

République Algérienne Démocratique et populaire

Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique

Université HADJ-LAKHDAR-BATNA

Faculté de technologie

Département de Génie Industriel



Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de

Magister en Génie Industriel

Option : Génie Industriel

Par

BELFARHI Nedjouda

Ingénieur d'état en Génie Industriel

THEME

**CONCEPTION D'UN OUTIL D'AIDE A LA
DETECTION ET DIAGNOSTIC DES
DEFAILLANCES DANS UN SYSTEME DE
PRODUCTION**

Travail effectué au sein du Laboratoire d'automatique et productique (U. BATNA)

MEMBRES DU JURY:

<i>Dr. H.SMADI</i>	<i>UNIV Batna</i>	<i>Président</i>
<i>Dr. M.D.MOUSS</i>	<i>UNIV Batna</i>	<i>Rapporteur</i>
<i>Dr. A. DIB</i>	<i>UNIV O.el bouaghi</i>	<i>Examineur</i>
<i>Dr. A.MECHENENE</i>	<i>UNIV Batna</i>	<i>Examineur</i>
<i>Dr. L.H.MOUSS</i>	<i>UNIV Batna</i>	<i>Rapporteur</i>

ANNEE 2011-2012



DEDICACE

A ma mère et mon père

A mon mari et ma fille

A mon frère et son épouse et ses filles

A mes sœurs

A mes grands-mères

A ma belle famille

A toute ma famille

A mes amies et mes collègues

Remerciement

Je remercie **Dieu** tout puissant pour la santé, la volonté, le courage et la patience qu'il m'a donnés durant ces années d'étude.

Je tiens à remercier **Dr. Mouss M^{ed} Djamel** pour son encadrement, sa compréhension, ses conseils, ses observations et ses encouragements le long de ce travail et surtout pour sa gentillesse.

Mes remerciements vont également à : Tous les employés de l'entreprise publique des travaux routiers Sud/ EST « **EPTR SUD/EST**».

A tous nos maîtres du département qui nous sommes reconnaissants.

J'adresse aussi mes sincères remerciements à ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Sommaire

Introduction générale.....	06
----------------------------	----

Chapitre I : Généralité sur le Diagnostic

I.1. Introduction.....	10
I.2. Définitions de diagnostic	10
I.3. Le diagnostic industriel dans le cadre de la supervision	12
I.4. Comment aborder un problème de diagnostic des défaillances	14
I.5. Procédure de diagnostic	15
I.6. Conclusion	17

Chapitre II : Les Méthodes De Diagnostic

II.1. Les Méthodes De Diagnostic	19
II.1.1. Introduction	19
II.1.2. Caractéristiques des méthodes de diagnostic	20
II.1.3. Classification des méthodes de diagnostic	20
II.1.3.1. Les méthodes internes	20
A. Définition	20
B. Les avantages et les inconvénients	22
II.1.3.2. Les méthodes externes	22
A. Les systèmes experts	22
1. Définition	22
2. Les composants d'un système experts	23
3. Les informations nécessaires	24
4. Les principaux domaines d'application	24
5. Les avantages et les inconvénients	24
B. La reconnaissance des formes	25
1. La démarche de construction	25
2. Les informations nécessaires	27
3. Les avantages et les inconvénients	27
C. Les réseaux de neurones	27
1. Définition	27
2. Classification des réseaux de neurones	28
3. Apprentissage des réseaux de neurones	29
4. Quels sont les domaines d'application des réseaux de neurones	29
5. Les avantages et les inconvénients des réseaux de neurones	30
II.1.3.3. Méthodes basées sur le mode de raisonnement	30
II.1.3.3.1. Méthodes d'analyse fonctionnelle	30
II.1.3.3.2. Méthodes d'analyse dysfonctionnelle	31
1. Les méthodes inductives	32
A. Arbre de défaillance	32
2. Les méthodes déductives	34
A. L'analyse AMDEC	34
II.1.4. conclusion	36

Chapitre III : Acquisition des connaissances au sein de la station d'enrobage

III.1. Introduction	38
III.2. Présentation générale de l'entreprise	38
III.2.1. Cartographie de l'entreprise	38
III.2.2. L'organigramme de l'entreprise	40
III.2.3. Processus de production	40
III. 2.3.1. Exploitation de carrière pour la matière qui servira à la production d'agrégats	42
III.2.3.2. Production des agrégats	44
III.2.3.3. Productions d'enrobés	46
a. Caractéristique d'enrobé	46
b. Familles d'enrobés bitumineux	46
c. Technique de fabrication	47
III.2.3.4. Réalisation de la route	47
III.3. Analyse des connaissances au sein de la Station d'Enrobage	48
III.3.1. Introduction	48
III.3.2. Objectif	48
III.3.3. Définition du système	48
III.3.4. La démarche adoptée au sein de la station d'enrobage	52
III.3.4.1. Modélisation de système de production	52
a. Introduction	52
b. GRAFCET	52
c. Le GRAFCET de la station d'enrobage	53
III.3.4.2. Analyse fonctionnelle	53
III.3.4.3. Analyse dysfonctionnelle	57
III.4. Conclusion	57

Chapitre IV : Développement d'un outil d'aide à la détection et diagnostic des défaillances par le générateur G2

IV.1. Introduction.....	59
IV.2. Objectif du système	59
IV.3. Approche de diagnostic par le générateur G2.....	60
IV. 3.1. Spécification dans G2.....	60
IV.3.1.1. Définitions des composants	61
IV.3.1.2. Les règles	63
IV. 3.1.3. Les Commandes de Simulation	64
IV.3.1.4. Les procédures.....	65
IV. 3.1.5. Les variables	65
IV.3.2. Spécification pour le diagnostic des défaillances	65
IV. 3.3. La détection des anomalies	66
IV.4. Conclusion	67

<i>Conclusion générale</i>	68
---	----

Référence bibliographique	71
Annexe A.....	75
Annexe B.....	78
Annexe C.....	86
Annexe D.....	110
Annexe E.....	123

Introduction Générale

Le développement croissant de l'automatisation, au cours de ces deux dernières décennies, a touché tous les secteurs de l'industrie. La complexité des systèmes industriels qui en résulte a rendu leur exploitation plus performante et plus vulnérable.

En effet, l'évolution des technologies a permis l'amélioration des performances des différents dispositifs, mais a aussi entraîné une prise en compte de leur fiabilité, critère qui caractérise leur sûreté de fonctionnement. Il s'ensuit que la réalisation de systèmes sûrs passe par la prise en compte lors de leur conception des préoccupations relatives à leur aptitude à résister aux éventuelles défaillances matérielles (capteurs, actionneurs, etc.), logicielles (par exemple, l'algorithme de commande) et humaines. Ainsi, cette évolution technologique a contribué au développement de nouvelles procédures de surveillance qui permettent la détection, la localisation et le diagnostic des éventuels défauts.

Les industriels, habitués – dans les années passées – à des marges relativement confortables, se trouvent actuellement face à un marché de plus en plus concurrentiel, sur lequel la compétitivité est conditionnée, dans une mesure de plus en plus importante, par l'exploitation optimale des moyens humains et matériels de l'entreprise. Dans ce contexte, la maintenance industrielle connaît actuellement un essor spectaculaire, dû à la possibilité de puiser dans les ressources existantes de l'entreprise afin d'améliorer ses performances.

Un environnement international à forte connotation TIC (Technologies de l'Information et de la Communication), permet à l'heure actuelle la mise en place de techniques innovantes de gestion de la maintenance, en passant par la télémaintenance vers la e-maintenance, concept coopératif de partage des connaissances du métier. Loin d'être une simple instrumentation d'un métier déjà existant, la e-maintenance ouvre ainsi des perspectives innovantes de création de nouveaux services, capables d'accompagner les clients sur la durée et avec une compétence soucieuse de sa capitalisation et de son évolution permanente.

Cet environnement technologique permet aux entreprises soit d'externaliser la fonction maintenance pour mieux se concentrer sur leur activité principale, soit de passer de la maintenance classique à la maintenance à distance et en temps réel. Ceci est un enjeu important, au centre duquel la surveillance joue un rôle majeur, dans un contexte correspondant à une intelligence de plus en

plus répartie, sujet à une migration vers les niveaux opérationnels (capteurs et actionneurs intelligents).

On voit naître par conséquent un intérêt croissant pour la maintenance intelligente, dans laquelle la surveillance et sa composante principale – le diagnostic – occupent une place fondamentale, en glissant de plus en plus vers des applications de surveillance dynamique et par conséquent, vers le pronostic.

Dans ce sens, l'utilisation des techniques de l'intelligence artificielle fait l'objet de nombreuses recherches. La possibilité de surveiller sans modéliser le système, dans un environnement ou celui-ci est soumis à des adaptations et des reconfigurations permanentes, présente un intérêt évident pour les industriels.

1. Objectif du mémoire (problématique)

Au cours de l'évolution technologique, les systèmes de production sont devenus plus compliqués et très sensibles. Plusieurs difficultés inhérentes sont confrontées lors de diagnostic, ce qui rend l'aide informatique indispensable. Toutefois pour ce type d'applications informatiques, des limites apparaissent à l'usage des approches algorithmiques classiques. Pour couvrir cet inconvénient, l'intelligence artificielle a pour objectif de reproduire les comportements dits intelligents, et d'approcher pour ce faire des modes de représentation de connaissances et de résolution de problèmes voisins de ceux qui sont les nôtres. En effet, l'objectif de notre travail est la conception d'un outil d'aide à la détection et diagnostic des défaillances d'un système de production.

Pour notre travail nous avons choisi un problème concret au sein de l'entreprise des travaux routier Sud-Est, il s'agit du système le plus critique dans l'entreprise qui est la station d'enrobage. C'est un système de fabrication d'enrobé à des conditions bien déterminées. Comme la qualité de la route dépend de la qualité d'enrobé, le système d'enrobage doit être bien maîtrisé. Et pour le bon fonctionnement du système en question, une étude détaillée de diagnostic de défaillance, et ce l'objectif de notre travail.

Les applications récentes axées sur le développement des systèmes à base de connaissances pour le diagnostic tendent à s'orienter vers des techniques d'acquisition des connaissances basées sur la modélisation et les connaissances profondes. Pour notre étude, nous nous intéressons plus précisément aux systèmes faisant appel à la modélisation fonctionnelle et l'analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle.

L'objectif de ce travail est le développement d'un outil capable de détecter les défaillances et trouver l'origine de la panne. Le générateur de développement G2 sert comme support à cette réalisation.

