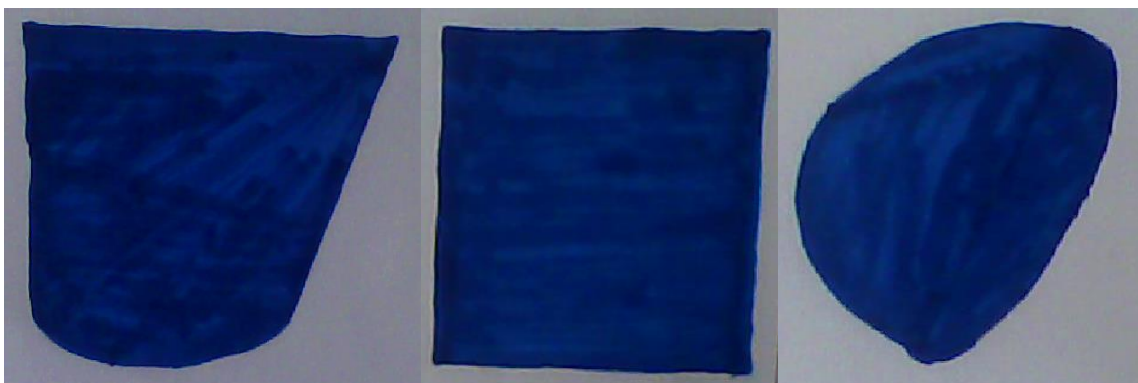


Figure III-36 : Forme des présentes dans l'image acquise

Chapitre III : Conception et développement

III.4.1 Résultats de la simulation

Voici les résultats de la simulation réalisée. Nous ne présenterons que les résultats que nous avons pu quantifier et/ou comparer aux données et comportement réels.

III.4.1.1 Le comptage des objets

87 représentations d'objets dont 63 représentant notre produit conforme ont été passées sur le plan de la caméra, Le Tableau III-1 montre les écarts de comptage constatés.

	Nombre réel	Comptage réalisé
Tous les produits	87	99
Bons produits	63	60

Tableau III-1 : Ecart de comptages enregistrés

Sur les 63 bons produits qui ont défilé devant la caméra, 60 (soit 95%) ont été comptabilisés. Quant au nombre total de produits, 87 produits sont passés, mais le compteur a enregistré le passage de 12 (soit 14%) produits de plus.

L'écart dans le comptage revient dans sa totalité à la qualité de l'image acquise et à celle du traitement effectué. Le comptage des 12 produits en plus est dû à des interférences et bruits présents dans certaines images et provoquant la détection de nouveaux produits.

III.4.1.2 La barre Marche/Arrêt

La barre marche arrêt a donné comme résultat un séquençage de très petites phases de fonctionnement et d'arrêt (entre 1 et 10 secondes) comme le montre la Figure III-37. Ceci revient encore une fois à la qualité de l'image qui renvoie des coordonnées de produits pas fiables, mais aussi au fait que le passage des objets s'effectuait à la main, à vitesse variable, ce qui a causé un grand nombre de micro-arrêts.

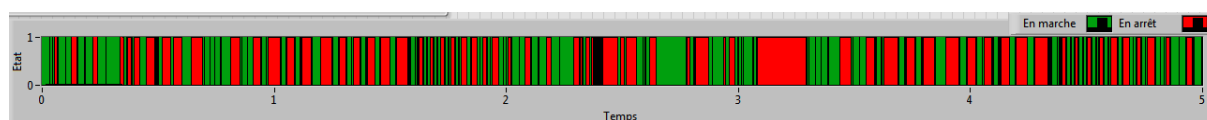


Figure III-37 : Résultat de la barre Marche/Arrêt

III.4.1.3 Les graphes d'évolution

Les graphes ont affiché les valeurs requises (Figure III-38). Les graphes de qualité et de performance ont illustré l'évolution de ces taux en temps réel. Les graphes de disponibilité et du TRS ont bien illustré aussi la proportion atteinte pour ces taux à chaque instant de la simulation.