2. Organisation du mémoire

Ce travail s'articule en quatre chapitres :

Dans le premier chapitre, nous donnons des généralités sur le diagnostic ; nous commençons par rappeler diverses définitions liées au diagnostic et nous déterminons ce que c'est une procédure de diagnostic.

Le deuxième chapitre nous nous intéressons à l'état de l'art proprement dit des méthodes de diagnostic, donc Une présentation des trois grandes familles de méthodes de diagnostic est indispensable.

Le troisième chapitre est dédié à l'acquisition des connaissances concernant le système de production, nous procédons alors à une modélisation du système et à une analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle, nous utilisons pour cela les méthodes GRAFCET(GRAPHe Fonctionnel de Commandes Étapes Transitions), SADT (Structure Analysis and Design Technic), AMDEC (Analyse Des Modes de Défaillances et de leurs Effets et leur criticité)

Enfin, dans le dernier chapitre nous exploitons les connaissances acquises dans l'analyse précédente pour construire la base de règles du système expert, Donc nous détaillons la démarche adoptée pour la conception d'un outil d'aide à la détection et diagnostic des défaillances au sein de la station d'enrobage par l'outil de développement, G2.

CHAPITRE I

GENERALITE SUR LE DIAGNOSTIC

Résumé : Dans le premier chapitre, nous donnons des généralités sur le diagnostic ; nous commençons par rappeler diverses définitions liées au diagnostic, comment aborder un problème de diagnostic des défaillances et enfin nous donnons le détail de la procédure de diagnostic

I. Le diagnostic :

I.1. Introduction :

Dans le monde industriel gains de productivité représentent un souci quotidien pour les dirigeants des entreprises. Ainsi les petites et moyennes entreprises réalisent, dans un contexte concurrentiel très compétitif, un chiffre d'affaires qui représente plus de 60% du chiffre d'affaires de l'industrie manufacturière.

Le diagnostic de défaillance des systèmes industriels, s'il est réalisé avec efficacité ou s'il permet de détecter de façon précoce une dégradation, représente un des moyens pour contribuer à gagner des points de productivité ; a cause de l'importance de diagnostic dans la maintenance corrective, de sa pertinence et de sa rapidité dépend l'efficacité de l'intervention au sein de l'entreprise. Pour cela, des recherches ont été effectuées autour du problème du diagnostic, que ce soit pour des systèmes dynamiques, des réseaux de distribution ou des réseaux de télécommunications.

I.2. Définitions :

En médecine, où il trouve son origine, le diagnostic est « *la partie de l'acte médical qui vise à déterminer la nature de la maladie observée. ... ; devant l'urgence thérapeutique, le médecin devra alors décider si et quand les documents qui s'accumulent permettent l'arrêt de l'investigation et le passage à une conclusion, qui reste forcément révisable, car une recherche de plus en plus raffinée de signes pourrait parfois se poursuivre indéfiniment* ».

Non loin de cette définition, dans le domaine de l'industrie, charbonnaud définit le diagnostic comme étant « *un acte intelligent qui se doit de trouver dans un système physique les dysfonctionnements et surtout les causes de la situation de panne* ».

Etymologiquement, le mot diagnostic vient du grecque et signifie (Dia : par, Gnosis : connaissance). La définition donnée par (Peng, 1990), s'en inspire et se formule ainsi :

«Etant donné un ensemble de manifestations observées (symptômes, constatations, etc.), il s'agit d'expliquer leur présence, de remonter aux causes, en utilisant un savoir sur le système considéré».

Selon la définition retenue par l'AFNOR (Association Française de Normalisation) le Diagnostic industriel est : «...l'identification de la cause probable de la (ou les) défaillance(s) à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur un ensemble d'informations provenant d'une inspection, d'un contrôle, ou d'un test » [NF X60-010].

Cette définition résume les deux tâches essentielles en diagnostic :

- Observer les symptômes de la défaillance ;
- Identifier la cause de la défaillance à l'aide d'un raisonnement logique fondé sur des observations (figure .I.1)

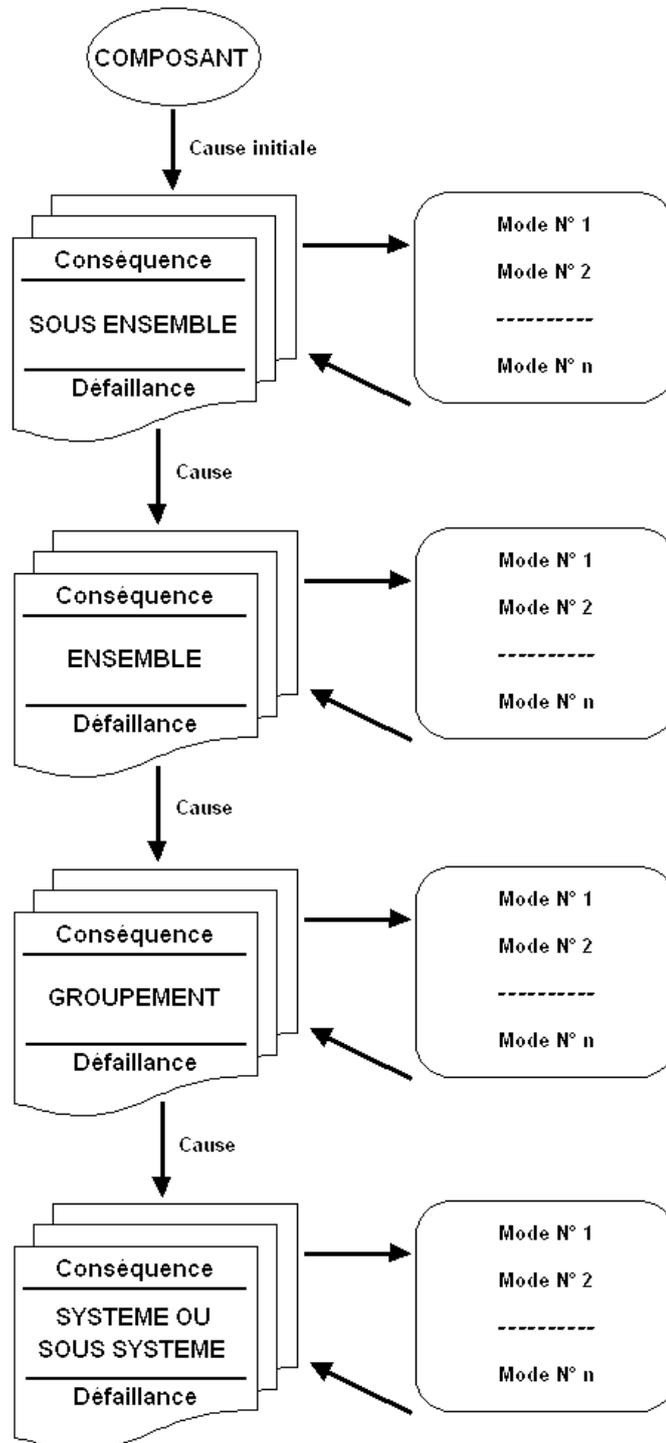


Fig.I.1. Le chemin de diagnostic

I.3 Le diagnostic industriel dans le cadre de la supervision:

Pour la mise en place d'un système de supervision, du point de vue de la communauté du continu, trois fonctions doivent être prises en compte : la *détection*, le *diagnostic* et la *reconfiguration*, la surveillance du procédé traite les données disponibles en ligne, afin d'obtenir son état de fonctionnement. Dans la surveillance, nous retrouvons les fonctions de *détection* de défaillances et de *diagnostic* (figure. I.2). De façon générale, la détection consiste en l'identification des changements ou déviations des mesures du procédé par rapport au fonctionnement normal, ce qui se traduit par la génération des symptômes. Le diagnostic consiste à déterminer quelles sont l'origine et/ou la (les) cause(s) qui ont pu engendrer le symptôme détecté. A ce stade, le système doit avoir la capacité de décider quand le procédé se trouve dans une situation de fonctionnement normal, et quand une action corrective doit être appliquée. Cette action corrective correspond à l'étape de reconfiguration de la commande de façon à ramener le procédé dans un mode de fonctionnement normal.

Cependant, il existe d'autres approches pour la mise en place d'un système de supervision. En effet, pour la communauté de systèmes à événements discrets (SED), la supervision a pour but de contrôler l'exécution d'une opération effectuée par le système de commande sans rentrer dans les détails de cette exécution. La supervision a lieu dans une structure hiérarchique (au moins avec 2 niveaux), et recouvre l'aspect du fonctionnement normal et anormal :

- En fonctionnement normal, le rôle de la supervision est de prendre, en temps réel, les décisions correspondantes aux degrés de liberté exigés par la flexibilité décisionnelle;
- En présence de défaillances, la supervision prend toutes les décisions nécessaires pour le retour vers un fonctionnement normal. Après avoir déterminé un nouveau mode de fonctionnement, il peut s'agir de choisir une solution curative, d'effectuer des ré-ordonnements "locaux", ou même de déclencher des procédures d'urgence.

La surveillance est responsable de l'acquisition des signaux en provenance des ressources et de la commande. Ces informations sont utilisées pour la reconstitution de l'état réel du système commandé et pour faire les inférences nécessaires afin de produire des informations supplémentaires pour dresser des historiques de fonctionnement. Les activités de la surveillance sont donc limitées aux fonctions relatives aux informations et n'ont pas une

action directe sur le modèle ni sur le procédé. A priori, la surveillance a un rôle passif vis-à-vis de la commande. Parmi les fonctions de la surveillance nous trouvons donc, en plus de l'acquisition de données, la détection [COM00] qui caractérise le fonctionnement du système de normal ou anormal. Deux classes d'anomalies sont distinguées :

- La première regroupe les situations pour lesquelles le comportement du système devient anormal car les contraintes d'opération ne sont pas garanties;
- La deuxième regroupe les situations dans lesquelles le comportement est anormal par rapport à la loi de commande appliquée. Cette classe recouvre les anomalies de fabrication mise en évidence par des contrôles de qualité.

Le **sui**vi fait partie aussi des fonctions de la surveillance. Cette fonction maintient en permanence un historique des traitements effectués, et une trace des événements que perçoit le système. La fonction **diagnostic** établit un lien de cause à effet entre un *symptôme* observé et la défaillance qui est survenue, ses causes et ses conséquences. La communauté des SED distingue trois sous-fonctions [COM00]:

- La localisation, qui détermine le sous-système responsable de la défaillance,
- L'identification, qui détermine les causes qui ont engendré la défaillance,
- L'explication, qui justifie les conclusions du diagnostic.

La fonction pronostic est également une fonction de surveillance qui a pour but de déterminer les conséquences d'une défaillance sur le fonctionnement futur du système. Il existe aussi des fonctions propres à la supervision :

- La reconfiguration qui agit sur le procédé en adaptant la configuration matérielle à la situation, ainsi que sur le système de commande en changeant la loi de commande,
- La décision, qui détermine l'état à atteindre pour le retour en opération normale et la séquence d'actions correctives à réaliser pour arriver à cet état.

Dans ces conditions, la supervision n'est plus un simple enchaînement des fonctions de surveillance (détection - diagnostic) et reconfiguration. Des "modèles de surveillance" beaucoup plus complexes peuvent être mis en place en fonction du procédé considéré, du type de défaillances et également de la politique de production de l'entreprise [ZAM98].

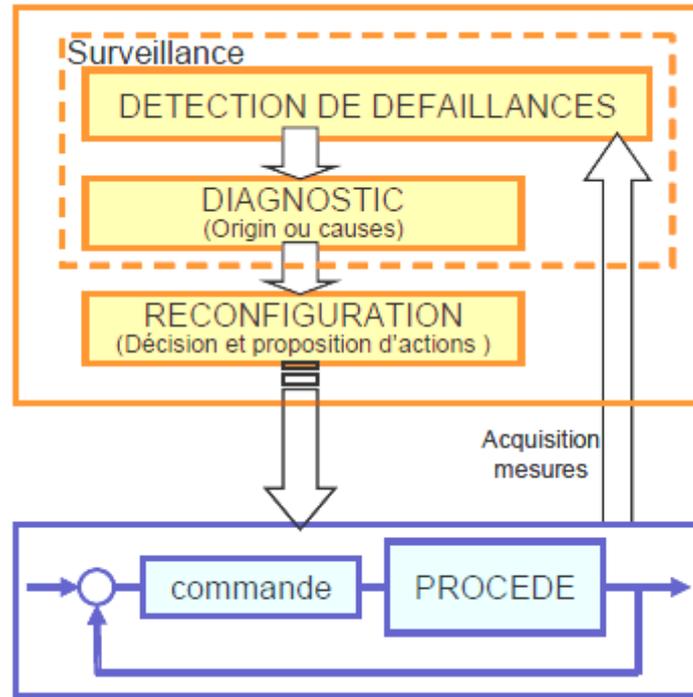


Fig.I.2. schéma général de supervision

I.4. Comment aborder un problème de diagnostic des défaillances ?

Le diagnostic est une chaîne complexe où aucune action n'est indépendante de celle qui la précède comme de celle qui la suit [Dubuisson, 90]. Il demande l'exploitation de toute la connaissance "accessible" existante sur le système. Il convient de distinguer la connaissance "accessible" et la connaissance "disponible". La première repose sur les instruments d'observation dont on dispose, qu'ils agissent sur le présent ou sur le passé, c'est -à- dire qu'elle est basée sur toute l'information que recueillent les capteurs. La seconde quant à elle, concerne l'ensemble des informations qu'on pourrait atteindre s'il n'existait aucune limitation physique ou technologique.

La conception des solutions relatives aux problèmes posés doit répondre aux trois points essentiels de la surveillance : la détection, le diagnostic, la reprise. Ceci nécessite l'élaboration de modèles de bon fonctionnement et, également de modèles de pannes dans la majorité des cas.

La détection est pratiquement fondée sur une comparaison, en temps réel, du comportement effectif du système surveillé avec celui d'un modèle de bon comportement.

La détection consiste à remarquer une incohérence entre le comportement du système physique et celui du modèle.

Le diagnostic, lui, est souvent fondé sur la recherche d'une cohérence entre le comportement (ou l'état) du système physique et celui d'un modèle de panne correspondant à des connaissances profondes.

La pratique du diagnostic industriel s'inscrit dans le processus de conduite de l'entreprise. En effet, les activités de conduite et de maintenance du processus industriel conduisent à entreprendre en pratique des opérations de diagnostic qui sont de nature très différentes et souvent conditionnées par la spécificité des systèmes et des moyens disponibles.

Les systèmes industriels sont caractérisés par une complexité importante (technologie d'automatisation, interactions importantes opérateurs-processus) qui complique davantage la tâche de l'opérateur chargé du diagnostic. Pour pallier cette difficulté, l'aide informatique devient indispensable et un large éventail de techniques ont été utilisées pour automatiser le diagnostic des systèmes industriels. A chaque type de diagnostic est associé un ensemble de techniques utilisables.

I.5. Procédure de diagnostic :

La procédure de diagnostic de défaillances et de dégradations susceptibles d'affecter les différentes entités d'un processus industriel s'articule autour des étapes suivantes :

- ↳ L'extraction des informations nécessaires à la mise en forme des caractéristiques associées aux fonctionnements normaux et anormaux, à partir de moyens de mesures appropriées ou d'observations réalisées lors des rondes par les personnels de surveillance,
- ↳ L'élaboration des caractéristiques et signatures associées à des symptômes révélateurs de défaillances et de dégradations en vue de la détection d'un dysfonctionnement,
- ↳ La détection d'un dysfonctionnement par comparaison avec des signatures associées à des états de fonctionnements normaux et la définition d'indicateurs de confiance dans la détection,
- ↳ La mise en œuvre d'une méthode de diagnostic de la défaillance ou de la dégradation à partir de l'utilisation des connaissances sur les relations de cause à effet,
- ↳ La prise de décision en fonction des conséquences futures des défaillances et des dégradations. Cette prise de décision peut conduire à un arrêt de l'installation si les

conséquences de la défaillance sont importantes pour la sécurité des personnes et des biens ou à une reconfiguration du fonctionnement du procédé pour éviter une perte de production en attendant le prochain arrêt de production le plus propice aux opérations de maintenance corrective.

La figure I.3 représente l'ensemble des tâches à réaliser pour assurer un fonctionnement satisfaisant d'un processus industriel.

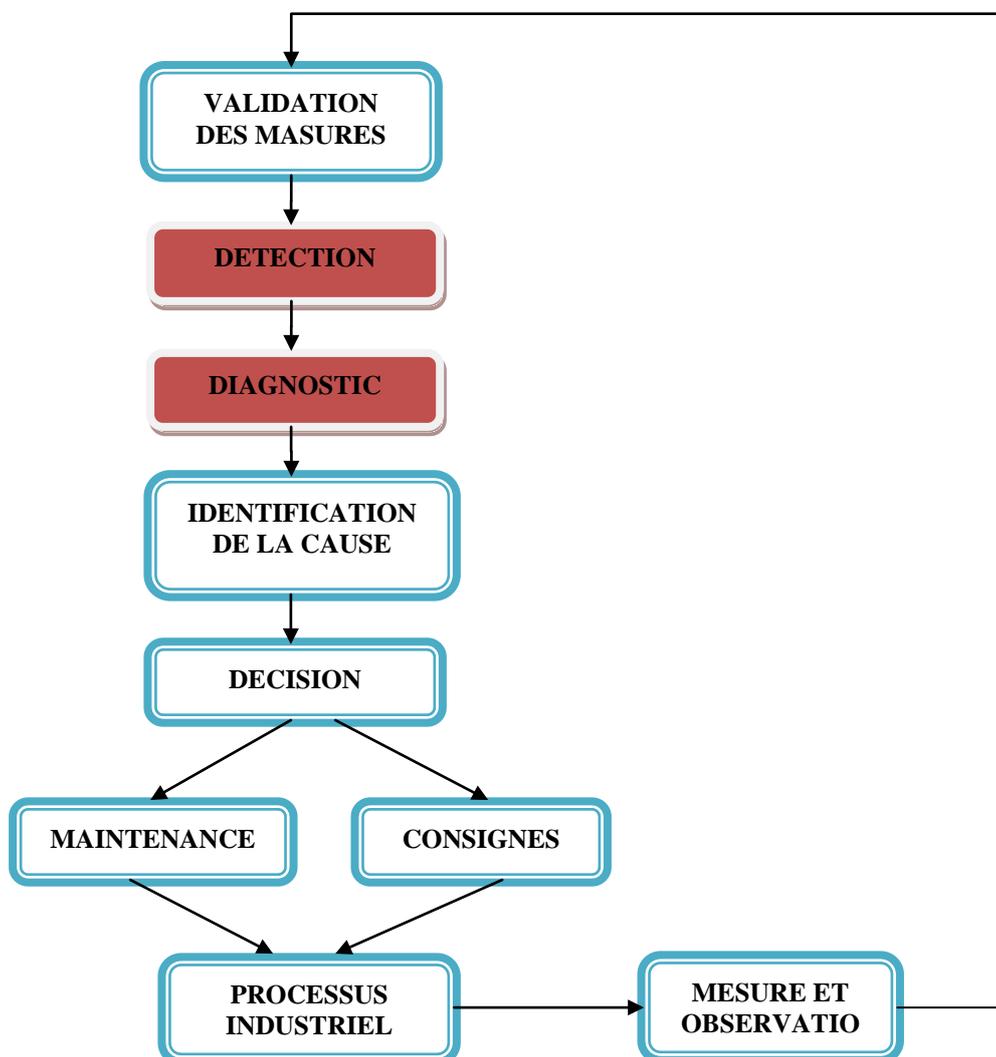


Fig.I.3. L'action de diagnostiquer

Ces étapes si elles sont nécessaires ne sont cependant pas suffisantes car il faut aussi prendre en compte les conséquences de leur mise en place dans l'organisation de l'entreprise. En effet, il convient au préalable de prendre des dispositions pour remplir les meilleures conditions pour réaliser un système d'aide au diagnostic efficace et utilisé.

- ↪ Etude de l'intérêt technico-économique de l'implantation du système d'aide au diagnostic en prenant en compte le retour d'expérience des coûts des défaillances et leurs impacts sur la productivité de l'investissement,
- ↪ Etude de la faisabilité technique du système d'aide au diagnostic pour s'assurer que des techniques et technologies sont disponibles et opérationnelles pour le problème à résoudre,
- ↪ Création d'une équipe de projet avec tous les intervenants pour définir et rédiger le cahier des spécifications détaillées,
- ↪ Validation du cahier des charges par les responsables de l'entreprise pour le lancement de la réalisation et de son implantation,
- ↪ Formation et informations des acteurs pour une utilisation effective du système d'aide au diagnostic,
- ↪ Réalisation et implantation du système d'aide au diagnostic sur site,
- ↪ Mise en place d'un retour d'expérience pour évaluer les impacts économiques et sociaux du système d'aide au diagnostic.