Chapitre III : Conception et développement

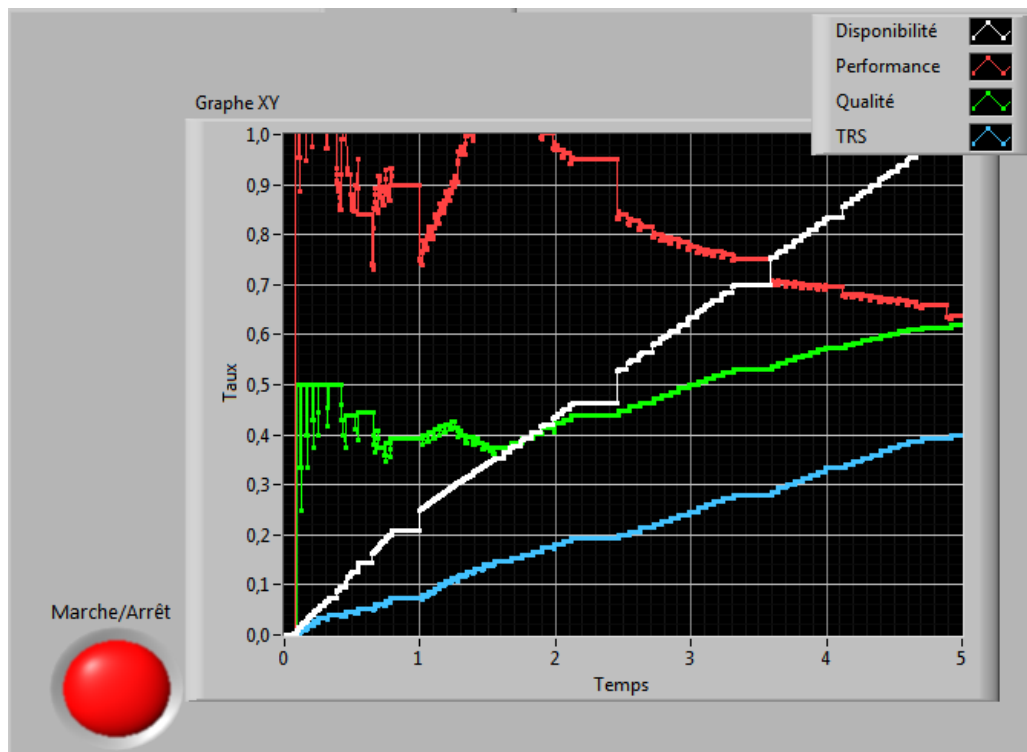


Figure III-38 : Résultats des graphes d'évolution

III.4.1.4 Les valeurs finales des taux

Les valeurs finales présentées pour chaque taux (Figure III-39) sont justes et ont été vérifiées par les calculs. Notons que la valeur du taux de disponibilité a atteint 1,0953 et a donc dépassé les 100%. Ceci revient au fait que le temps de fonctionnement lors de la simulation a atteint 5,48 minutes et a dépassé donc le temps requis qui était de 5 minutes.

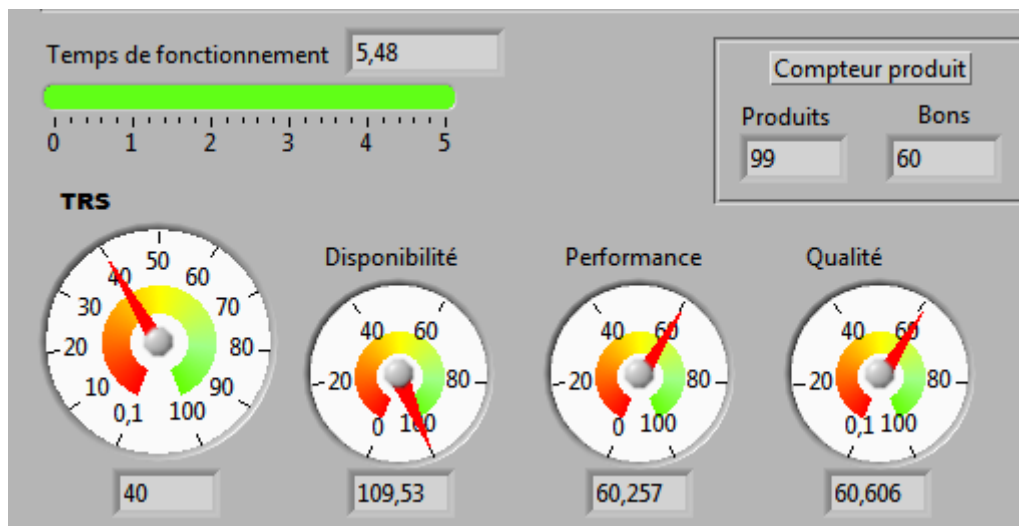


Figure III-39 : Valeurs finales des 3 taux

III.4.1.5 L'enregistrement des données dans un fichier Excel

L'enregistrement des valeurs du TRS et de ses composantes, après avoir appuyé sur le bouton Stop sur LabVIEW, a bien été réalisé (Figure III-40). Cet enregistrement permettra

Chapitre III : Conception et développement

d'introduire les données de cette journée dans l'historique de la machine afin de la présenter dans le tableau de bord de gestion.

	A	B	C	D	E
1	Date	Disp	Perf	Qua	TRS
164	10/06/2017	1,0953	0,60257	0,60606	0,4

Figure III-40 : Enregistrement des résultats dans le fichier Excel

Les simulations effectuées sont très importantes dans le processus de validation du prototype, elles doivent être complétées par des tests réalisés dans de réelles conditions industrielles.

III.4.2 Test du système en milieu industriel

Une phase de test était prévue dans le projet, au sein de l'unité de production de l'entreprise Simpex Afric, spécialisée dans la production et la commercialisation de produits agroalimentaires.

III.4.2.1 Présentation de l'entreprise

Simpex Afric est une société à responsabilité limitée (SARL) algérienne, fondée en 1993. Elle possède un Capital Social de 100 000 000 DA, et son siège social, ainsi que son unité de production, se situent à la zone industrielle de Rouiba.

III.4.2.2 Sa gamme de produits

Spécialisée à l'origine dans la production de steaks hachés surgelés sous la marque Koft, l'entreprise a décidé d'étendre son marché en lançant de nouveaux produits. Sa gamme de produits comprend aujourd'hui :

III.4.2.2.1 La gamme « Koft » de viandes

- Steaks hachés ;
- Burgers 85g et 45g ;
- Burgers à l'oignon ;
- Burgers Moelleux ;
- Viande hachée ;
- Boulettes de bœuf ;
- Saucisses de bœuf.

III.4.2.2.2 La gamme « Sélection » de viandes

- L'escalope Milanaise ;
- Le steak haché ;
- Les boulettes de bœuf.

III.4.2.2.3 La gamme « Joubni » de fromages

- Le fondu à tartiner 500g et 2,5kg ;
- Le fondu à l'ail et fines herbes ;
- Le spécial à pizza.

Chapitre III : Conception et développement

III.4.2.2.4 La gamme « Elvi » de sauces

- La sauce mayonnaise à la moutarde de Dijon et l'huile de tournesol ;
- La sauce mayonnaise allégée en matières grasses ;
- La sauce tartare ;
- La sauce algérienne.

III.4.2.2.5 La gamme « Suprême » de charcuterie

- Le blanc de poulet fumé ;
- Le Luncheon ;
- Le bœuf fumé ;
- Le corned beef ;

Il a été convenu avec la Direction de l'entreprise Simpex Afric que les tests de notre prototype allaient s'effectuer sur la ligne de production du Burger 45g, car des pertes importantes et inexplicables étaient enregistrées sur ce process. Nous avons donc procédé à l'analyse de ce processus afin de déterminer les valeurs théoriques du temps requis et de la cadence de ces machines.

III.4.2.3 Le process du Burger 45g

Le burger 45g est composé d'un mélange de viande et d'arômes. La viande est sortie du stock sous forme de blocks congelés d'environ 22kg. Elle est hachée dans un premier hachoir, et pesée dans une balance électronique avant d'être introduite dans un hachoir-mélangeur, où elle est mélangée aux arômes et hachée une seconde fois. Le mélange est transporté dans des bacs vers la formeuse, qui découpe le mélange en parts de burger. Un convoyeur fait passer les parts formées vers un surgélateur, puis vers zone de contrôle où elles sont contrôlées par des opérateurs. Un autre convoyeur les transporte vers l'ensacheuse où elles sont mises sous un premier emballage. Elles passent ensuite par un détecteur de métaux (contrôle de qualité) via convoyeur avant de sortir de la zone de production et sont mises en carton.

III.4.2.3.1 Cartographie des flux du process

La Figure III-41 représente les flux physiques et informationnels au sein de la ligne de production du Burger 45g.

Chapitre III : Conception et développement

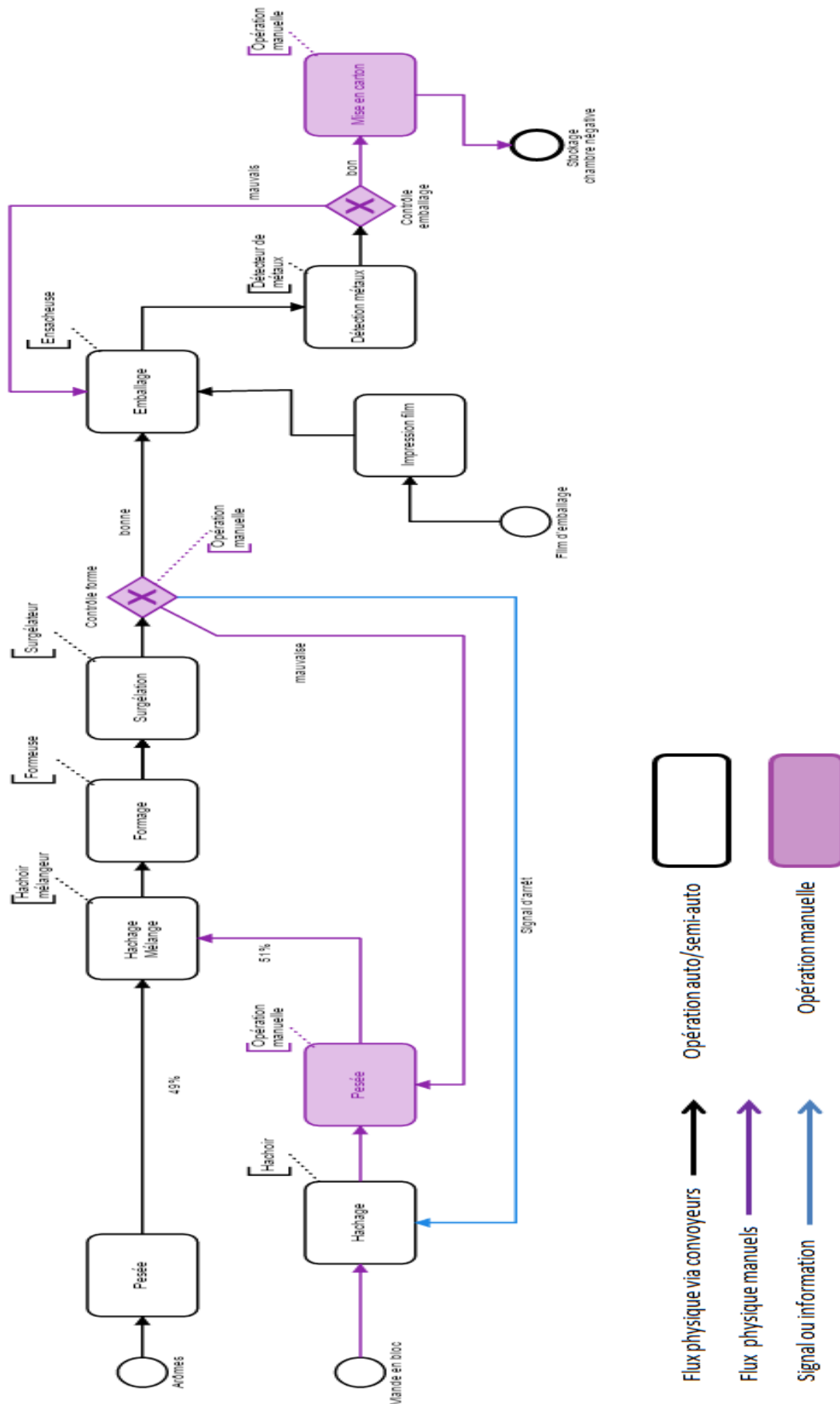


Figure III-41 : Cartographie des flux du process Burger 45g

Chapitre III : Conception et développement

Nous avons prévu d'effectuer les tests sur deux machines : la formeuse et l'ensacheuse. Pour ce faire, nous avons récolté les informations nécessaires pour effectuer ces tests ; à savoir les données théoriques concernant le temps requis, et les cadences de ces machines, ainsi que les autres machines de la ligne de production.

III.4.2.3.1.1 Le temps requis

La production au sein de l'unité de production, et notamment pour la ligne de production du burger 45g, est organisée par lot, selon le shift de production, le premier de 8h à 16h, le second de 16h à 22h. Une troisième équipe de nuit est destinée au nettoyage et à la maintenance. La préparation des équipements est effectuée à partir de 6h30, pour que la ligne de production soit opérationnelle à 8h. Nous avons travaillé sur le premier shift de la journée. Pour celui-ci, seul un arrêt journalier est planifié. Il s'agit de la pause de 30 min pour le déjeuner prévu entre 12h et 13h.

Le temps requis pour chaque équipement est donc de 7h30min, soit 450 minutes de travail pour le premier shift.