I.6. Conclusion :

Le diagnostic en temps réel est une solution qui pourrait cerner rapidement l'anomalie à condition de faire appel à l'analyse de tous les symptômes manifestés par un système de surveillance performant qui ne doit laisser échapper aucun indice quelque soit son étiquette.

CHAPITRE II

LES METHODES DE DIAGNOSTIC

Résumé : *Dans ce chapitre, nous nous intéressons à l'état de l'art proprement dit des méthodes de diagnostic. Après une présentation de l'organisation du diagnostic, nous proposons une classification selon des principales approches de diagnostic : approche de diagnostic interne /externe et approche basées sur le mode de raisonnement.*

La grande diversité des technologies des systèmes industriels ne permet pas d'utiliser une méthode universelle qui posséderait tous les avantages et aucun inconvénient. Une présentation des trois grandes familles de méthodes de diagnostic s'avère donc indispensable.

II.1. Les méthodes de diagnostic

II.1.1. Introduction

Les défaillances étant par définition subies sans que l'on puisse prévoir leur instant d'apparition, il importe à tout responsable d'une entreprise industrielle de faire face rapidement aux conséquences. Dans de nombreuses situations, sauf en cas de matériels redondants, il revient plus difficile de réparer la défaillance en temps réel ce qui implique l'accroissement du temps d'indisponibilité de l'installation.

Les méthodes de diagnostic de défaillances et de dégradations utilisées dans les différents secteurs industriels sont très variées et tiennent compte de la spécificité des matériels qui constituent leurs procédés. De plus, la grande diversité des technologies des systèmes industriels (mécanique, thermique, électrique, électronique, numérique...) ne permet pas d'utiliser une méthode universelle qui posséderait tous les avantages et aucun inconvénient. Aussi.

Nous présentons rapidement dans la suite, une synthèse des méthodes de diagnostic. L'objectif est de positionner la catégorie des méthodes de diagnostic qui nous intéresse pour notre étude parmi les différentes méthodes de diagnostic de la littérature.

II.1.2. Caractéristiques des méthodes de diagnostic

Il existe un grand nombre de méthodes de diagnostic. Ces méthodes se basent sur un modèle du comportement normal et/ou défaillant du système.

L'observation réelle de l'état courant du système, sujet du diagnostic, est comparée avec l'état estimé par le modèle afin de détecter un défaut. Chacune des méthodes de diagnostic doit garantir les caractéristiques suivantes :

- ↳ Le diagnostic doit être facile à implémenter,
- ↳ Le nombre de capteurs nécessaire pour le diagnostic doit être minimal,
- ↳ Le diagnostic doit être prédictif,
- ↳ Le diagnostic doit être réalisable en temps réel,
- ↳ Le diagnostic doit être concevable algorithmiquement.

II.1.3. Classification des méthodes de diagnostic

Les méthodes de diagnostic se distinguent selon différents critères :

- la dynamique du procédé (discret, continu ou hybride),
- la complexité du procédé, l'implémentation du diagnostic en ligne et/ou hors ligne,

- la nature de l'information (qualitative et/ou quantitative),
- la profondeur de l'information (structurale, fonctionnelle et/ou temporelle), sa distribution (centralisée, décentralisée ou distribuée),

En général, ces méthodes sont divisées en trois catégories :

- ↳ **Les méthodes internes:** (model-based methods) qui représentent des méthodes à base de modèles quantitatifs et/ou qualitatifs.
- ↳ **Les méthodes externes:** (model-free methods) qui sont des méthodes soit à base de connaissances, soit des méthodes empiriques et/ou de traitement du signal.
- ↳ **Méthodes basées sur le mode de raisonnement:** sont basées sur le mode de raisonnement utilisée pour remonter à la cause de la défaillance.

II.1.3.1. Les méthodes internes

A. Définition :

Dans la plupart des systèmes automatisés, la partie commande d'un procédé est généralement représentée à travers un modèle devant être appliqué sur la partie opérative. Pour réaliser un diagnostic, il faut également pouvoir représenter l'état de la partie opérative à travers un modèle qui peut être intégré au modèle de commande, séparé ou mixte. Ainsi, lorsqu'un défaut apparaît, il est possible de disposer d'informations concernant le procédé et de comparer modèle et procédé. On parle alors de diagnostic à *base de modèles* (*Fault Detection and Isolation*).

Le diagnostic à *base de modèles* génère des indicateurs de défauts, résidus, contenant des informations sur les anomalies ou les dysfonctionnements du procédé à diagnostiquer. Un écart entre l'état réel de la partie opérative et celui estimé par le modèle, représentant le fonctionnement nominal, est mesuré.

Les résidus doivent alors être assez sensibles aux défauts pour leur détection, localisation et identification.

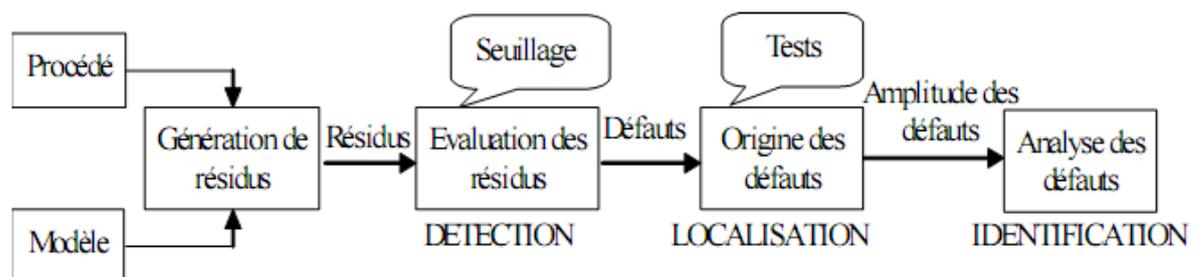


Fig. II.1 : Diagnostic à base de modèles

Parmi les méthodes internes à base de modèles, on peut distinguer les méthodes basées sur des modèles quantitatifs, les méthodes basées sur des modèles qualitatifs et les méthodes basées sur les deux modèles.

➤ Les modèles quantitatifs

Sont utilisés pour l'estimation de paramètres d'état ou d'espace de parité à travers des modèles mathématiques et/ou structurels pour représenter l'information disponible du fonctionnement d'un procédé. Un défaut provoque alors des changements dans certains paramètres physiques du procédé. Les modèles mathématiques comparent les différentes valeurs des variables avec des seuils de détection afin de générer un résidu qui sera fourni au diagnostic. A partir de toutes les signatures de défauts connues par apprentissage, il est possible d'isoler et d'identifier la panne avant de prendre une décision.

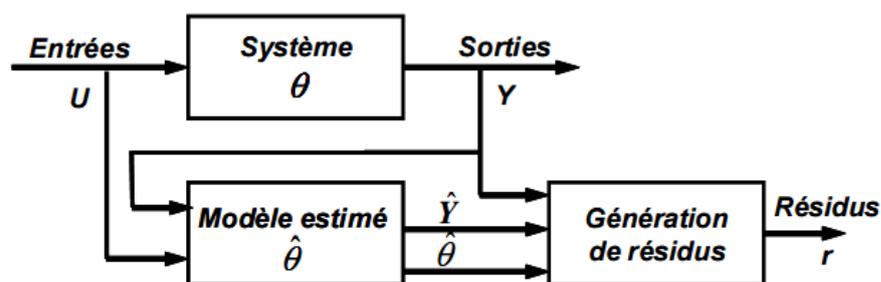


Fig. II.2 : Principe de génération des résidus

➤ Les méthodes à base de modèles qualitatifs

Permettent de représenter le comportement du procédé avec un certain degré d'abstraction à travers des modèles non plus mathématiques mais des modèles de type symbolique. Les modèles qualitatifs doivent représenter de manière qualitative des systèmes continus, discrets et/ou hybrides pour que le diagnostic soit capable de détecter les déviations du fonctionnement normal, localiser la défaillance et en déterminer la ou les causes. Pour les systèmes continus, les modèles qualitatifs sont fréquemment basés sur des graphes causaux et ou des graphes causaux temporels. Une abstraction qualitative des comportements continus peut être représentée par des modèles à base d'événements discrets et, ou la théorie de supervision. Pour les systèmes à un événement discret, de nombreuses approches sont proposées utilisant des outils tels que les automates, les équations logiques ou les RdP avec observation partielle ou totale du fonctionnement du procédé.

➤ Les méthodes à base de modèles quantitatifs et qualitatifs :

Reposent, d'une part, sur une évaluation quantitative pour la détection d'un défaut, et d'autre part sur une analyse qualitative des transitoires pour la localisation et l'identification. Ces méthodes ont l'avantage de combiner les points forts des méthodes à base de modèles quantitatifs et à base de modèles qualitatifs. Cependant, elles sont lourdes à implémenter.

B. Les avantages et les inconvénients :

Les avantages de ces méthodes internes sont tout d'abord la capacité à détecter les variations abruptes et progressives de pannes à travers une analyse des tendances des signaux. De plus, ces méthodes possèdent la capacité de donner une localisation précise du défaut. Par contre, elles nécessitent une information dite "profonde" sur le comportement du système et de ses pannes, rendant les calculs complexes pour le diagnostic en ligne. Elles sont également très sensibles aux erreurs de modélisation.

II.1.3.2. Les méthodes externes

Les méthodes externes considèrent le système comme une "*boîte noire*" et elles n'ont besoin d'aucun modèle mathématique pour représenter le fonctionnement du procédé. Elles utilisent uniquement un ensemble de mesures et/ou de connaissances heuristiques sur le système. Au sens strict, ces méthodes supposent qu'aucun modèle n'est disponible pour décrire les relations de cause à effet. La seule connaissance repose sur l'expertise humaine confortée par un solide retour d'expérience. Dans cette catégorie, on retrouve toutes les méthodes basées sur l'intelligence artificielle. Ces méthodes comprennent les méthodes à base de systèmes experts, de reconnaissance des formes, ou de réseaux de neurones...