III.4.2.3.1.2 Les cadences théoriques

Pour estimer les cadences théoriques des machines, nous avons procédé au chronométrage des flux à la sortie des machines, qui selon le personnel de l'unité de production, étaient en train de fonctionner dans leur état normal.

Pour chaque machine, le débit a été estimé en effectuant à chaque fois 3 chronométrages et en calculant leur moyenne. Le Tableau III-2 présente les résultats des chronométrages effectués. Pour l'ensacheuse, le débit est réglable automatiquement. Sa valeur maximale étant de 120 emballages par minute. Toutes les mesures ont été rapportées à l'unité (pièces de burger par minute).

Équipement	Hachoir	Hachoir-mélangeur	Formeuse	Surgélateur	Ensacheuse	Détecteur de métaux
Cadence (pièces/minute)	396,4	2051,3	203	203	240	240

Tableau III-2 : Cadences des équipements de la ligne burger 45g

Notons que le surgélateur et le détecteur de métaux conservent les mêmes débits que les équipements qui les précèdent dans la ligne, car ils effectuent leurs tâches respectives directement sur les convoyeurs. Les valeurs enregistrées expliquent quelques phénomènes que nous avons constatés lors des mesures, comme le stock tampon important de viande hachée qui se formait à l'entrée de la formeuse, et l'arrêt de l'ensacheuse et du détecteur de métaux car ils n'étaient plus alimentés en produits.

III.4.2.3.2 Résultats du test

Malheureusement, nous n'avons pas pu effectuer de test de notre solution en situation industrielle, car l'entreprise a interrompu ses activités de production de burgers pour le mois de juin. Il est prévu que l'équipe d'AITech procède à ces tests en juillet.

Chapitre III : Conception et développement

III.5 Discussion du système élaboré

Le but de ce projet était la conception et le développement d'un système de vision industrielle pour mesurer le TRS. Les étapes de conception et de développement ont permis d'élaborer un prototype qui permet d'assurer cette fonction. Notre système réussit à acquérir les données de production à l'aide d'un capteur de vision, d'effectuer les mesures de temps, et de comptage de produits pour calculer le TRS et ses composantes, et enfin de communiquer les résultats des mesures effectuées. Cependant, le système présente quelques limites que nous avons recensées :

Le contrôle qualité : La reconnaissance d'objets est assurée par notre système, mais le contrôle qualité effectué montre un manque d'efficacité. En effet la fonction « *Pattern Matching* » permet de distinguer entre les produits de manière assez grossière (distinguer le vert du bleu, un objet circulaire d'un autre rectangulaire...).

Pour assurer la fiabilité et l'opérationnalité du système, il faudrait inclure des critères plus précis pour juger de la conformité ou non des produits, à savoir les dimensions, les nuances de couleurs, l'état de surface...etc.

La mesure du taux de disponibilité : Notre système tel qu'il a été conçu permet de communiquer les valeurs des taux de performance et de qualité en temps réel, tandis que pour le taux de disponibilité, il donne une mesure de ce taux qui est proportionnelle à l'heure à laquelle est effectuée la mesure. En effet, à chaque instant, il divise le temps de fonctionnement par le temps total requis pour la journée, et ne donne donc la valeur effective du taux de disponibilité qu'en fin de journée. Le TRS, qui est le résultat du produit de ce taux avec les deux autres, connaîtra le même phénomène.

Pour remédier à ce problème, notre système doit connaître le planning exact des arrêts planifiés et non la somme des durées de ces arrêts seulement. L'algorithme de calcul pourra dans ce cas-là diviser le temps de fonctionnement par le temps requis propre à l'instant où est effectuée la mesure. Il donnera alors la valeur effective et plus significative du taux de disponibilité, et donc du TRS.

L'enregistrement dans le fichier *Excel* : A la fin de chaque exercice journalier, le programme de calcul enregistre les données finales dans un fichier *Excel* en format .csv. Cet enregistrement s'effectue bien, sauf que parfois, le programme laisse des lignes vides et va écrire dans les lignes inférieures. Ce bug n'affecte aucunement le fonctionnement du système, mais la question doit trouver réponse.

Ces dysfonctionnements sont les plus importants qui ont été constatés lors de la simulation. Les étapes de conception et de développement doivent être revues afin d'améliorer la solution.

III.6 Conclusion

Nous avons présenté à travers ce chapitre, la partie pratique du projet, qui consistait en la conception et le développement du système de vision industrielle pour le calcul du TRS. Nous avons, en premier lieu, fixé les objectifs de notre système, et ce en déterminant la cible

Chapitre III : Conception et développement

qu'il visait et son principe de fonctionnement. Les moyens logiciels et matériels requis pour la réalisation ont aussi été déterminés.

Nous avons ensuite entamé la phase de conception de notre système, en nous focalisant sur ses deux fonctions principales qui avait été déterminé dans le premier chapitre et qui sont la mesure du TRS, et la communication des résultats des mesures. Nous avons mis au point l'acquisition et le traitement de l'image qui représentaient les étapes de collecte des données depuis la ligne de production. L'algorithme de mesure du TRS a ensuite été conçu, en distinguant ses 3 composantes, à savoir les taux de disponibilité, de performance et de qualité.

Enfin, deux tableaux de bord pour la présentation des mesures ont été proposés : l'un destiné au personnel de l'atelier de production, l'autre à la direction et aux managers. La phase de développement a ensuite été présentée, où l'implémentation de notre système à travers les différents moyens matériels et logiciels a été expliquée. Une étape de simulation a enfin été réalisée. Elle a permis d'identifier quelques dysfonctionnements qui ont été discutés par la suite.

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'entreprise AITech avait senti le besoin de diversifier son portefeuille de produit en voulant pénétrer un nouveau marché, celui de l'industrie agroalimentaire. Dans ce contexte, notre projet avait pour vocation l'élargissement du portefeuille technologique de l'entreprise AITech grâce au développement d'une solution pour l'automatisation du calcul du TRS des lignes de production. Cette solution sera ensuite adaptée pour prendre la forme d'un produit commercialisable.

Notre problématique était de pouvoir trouver une solution réalisable pour construire notre système. En premier lieu, une analyse du besoin a été établie pour modéliser notre système et le décrire sous forme d'un ensemble de fonctions. Après avoir exprimé et validé le besoin, nous avons pu définir le besoin de notre système. Nous avons pu valider les fonctions du système grâce au diagramme de la pieuvre.

Le besoin crucial était de pouvoir récupérer des données depuis des machines automatiquement et en temps réel.

Un processus de veille technologique a été nécessaire pour identifier les solutions pertinentes pour la mise en place de notre système. Nous avons pu déterminer trois solutions possibles :

- Récupération des données directement depuis les automates de la machine ;
- Utilisation de capteurs à infrarouge passif ;
- Technologie basée sur la vision industrielle ;

Dans la seconde partie, nous avons retenu la technologie basée sur les caméras. Nous avons ensuite établi un état de l'art sur les notions théoriques autour du concept de MES et la Total Productive Maintenance dont fait partie le TRS pour comprendre son calcul et son impact sur la performance. Cette partie nous a permis de comprendre les attentes relatives au volet Software de la solution à développer. Nous avons également fait le point sur la vision industrielle pour comprendre les principes d'analyse et de traitement d'image et préparer l'élaboration du volet hardware de la solution. Enfin, nous avons effectué un point sur les tableaux de bords pour savoir présenter les résultats aux décideurs opérationnels et stratégiques.

La conception de la solution nous a permis de tracer un chemin à suivre pour le développement de celle-ci. Le développement a été fait sur le logiciel LabVIEW. Cela a préalablement requis la maîtrise de son langage de programmation et de son environnement de fonctionnement. La maîtrise du logiciel LabVIEW nous a conduits à sélectionner les fonctions les plus adaptées pour le comptage des produits, pour le calcul du TRS et de ses trois composantes et pour le stockage des données. Ces étapes ont été établies avec succès.

Mais, il reste que la partie la plus intéressante pour une entreprise désirant utiliser notre solution, est la présentation des résultats des mesures sous forme utile. Nous avons atteint cet objectif à travers la construction de deux tableaux de bords : l'un opérationnel pour avoir des informations en temps réel sur l'état de l'équipement et sur les résultats des mesures en progression dans la journée pour avoir une meilleure vue sur les activités de production, qui est adapté aux membres de l'unité de production. Le second tableau de bord de gestion, qui

Conclusion Générale

met à disposition les informations nécessaires à l'observation de l'évolution des performances de production suivant les périodes désirées, est adapté aux managers. Les deux tableaux de bords permettent de faciliter la prise de décision par les acteurs de l'entreprise. Nous obtenons au final un prototype fonctionnel qui peut répondre aux besoins identifiés par l'analyse du besoin.

De ce fait, notre apport a consisté à l'élaboration d'une solution technologique qui répond parfaitement aux attentes de l'entreprise AITech. Notre solution a été validée par le chef de projet au sein d'AITech, docteur-ingénieur en Automatique/Electronique. Elle représente d'une part, un avancement considérable au projet de R&D "Smart TRS" d'AITech, et d'autre part, un accroissement significatif des ressources technologiques de l'entreprise. Il faut souligner que cette solution reste aussi configurable pour tout type d'industrie et non seulement l'industrie agroalimentaire.

Ce projet nous a permis de développer nos compétences de programmation sous le logiciel LabVIEW, ainsi que nos connaissances théoriques sur la vision industrielle, la TPM et le TRS, et les MES à travers l'étude de l'état de l'art, indispensable au projet.

Nous avons pu prendre conscience de l'impact que pourrait avoir un indicateur de performance clé (TRS) dans une industrie. Nous avons également pu prendre connaissance de l'environnement de travail dans un projet R&D, de ses enjeux, de ses défis, et de ses apports pour une jeune entreprise.

Il est important d'évoquer le fait que notre solution est ouverte à plusieurs améliorations et modifications pour s'adapter à différents environnements et différents besoins. Nous pouvons citer plusieurs axes d'amélioration :

- Développement plus approfondie de l'analyse des causes des arrêts à travers une intégration d'une base de données ;
- Sélection d'un matériel de haute qualité industrielle pour la détection des objets, à savoir caméra, câblage et micro-ordinateur ;
- Pallier au manque de fiabilité du système quant à l'estimation de la qualité des produits, en mettant en place plusieurs caméras, ou des caméras 3D qui permettraient d'estimer toutes les caractéristiques concernant la couleur, les dimensions ou l'état de surface des produits ;
- Intégration des outils statistiques pour la prévision du TRS ;
- Intégration à un MES plus complet.

AITech saura mettre à profit les résultats obtenus et continuer le développement de la solution en vue de son industrialisation.

Bibliographie

- Bufferne, J. (2006). *Le guide de la TPM*. Paris: Groupe Eyrolles.
- Anand, R. (2010). *"Monitor and Optimize Machine Efficiency with OEE Dashboards"*. SAE Technical Paper.
- COURTOIS, A., PILLET, M., & MARTIN-BONNEFOUS, C. (2006). *Gestoin de production,, 4e édition*. Groupe Eyrolles.
- Figge, F., Hahn, T., Schaltegger, S., & Wagner, M. (2002). *THE SUSTAINABILITY BALANCED SCORECARD – LINKING SUSTAINABILITY MANAGEMENT TO BUSINESS STRATEGY*. Lüneburg, Germany: Wiley InterScience.
- Ugarte, B. S., Artibab, A., & Pellerina, R. (2009). *Manufacturing execution system – a literature review*. Production Planning & Control: The Management of Operations.
- VANDENBROUCKE, N. (2015). *Système de vision*. Techniques de l'ingénieur.
- Yannou, B. (1997). *Analyse Fonctionnelle et Analyse de la Valeur*. École Centrale Paris.
- Yannou, B. (1997). *Valeur, Analyse Fonctionnelle et Analyse de la*. École Centrale Paris.
- Gastellu-Etchegorry, J. (2008, Avril). *ACQUISITION ET TRAITEMENT D'IMAGE NUMERIQUE*. Toulouse: Université Paul Sabatier, IUT - Département de Mesures Physiques.
- Kletti, J. (2007). *Manufacturing Execution Systems - MES*. Berlin: Springer.
- SITAYEB, F. B. (2005). *Contribution à l'étude de la performance et de la robustesse des ordonnancements conjoints Production/Maintenance - Cas du Flowshop*. Université de Franche.
- Stamatis, D. (2010). *The OEE Primer*. New York: Productivity Press.