A. Les systèmes experts

1. Définition

Pour les systèmes experts, ou systèmes à base de connaissances, le diagnostic industriel est devenu un des domaines privilégiés d'application. Les systèmes experts sont des outils de l'intelligence artificielle, utilisés lorsque aucune méthode algorithmique exacte n'est disponible ou praticable. De façon générale, nous pouvons dire qu'un système expert sert à codifier la connaissance humaine en termes d'expérience, raisonnement approximatif, analogie, raisonnement par défaut, apprentissage, etc.

De ce fait, la propriété principale de ces systèmes est de pouvoir représenter et restituer les connaissances acquises par les spécialistes d'un domaine technique précis. Les connaissances utilisées, dans la plupart des cas, pour le développement d'un système expert d'aide au diagnostic, reposent sur l'apprentissage des relations entre les causes et les effets observés pour chaque défaillance. Néanmoins, il est possible aussi d'utiliser les modèles fonctionnels décrivant les comportements des composantes de systèmes complexes.

La définition que nous retenons pour les systèmes experts est:

« Un système expert est un système informatique destiné à résoudre un problème précis à partir d'une analyse et d'une représentation des connaissances et du raisonnement d'un (ou plusieurs) spécialiste(s) de ce problème »

2. Les composants d'un système experts

Un système expert est composé de deux parties indépendantes (voir Figure II.3) :

- ↳ **Une base de connaissances:** elle-même composée d'une base de règles qui modélise la connaissance du domaine considéré et d'une base de faits qui contient les informations concernant le cas traité,
- ↳ **Un moteur d'inférences:** capable de raisonner à partir des informations contenues dans la base de connaissances, de faire des déductions, etc. Au fur et à mesure que les règles sont appliquées des nouveaux faits se déduisent et se rajoutent à la base de faits.

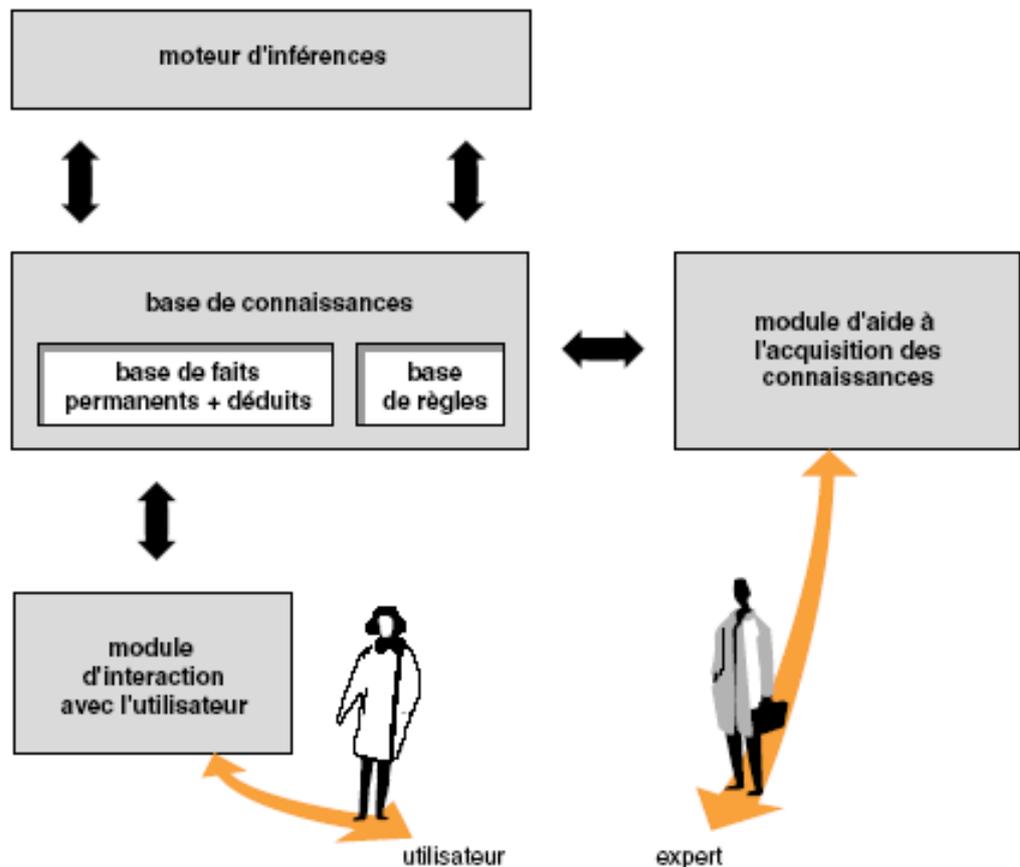


Fig. II.3 : Architecture d'un système expert

3. Les informations nécessaires

- ↳ utilisent une information heuristique pour lier les symptômes aux défauts,
- ↳ l'expérience de l'expert plutôt que sur une connaissance de la structure et/ou du comportement du système,
- ↳ établissement des associations empiriques entre effets et causes.

4. Les principaux domaines d'application

On trouve des systèmes expert de diagnostic dans des secteurs aussi divers que la médecine, l'industrie, l'assurance...

Dans l'industrie, on développe des systèmes expert dans différents domaines d'activité tels que la Conception Assistée par Ordinateur (CAO mécanique ou électronique), la productique (contrôle/ commande de processus, ordonnancement, planification de tâches, robotique), et le diagnostic qui regroupe : diagnostic de panne, incident, défaut de fabrication ...

Un système expert peut également aider à choisir un matériau ou un composant dans une base de données.

En effet, chaque réalisation d'un système expert s'intègre dans un environnement particulier de développement et doit être adaptée au cadre d'utilisation.

Un système expert est développé, par exemple, pour :

- sauvegarder une expertise accumulée ;
- la diffuser dans le temps ;
- la diffuser dans l'espace ;
- formaliser une connaissance de conception.

5. Les avantages et les inconvénients

Les principaux avantages des systèmes experts pour le diagnostic sont leur capacité à raisonner sous incertitude et leur capacité à apporter des explications des solutions fournies. La qualité première des systèmes experts réside dans leur efficacité au niveau temps de calcul. Le système doit simplement attendre les événements observables des règles pour "sauter" directement aux conclusions. De plus, l'interprétation du résultat est généralement compréhensible pour l'opérateur puisque ces règles sont le produit d'experts humains. Enfin, les systèmes experts sont facilement implantables puisqu'il s'agit d'une énumération de règles.

Cependant, ils sont totalement dépendants de l'expertise, et les règles acquises sur une application ne peuvent pas être utilisées sur une autre application. Dans le cas de nouveaux systèmes, il n'y a pas ou peu d'expériences au sujet des pannes pouvant se produire, ce qui rend difficile l'acquisition des règles. Un système expert ne peut être opérationnel dès le début de son exploitation et à donc besoin de temps pour son apprentissage. Il en est de même lors d'ajouts ou de suppressions de composants. Enfin, un système expert est la conséquence d'une règle reconnue. Il ne donne pas d'explication sur les conclusions données et rend donc difficile la détection sur la propagation de pannes, La difficulté spécifique de leur mise en oeuvre est la formalisation de la démarche cognitive qui a pour objectif, à partir d'une situation donnée, de définir et de décrire le raisonnement associé.

B. La reconnaissance des formes

Se base sur la définition d'algorithmes permettant de classer des objets ou des formes en les comparant à des formes types. Une forme est l'observation du fonctionnement du procédé, représentée par un point dans un espace à N paramètres appelé "*espace de représentation*". Les formes types sont les modes de fonctionnement représentés par des ensembles de points occupant des zones restreintes de l'espace de représentation appelées classes.

Le diagnostic de défaillances est essentiellement vu comme un problème de classification. Le but principal est de construire un bloc de correspondance tel qu'à partir d'un ensemble d'informations décrivant la situation courante du processus, il est possible d'obtenir les causes probables des situations anormales. Or, quand le diagnostic est basé sur des observations multiples, ces observations sont regroupées pour former des classes qui définissent une situation ou un mode de fonctionnement du processus, auxquelles une nouvelle observation sera comparée pour être identifiée. En d'autres termes, le diagnostic a pour mission d'identifier le mode de fonctionnement d'un système à partir d'observations sur celui-ci.

1. La démarche de construction

Dans la plupart des cas, la conception d'un système de diagnostic à partir de la reconnaissance de formes se déroule en trois étapes :

- **Une phase d'analyse**

Où il s'agit d'étudier les informations fournies par les différents capteurs, les historiques ainsi que l'expérience des opérateurs, afin de définir l'espace de représentation du système ainsi que les classes qui représenteront les différents états de fonctionnement. Il s'agit donc de

la phase de classification : un ensemble de N observations X^1, X^2, \dots, X^N qui seront regroupées en K classes. Bien que cela dépende de la méthode de classification utilisée pour l'apprentissage, cette phase est généralement lourde en termes de calcul.

- **Une phase de choix du système de détection**

Qui consiste à construire une règle de décision qui établira des frontières entre les différentes classes. La règle de décision permettra d'affecter ou non une nouvelle observation à l'une des classes connues.

- **Une phase d'exploitation**

Qui consiste à implémenter le système afin de proposer une décision pour toute nouvelle observation effectuée. La bonne exploitation du système dépend de la pertinence de l'espace de représentation et des performances de la règle de décision.

Un des points les plus importants dans les méthodes de reconnaissance de formes, est le bon choix de l'espace de représentation, car de celui-ci dépend la qualité du résultat. Malheureusement, il n'existe pas de règle générale pour choisir l'espace de représentation, ce choix s'appuie sur les connaissances a priori existantes sur le problème à résoudre; il n'y a pas de démarche algorithmique qui permette de le formaliser.

L'objectif de la reconnaissance de formes, illustré sur la Figure II.4, est alors de savoir associer toute nouvelle observation X^i à une classe de l'espace de décision. L'affectation d'une observation X^i à l'une des K classes notées C^1, \dots, C^K indique une opération de classement ou de discrimination.