Autres références

- AKDENIZ, O. (2017, Février 25). *Leçon 5 : TRS et performance : pas aussi simple qu'il n'y parait*. Retrieved from Logiciel MES - suivi de performance - SCADA: <http://www.ordinal.fr/fr/mes-10-lecons-videos/lecon-5-trs-et-performance-pas-aussi-simple-quil-ny-parait.htm>
- Christian.Hohmann. (2017, Avril 8). *TRS Indicateur Clé*. Retrieved Mai 1, 2017, from <http://christian.hohmann.free.fr>: <http://christian.hohmann.free.fr/index.php/lean-entreprise/la-boite-a-outils-lean/60-trs-indicateur-cle>
- CLERMONT, T. (2016, Novembre 4). *Le tableau de bord de gestion*. Retrieved from La référence en comptabilité et gestion financière: <https://www.compta-facile.com/tableau-de-bord-de-gestion/>

- CLERMONT, T. (2016, Octobre 15). *Le tableau de bord prospectif*. Retrieved from La référence en comptabilité et gestion financière: <https://www.compta-facile.com/tableau-de-bord-prospectif-balanced-scorecard/>
- E.Cherif. (2015, Décembre). Le marché des industries alimentaires en Algérie. *Agroligne*.
- Facon, P. (n.d.). *Tableau de bord, un outil de gestion très utile*. Retrieved Janvier 1, 2017, from <http://www.compta-facile.com>
- Fiche pays Algérie - Le Moci*. (2016). Retrieved from Le Moci - Le Moniteur du Commerce International: <http://www.lemoci.com/fiche-pays/algerie/indicateurs/>
- Fontaine, C.-O. (2009, Novembre 30). *Dashboards et scorecards, les différences*. Retrieved from <http://www.decideo.fr>: http://www.decideo.fr/cofontaine/Dashboards-et-Scorecards-les-differences_a28.html
- MESA. (n.d.). *MESA International - About MESA*. Retrieved Avril 30, 2017, from MESA International: <http://www.mesa.org/en/aboutus/aboutmesa.asp>
- Ministère de l'Industrie et de la Promotions des Investissements Direction Générale de l'Intelligence Economique, d. E. (2010, Février). *Ergonomie des tableaux de bords*. Retrieved novembre 1, 2016, from www.mdipi.gov.dz: www.mdipi.gov.dz/IMG/pdf/Ergonomie_des_tableau
- National Instrument Corporation. (2007, Août). LabVIEW. *Principes de base de LabVIEW*.
- National Instruments Corporation. (2005, Novembre). NI Vision for LabVIEW. *NI Vision for LabVIEW User Manual*.
- Produits alimentaires : Hausse de la facture d'importation sur les 4 premiers mois 2017*. (2017, Juin 07). Retrieved from Algérie Presse Service: <http://www.aps.dz/economie/58621-produits-alimentaires-hausse-de-la-facture-d-importation-sur-les-4-premiers-mois-2017>
- UBIFRANCE, M. E. (2009, Octobre 12). La filière agroalimentaire en Algérie. Alger.

Annexes

Annexe I : Présentation du logiciel *LabVIEW*

LabVIEW (contraction de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) est un environnement de développement en informatique industrielle et scientifique, destiné aux scientifiques et ingénieurs, mis au point par la société américaine National Instrument.

La programmation sur LabVIEW est basée sur un langage graphique appelé langage G, qui utilise des icônes qui représentent à la fois les variables du programme, ainsi que les fonctions qui vont réaliser des actions sur ces variables. Contrairement aux langages de programmation textuels où ce sont les instructions qui déterminent l'ordre d'exécution du programme, LabVIEW utilise la programmation par flux de données ; c'est le flux des données transitant par les nœuds sur le diagramme qui détermine l'ordre d'exécution des fonctions (National Instrument Corporation, 2007).

LabVIEW offre différentes fonctionnalités de test, de mesure et de contrôle/commande dans le domaine de l'engineering.

Principe de Fonctionnement :

Les programmes LabVIEW sont appelés instruments virtuels ou VIs, car leur apparence et leur fonctionnement imitent ceux d'instruments réels. Chaque VI utilise des fonctions qui manipulent les entrées de l'interface utilisateur ou d'autres sources et qui affichent ces informations ou les déplacent vers d'autres fichiers ou ordinateurs. Un VI contient les trois composantes suivantes (National Instrument Corporation, 2007) :

- La face-avant : Elle sert d'interface utilisateur ;
- Le diagramme : Contient le code source graphique qui définit les fonctionnalités du VI ;
- Icône et connecteur : C'est l'identifiant de l'interface au VI qui permet d'utiliser celui-ci dans un autre VI, il devient dans ce cas-là un sous-VI.