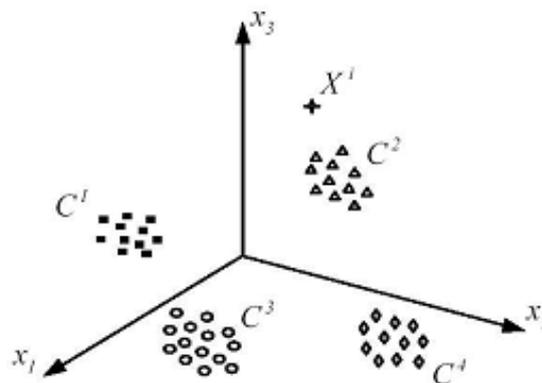


Fig. II.4 : Objectif en Reconnaissance des Formes

2. Les informations nécessaires

- ↪ Des informations décrivant la situation courante du processus
- ↪ Définir les causes probables des situations anormales
- ↪ informations fournies par les différents capteurs
- ↪ les informations concernant les historiques du système
- ↪ l'expérience des opérateurs
- ↪ les connaissances a priori existantes sur le problème à résoudre

3. Les avantages et les inconvénients

L'utilisation de la reconnaissance des formes en diagnostic est surtout efficace en terme de temps de calcul pour la classification d'une nouvelle observation, et de capacité à traiter des données qui sont à la fois incertaines et imprécises. Elle est également capable de réaliser un diagnostic prédictif et de travailler avec des bases de données incomplètes. Cependant, l'inconvénient majeur de l'utilisation de la reconnaissance des formes en diagnostic réside dans la difficulté à trouver l'ensemble minimal mais suffisant des paramètres informatifs modélisant le fonctionnement réel du procédé. Toutefois, le diagnostic par reconnaissance des formes a été appliqué avec succès sur différentes applications réelles.

C. Les réseaux de neurones

1. Définition

Les réseaux de neurones artificiels sont des outils particulièrement adaptés pour aider les spécialistes de maintenance dans ces activités de reconnaissance et de classification. Le calcul neuromimétique, né du rapprochement de la biologie et de l'informatique, présente des perspectives d'applications particulièrement intéressantes pour l'aide au diagnostic avec signatures externes. En effet, le calcul neuromimétique possède des propriétés similaires à celles de la reconnaissance des formes pour la classification automatique de signatures

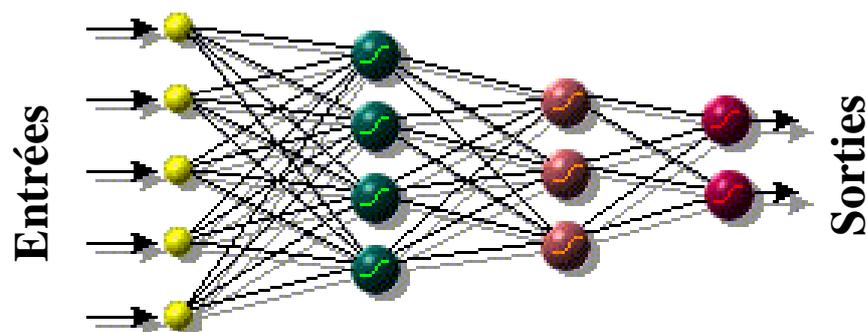


Fig. II.5 : L'architecture d'un réseau de neurones

Un neurone formel ou artificiel est un opérateur mathématique très simple. Un neurone possède des entrées qui peuvent être les sorties d'autres neurones, ou des entrées de signaux extérieures, et une sortie. La valeur de la sortie résulte du calcul de la somme des entrées, pondérées par des coefficients (dits poids de connexions ou poids synaptiques) et du calcul d'une fonction non linéaire (dite fonction d'activation) de cette somme pondérée.

L'état du neurone, appelé aussi activité, est défini comme la somme pondérée de ses entrées. Son schéma de fonctionnement est donné en Figure.II.6 L'information est ainsi transmise de manière unidirectionnelle. Un neurone se caractérise par trois concepts: son *Etat*, ses *Connexions* avec d'autres neurones et sa *Fonction d'activation*.

Ainsi, le neurone i recevant les informations de p neurones effectue l'opération suivante:

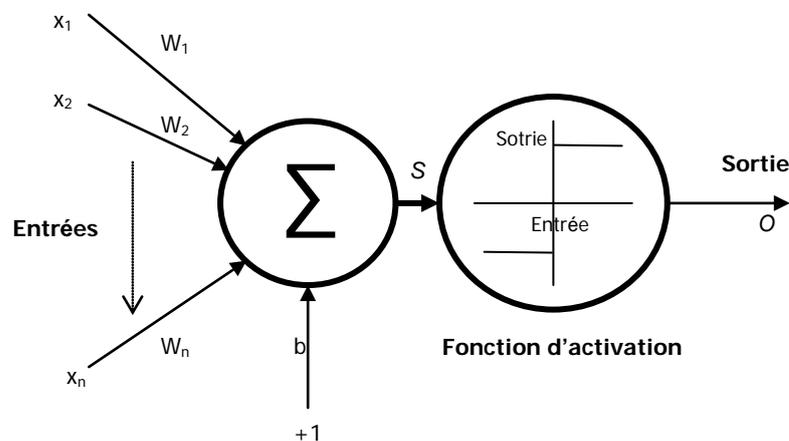


Fig. II.6. schéma de fonctionnement d'un réseau de neurones

$$O = f\left(\sum_{i=1}^n w_i x_i + b\right) = f([w_1 \dots w_n \ b] \cdot [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n \ 1]^T)$$

- X_i : les entrées du neurone.
- O : la sortie du neurone.
- f : la fonction d'activation associée au neurone.
- W_i : le poids de la connexion entre les neurones.
- b : le poids de la connexion entre le neurone biais (+1) et les neurones i .

2. Classification des réseaux de neurones:

On peut classer les réseaux de neurones en deux grandes catégories:

↳ **Les réseaux statiques** (ou non bouclés): Le temps n'est pas un paramètre significatif et la modification de l'entrée n'entraîne qu'une modification stable de la sortie et n'entraîne pas de

retour d'information vers cette entrée. Ces architectures sont les plus couramment utilisées en diagnostic.

↳ **Les réseaux dynamiques** (ou bouclés): contiennent des rebouclages partiels ou totaux entre neurones et ont donc une évolution dépendante du temps

3. Apprentissage des réseaux de neurones

L'apprentissage est vraisemblablement la propriété la plus intéressante des réseaux neuronaux. Par définition l'apprentissage est une phase de développement d'un réseau de neurones durant laquelle le comportement du réseau est modifié jusqu'à l'obtention du comportement désiré.

L'apprentissage a comme objectif l'amélioration des performances futures du réseau, sur la base d'une connaissance acquise au fur et à mesure des expériences passées.

Il existe principalement deux types d'apprentissage: L'apprentissage *supervisé* et l'apprentissage *non supervisé*.

L'apprentissage peut être en ligne (**On line**) ou hors ligne (**Off line**)

3.1. Apprentissage supervisé

L'apprentissage est dit supervisé lorsque les exemples sont constitués de couples de valeurs du type (valeur d'entrée, valeur de sortie désirée).

L'apprentissage supervisé Consiste à renvoyer au réseau une information lui permettant de faire diminuer son taux d'échec. L'information peut être une réponse désirée, une mesure de l'erreur commise...etc.

3.2. Apprentissage non supervisé

L'apprentissage est qualifié de non supervisé lorsque seules les valeurs d'entrée sont disponibles. Dans ce cas, les exemples présentés à l'entrée provoquent une auto adaptation du réseau afin de produire des valeurs de sortie qui soient proche en réponse pour des valeurs d'entrées similaires.

L'Apprentissage non supervisé implique la fourniture à un réseau autonome d'une quantité suffisante d'exemples contenant des corrélations, telles que celui-ci en dégage les régularités automatiquement.

4. Quels sont les domaines d'application des réseaux de neurones ?

En peut appliquer les réseaux de neurones aux domaines suivants :

- La modélisation non-linéaire de données statiques ;

- La modélisation non-linéaire de processus dynamiques ;
- La détection d'anomalies ;
- La reconnaissance des formes ;
- La commande de processus...

5. Les avantages et les inconvénients des réseaux de neurones

Les réseaux de neurones fournissent un ensemble d'outils puissants pour l'apprentissage inductifs de connaissances dédiées au diagnostic à partir d'exemples représentatifs. Ils sont tolérants aux bruits et sont opérationnels même en cas d'insuffisance de valeurs.

Cependant, leur plus grand défaut par rapport aux méthodes est que leur comportement est difficile à comprendre car ils s'appuient sur des calculs numériques impliquant un grand nombre de pondération dont la définition est de nature heuristique et encore la difficulté de sélectionner la fonction d'activation convenable aux résultats souhaités.

II.1.3.3. Méthodes basées sur le mode de raisonnement

L'analyse des systèmes est un processus orienté vers l'acquisition et le traitement d'informations spécifiques au système et pertinentes vis-à-vis d'un objectif donné, ce processus aboutit à l'obtention d'un modèle du système ; la modélisation, résultat de l'analyse fonctionnelle et /ou dysfonctionnelle [Chatain, 93] et [Zwingelstein, 95], permet en particulier la résolution des problèmes de diagnostic des défaillances.

II.1.3.3.1. Méthodes d'analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle permet d'établir de façon lisible et exhaustive les relations fonctionnelles à l'intérieur et à l'extérieur du système à travers la description du comportement du système sous l'angle structurel et fonctionnel. Elle constitue particulièrement un préalable de l'analyse de la valeur et de la sûreté de fonctionnement en apportant les bases concrètes, logiques et exhaustives à leur mise en oeuvre.

Les systèmes modernes sont de plus en plus complexes et font souvent appel à de nombreuses disciplines technologiques (automatique, informatique, électronique, mécanique,...). Il est donc nécessaire de recourir à plusieurs outils de description fonctionnelle pour les modéliser :

Ainsi, à titre d'exemple, nous présentons la méthode SADT (Structured Analysis and Design Technic) SADT, sera utilisée pour la modélisation de notre système. Les apports essentiels de l'utilisation de SADT relèvent de la simplicité de communication, la modularité, et la hiérarchie offerte par son langage, elle permet surtout la représentation des flux.

SADT [I.G.L. Technology, 89] et [Lissandre, 91] est une méthode d'analyse structurée permettant de représenter graphiquement tout processus de traitement d'informations ou activités. Bien qu'elle permet également de modéliser l'ensemble des données d'un système (on parle alors de datagrammes), son usage pour l'analyse des systèmes physiques de production se limite aux activités.

Le principe de base repose sur la décomposition hiérarchique du système étudié en activités. Un modèle SADT est composé de diagrammes d'activités appelés actigrammes (figure 2.6) qui contiennent des boîtes interconnectées, pour lesquelles on représente l'activité (traitement) et les données telles que : les Entrées sont transformées en Sorties, par le Mécanisme (support de l'activité) et sous l'influence des Contrôles. Le système est alors désigné globalement par un actigramme contenant une seule boîte.

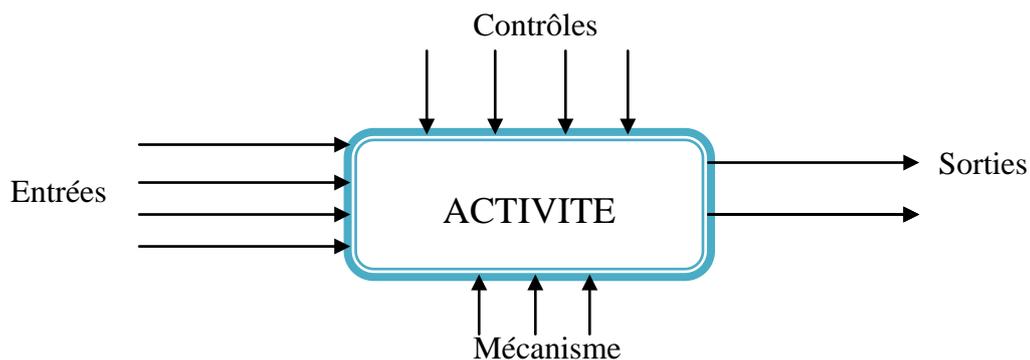


Fig. II.7 Boîte d'actigramme

Cette activité va être décomposée en sous-activités pouvant être à nouveau décomposées, ceci permet d'aboutir progressivement à une définition du système représentée sur plusieurs plans, avec la précision et la clarté recherchée.

II.1.3.3.2. Méthodes d'analyse dysfonctionnelle

L'analyse dysfonctionnelle s'appuie sur une méthodologie rigoureuse et des outils puissants qui permettent la modélisation des défaillances fonctionnelles. Ainsi, les méthodes mises au point pour les études des risques et de la sûreté de fonctionnement permettent la résolution des problèmes de diagnostic de défaillances. Le principe de ces méthodes consiste

à établir a priori et de manière formelle les liens entre les causes et leurs effets mesurables par les opérateurs ou les systèmes de traitement de l'information.

1. Les méthodes inductives:

Correspondent à une approche montante où l'on identifie toutes les combinaisons d'événements élémentaires possibles qui entraînent la réalisation d'un événement unique indésirable.

La méthode de l'arbre de défaillance est une méthode qualitative ou quantitative qui représente par excellence une démarche inductive.

A. Arbre de défaillance

➤ Définition :

Un Arbre de défaillance est une représentation graphique d'une formule booléenne. C'est une méthode d'analyse de la fiabilité, de la disponibilité, et de la sécurité des systèmes la plus largement utilisée. Elle basée sur un raisonnement déductive ayant pour objectif de représenter au moyen d'une structure arborescente et des portes logiques les divers combinaisons possibles d'événements qui entraînent la réalisation d'un événement unique non souhaité.

➤ Construction de l'Arbre de défaillance

La construction de l'arbre est une phase délicate dont l'accomplissement nécessite la connaissance aussi parfaite que possible du système étudié. Donc la collaboration active des différents services ou personnes intervenant dans la vie du système : bureau d'études, production, maintenance, sécurité,...etc.

Il est décomposé en **événements intermédiaires** qui sont, seuls ou en conjonction, les causes immédiates de son apparition. Les causes de ces événements intermédiaires sont à leur tour recherchée et ce processus déductif se poursuit jusqu'à atteindre des événements dont la décomposition s'avère impossible ou inutile. Ces derniers événements sont appelés **événements élémentaires**.

La décomposition d'un événement intermédiaire en ses événements causes s'effectue à l'aide d'opérateurs logiques appelés **portes**.

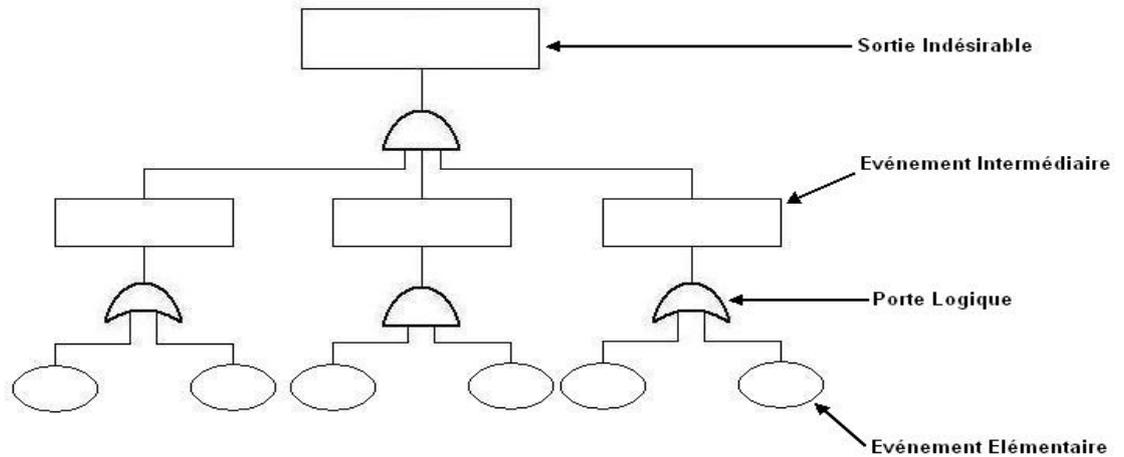


Fig. II.8. Les éléments de l'Arbre de défaillance

Pour construire l'AdD, on procède comme suit :

- ↳ Recherche des causes immédiates, nécessaires et suffisantes de l'événement indésirable (obtention d'événements intermédiaires) ;
- ↳ Classement et analyse des événements intermédiaires (liés à un ou plusieurs composants et à quels types de défaillances) ;
- ↳ Recherche des causes immédiates, nécessaires et suffisantes des événements intermédiaires jusqu'à obtention d'événements de base.

Il faut remarquer que ces phases doivent souvent être répétées pour permettre à l'analyste de mieux connaître le système et d'améliorer sa décomposition en événements de base.

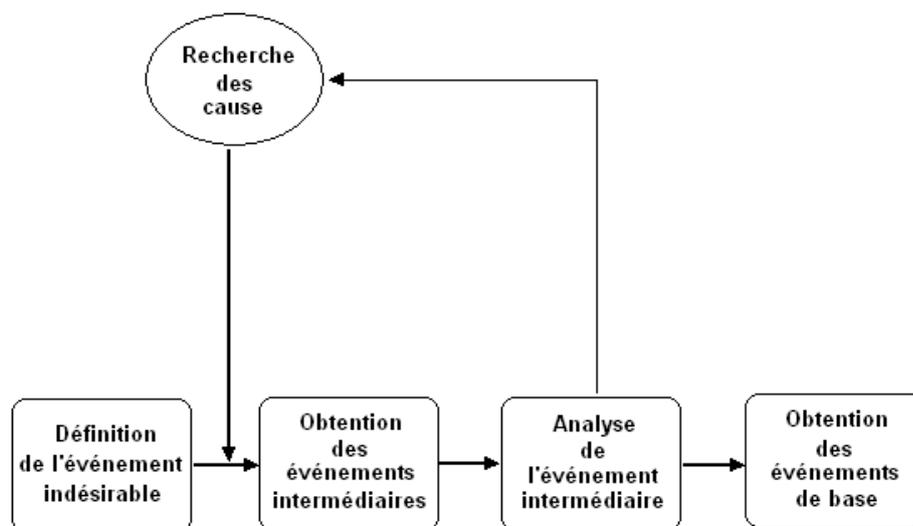


Fig. II.9. Elaboration de l'arbre de défaillance

➤ **Les avantages et les inconvénients:**

Les arbres de défaillance représentent des outils très puissants pour identifier les causes premières conduisant à une défaillance indésirable. Pour des études de sûreté de fonctionnement, il est possible de calculer la probabilité d'apparition de l'événement non désirable à partir de la connaissance des probabilités d'occurrence de tous les événements de l'arbre. Son intérêt par rapport aux analyses AMDEC est de prendre en compte les redondances des matériels.

Le principal inconvénient des arbres de défaillances est que le développement est sensible aux erreurs à différentes étapes. En effet, l'arbre construit est seulement aussi bon que le modèle mental de son créateur. Pour exécuter un diagnostic correct à partir des arbres de défaillances, ceux-ci doivent largement représenter toutes les relations causales du processus, c'est-à-dire qu'ils doivent être capables d'expliquer tous les scénarios de défauts possibles. De plus, l'emploi de cette méthode se révèle difficile pour les systèmes fortement dépendants du temps. Enfin, il n'y a pas de méthode formelle pour vérifier l'exactitude de l'arbre développé.

2. Les méthodes déductives :

La démarche est bien sûr inversée puisque l'on part de l'événement indésirable et l'on recherche ensuite par une approche descendante toutes les causes possibles.

L'analyse AMDEC est une technique déductive et qualitative avec laquelle les effets (conséquences) des causes défaillances des composants élémentaires sont systématiquement identifiés.

A. L'analyse AMDEC : « Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité»,

➤ **Définition**

Est une méthode d'analyse critique consistant à identifier de façon inductive et systématique les risques de dysfonctionnement d'un système puis à en rechercher les origines et leurs conséquences. Elle est particulièrement utile pour le diagnostic des systèmes opérationnels de défaillances.

C'est une Procédure très utilisée en fiabilité pour recenser les défaillances dont les conséquences affectent le fonctionnement du système dans le cadre d'une application donnée.

Elle consiste à évaluer la criticité des modes de défaillance à partir de trois critères

- ↳ Gravité,
- ↳ Fréquence d'apparition
- ↳ Probabilité de non-détection

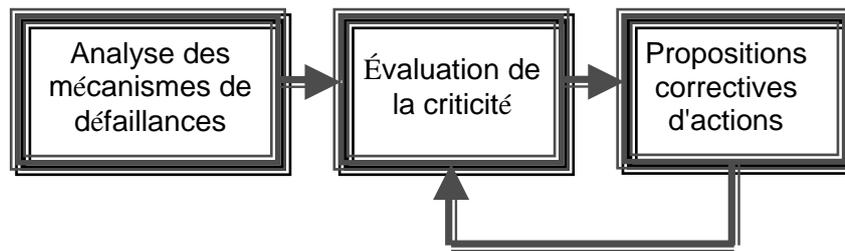


Fig. II.10. Elaboration de l'AMDEC

➤ **But de la méthode**

- ↳ Cette analyse permet de déterminer l'importance de chaque mode de défaillance compte tenu de son influence sur le comportement normal du système.
- ↳ Elle a pour but d'évaluer le couple (probabilité-gravité) et d'extraire les modes de défaillances les plus critiques

➤ **Les informations nécessaires pour l'AMDEC**

- La définition du système, ses fonctions et ses composants,
- l'ensemble des modes de défaillances des composants doit être établi,
- Pour chaque mode de défaillance, sont recherchées ensuite les causes possibles de son apparition,
- une étude des effets sur le système et/ou sur l'opérateur est faite pour chaque combinaison (cause, mode de défaillance).