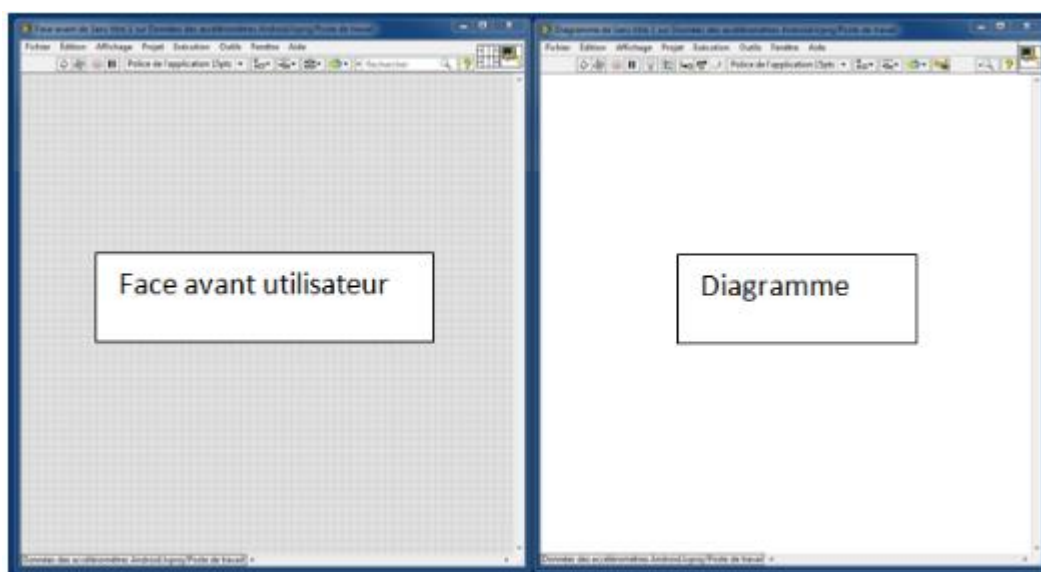


Figure 0-1 : Environnement LabVIEW (face-avant et diagramme)

Une des fonctionnalités qu'offre *LabVIEW* est le développement de systèmes de vision industrielle, à travers sa bibliothèque *NI Vision for LabVIEW*.

Annexe II : La bibliothèque NI Vision for LabVIEW

NI Vision for LabVIEW, élément du module *NI Vision Development*, est une bibliothèque de *LabVIEW* qui permet de développer des applications de vision industrielle et de traitement d'image. (National Instruments Corporation, 2005).

Cette bibliothèque offre une palette contenant un grand nombre de fonctions de vision permettant de développer toutes les étapes de la vision industrielle :

- L'acquisition et l'affichage de l'image ;
- Le traitement de l'image ;
- L'analyse de l'image : détection d'objets, mesure de dimensions, reconnaissance de couleur...
- Le renvoi des résultats : rapports numériques, instructions...

Cette bibliothèque offre aussi deux fonctions « Express » qui sont la fonction *Vision Acquisition* permettant de régler l'acquisition de l'image depuis une source externe (fichiers photo ou vidéo, caméra...), et la fonction *Vision Assistant* qui permet de développer un algorithme de traitement d'image sur le logiciel *NI Vision Assistant* et de l'introduire en tant que sous-VI de son VI *LabVIEW*.

Annexe III : Le logiciel Microsoft Excel

Microsoft Excel est un logiciel tableur de la suite bureautique Microsoft Office, développée et distribuée par l'éditeur Microsoft. Le logiciel Excel intègre des fonctions de calcul numérique, de représentation graphique, d'analyse de données et de programmation, laquelle utilise les macros écrites dans le langage VBA (Visual Basic for Applications) qui est commun aux autres logiciels de Microsoft Office.

Chaque fichier Excel correspond à un classeur, lequel contient des feuilles de calculs organisées. Chaque feuille correspond à un tableau de lignes et de colonnes, leur croisement sont appelées cellules, pouvant contenir des valeurs (numériques ou non) ainsi que des formules permettant les calculs. Il est possible de faire calculer beaucoup de choses à Excel en tapant des formules dans la cellule (Addition, somme, moyenne, ...). Et grâce à la bonne organisation des données enregistrées, Excel constitue un bon outil pour le stockage des données courantes pour la gestion quotidienne de l'entreprise.

L'une des forces d'Excel est l'intégration des tableaux croisés dynamiques. Un tableau croisé dynamique est une fonctionnalité de certains tableurs qui permet de générer une synthèse d'une table de données brutes. Le " TCD " permet de regrouper des données selon

une ou plusieurs de ses propres catégories (colonnes ou champs) et faire les opérations nécessaires entre les montants correspondants (sommés, moyennes, comptages, etc.) Le « TCD » peut donc créer des mises en forme de tableaux en répartissant les différents champs voulus, en abscisses ou en ordonnées. Les TCD peuvent être représentés comme des tableaux de bords.

Annexe IV : Création des Tableaux Croisés Dynamiques

Création de la connexion

La connexion est créée vers le fichier .csv contenant les données TRS, à partir du fichier .xls qui contiendra le tableau de bord :

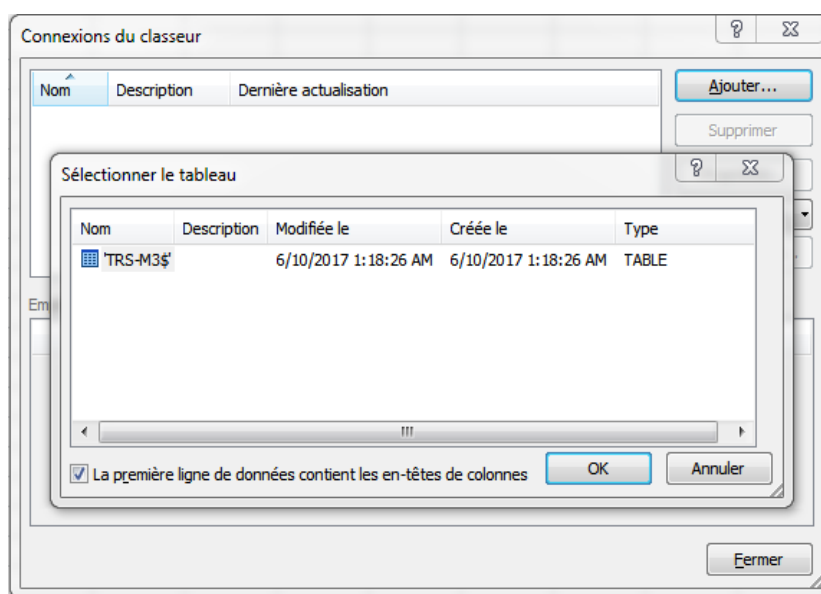


Figure 0-2 : Création de la connexion entre de fichier Excel

Importation des données

Les données contenues dans le fichier .csv sont ensuite importées au nouveau fichier .xls :

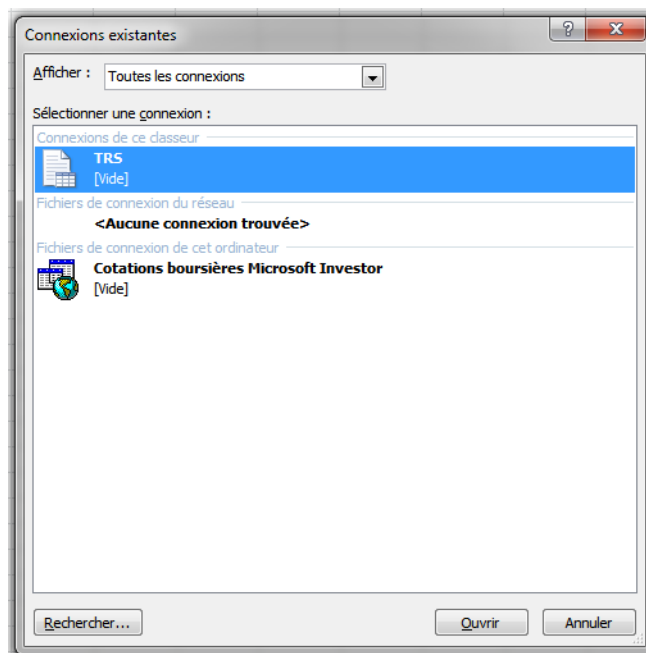


Figure 0-3 : Importation des données depuis le fichier source

Les données sont transférées vers le fichier .xls et sont affichées sous forme de tableau :

Date	Disp	Perf	Qua	TRS
28/05/2017	0,972815972	0,251580194	0,814480617	0,199336989
29/05/2017	0,930364917	0,258378751	0,668597423	0,160721811
30/05/2017	0,92983451	0,26322688	0,744800218	0,182295392
31/05/2017	0,645424012	0,265131039	0,806900724	0,138078416
01/06/2017	0,781065195	0,268145696	0,871163283	0,182455802
02/06/2017	0,654620525	0,276666007	0,614107297	0,111221738
03/06/2017	0,659906175	0,278828008	0,43635321	0,080289132
04/06/2017	0,746656655	0,295483802	0,649187087	0,143226867
05/06/2017	0,737831278	0,296548144	0,567460361	0,124161744

Figure 0-4 : Tableau contenant les données importées

Création du Tableau Croisé Dynamique

A partir de ces données, le TCD est créé :

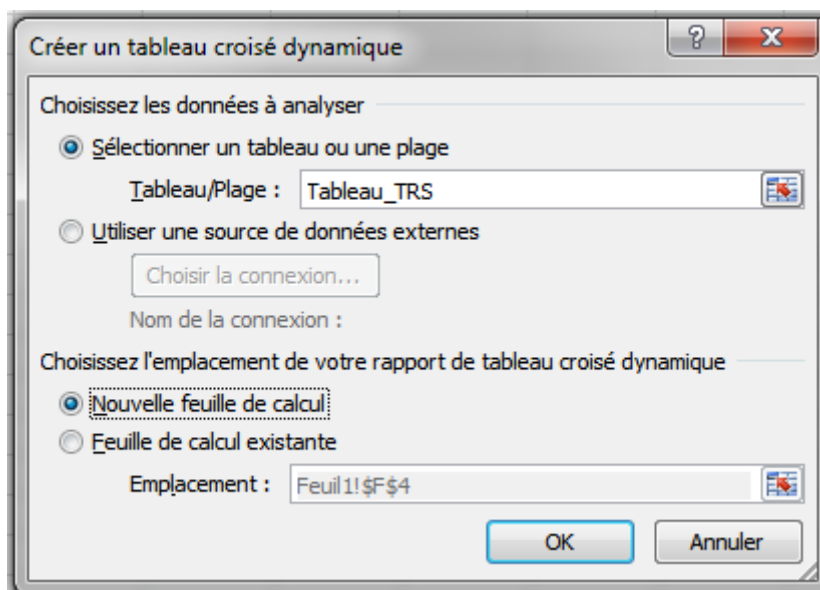


Figure 0-5 : Création d'un Tableau Croisé Dynamique

Les champs à inclure dans le TCD sont sélectionnés :

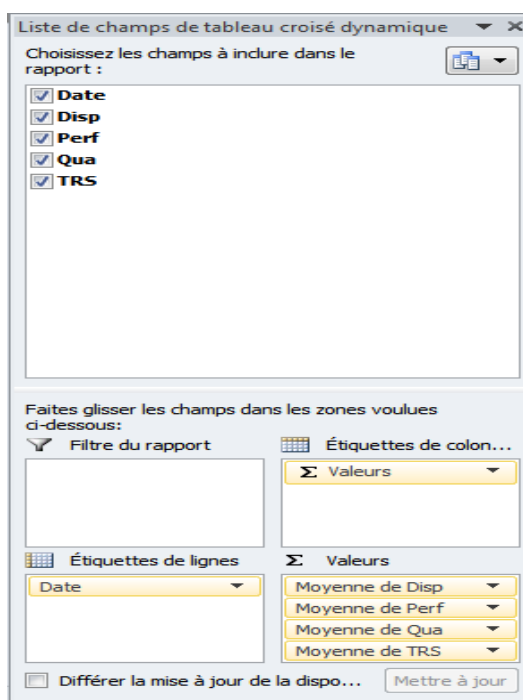


Figure 0-6 : Sélection des champs à inclure dans le TCD