➤ **Les principaux domaines d'application**

L'AMDE est donc très répandue dans des nombreux domaines industriels, l'aéronautique en particulier ; pourtant elle est lourde et insuffisante. En effet, il est nécessaire d'identifier a priori les défauts et/ou les dysfonctionnements pouvant apparaître, à un certain moment, dans le système supervisé; le recensement préalable des défaillances et leurs relations éventuelles ne peut jamais être exhaustif et requiert en général une longue expérience. En plus, toute modification ou évolution du système nécessite une réécriture du tableau. Enfin, cette méthode ne peut traiter les cas de défaillances multiples et intégrer l'aspect fonctionnel.

➤ **Les avantages**

- ↳ L'AMDEC est couramment utilisée dans de nombreux domaines industriels,
- ↳ Les informations fournies par l'AMDEC permettent de dégager des priorités pour le contrôle des processus et les vérifications prévues,
- ↳ L'AMDEC contient des données indispensables au diagnostic et à l'entretien,

➤ **Les limitations**

- ↳ Elle ne met en évidence que les simples défaillances, ne peut donc traiter le cas de défaillances multiples et intégrer l'aspect fonctionnel
- ↳ Elle ne conduit pas à un modèle pour l'évaluation quantitative de la sûreté de fonctionnement.
- ↳ Elle est lourde et insuffisante

II.1.4. Conclusion

Il devient que toutes ces différentes méthodes de détection et diagnostic, évoquées précédemment, ont leurs points forts et leurs faiblesses. Ainsi, il est possible que certaines méthodes puissent se compléter laissant espérer de meilleurs système de diagnostic.

CHAPITRE III

ACQUISITION DES CONNAISSANCES AU SEIN DE LA STATION D'ENROBAGE

Résumé : Ce chapitre est divisé en deux parties. La première est réservée à la présentation générale de l'entreprise publique des travaux routiers du Sud-Est, son organisation et son outil de production, La deuxième est consacrée exclusivement à la démarche adoptée pour l'acquisition des données par une modélisation de système, Analyse fonctionnel et Analyse dysfonctionnel.

III.1. Introduction

Dans le contexte ci dessus l'Entreprise Publique des Travaux Routiers Sud-Est , a été prise comme lieu d'application de notre étude. Nous essayons, à travers cette application, d'illustrer la mise en œuvre de l'approche système expert dans le but d'établir un diagnostic.

D'abord nous donnons un bref aperçu sur le système de production de l'entreprise de manière générale afin de pouvoir situer le système à étudier, puis nous détaillons le système en question pour l'acquisition des connaissances nécessaire à notre étude.

III.2. Présentation générale de l'entreprise

L'EPTR SUD-EST est une Entreprise issue de la restructuration organique de l'Entreprise Publique SONATRO, elle a été créée par décret n° 194/83 du 12 Mars 1983 et passée à l'autonomie par décision du Conseil National de Planification en date du 14 Mars 1991 (Décision n° : 35/DP/CNP).

L'EPTR SUD-EST a pour vocation la réalisation, la maintenance et le renforcement des routes, autoroutes & aérodromes.

Par ailleurs, L'EPTR SUD-EST propose également à sa clientèle à l'échelle nationale, toutes les techniques liées à l'activité routière à savoir :

- Traitement de sol
- Fraisage
- Fabrication d'enrobés
- Techniques d'entretien,
- Ouvrages

Ainsi que de nouvelles techniques dont elle a des références avérées, telles que :

- La grave émulsion en couche de base
- L'enrobé drainant avec un uni très satisfaisant à la pose du tapis synthétique pour les stades (terrains et pistes d'athlétisme).

III.2.1. Cartographie de l'entreprise :

Pour mieux comprendre le déroulement des activités au niveau de l'EPTR SUD/EST on présente la cartographie de l'entreprise :

MISSION FONDAMENTALE : Réalisation des infrastructures routières, autoroutières et aéroportuaires

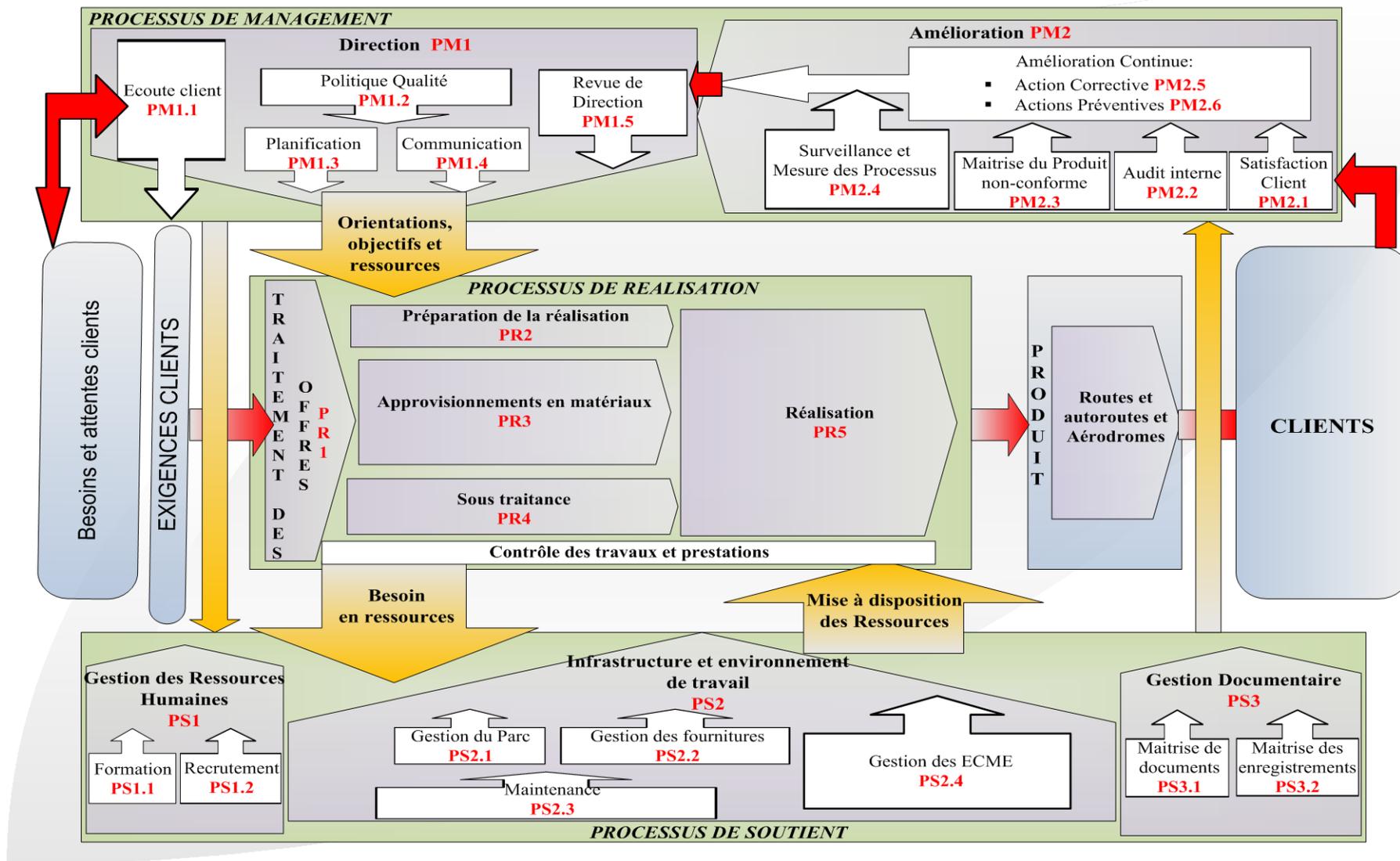


Fig.III.1 Cartographie des Processus et Sous Processus (Niveau 2)

III.2.2. L'organigramme de l'entreprise

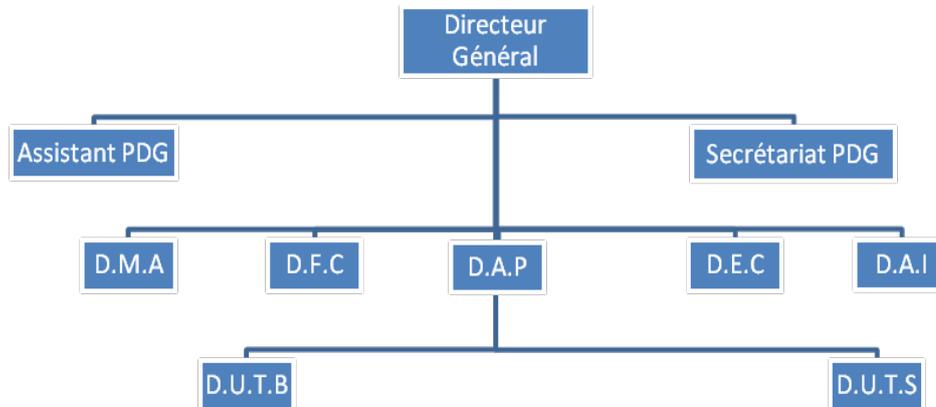


Fig.III.2 Organigramme de l'entreprise EPTR SUD-EST

DMA : Direction du matériel et approvisionnement

DFC : Direction des finances et comptabilités

DAP : Direction d'administration et du personnel

DEC : Direction des études et coordination

DAI : Direction d'audit interne

D.U.T.B : Direction d'unité des travaux de Batna

D.U.T.S : Direction d'unité des travaux de Sétif

III.2.3. Processus de production

Les principaux processus de réalisation sont les suivants :

- Exploitation de carrière pour la matière qui servira à la production d'agrégats
- Production d'agrégats
- Production d'enrobés
- Réalisation de la route

La production est répartie dans les 2 centres : unité des travaux Batna et l'unité des travaux Sétif à travers 3 stations de concassage et 3 stations d'enrobage.

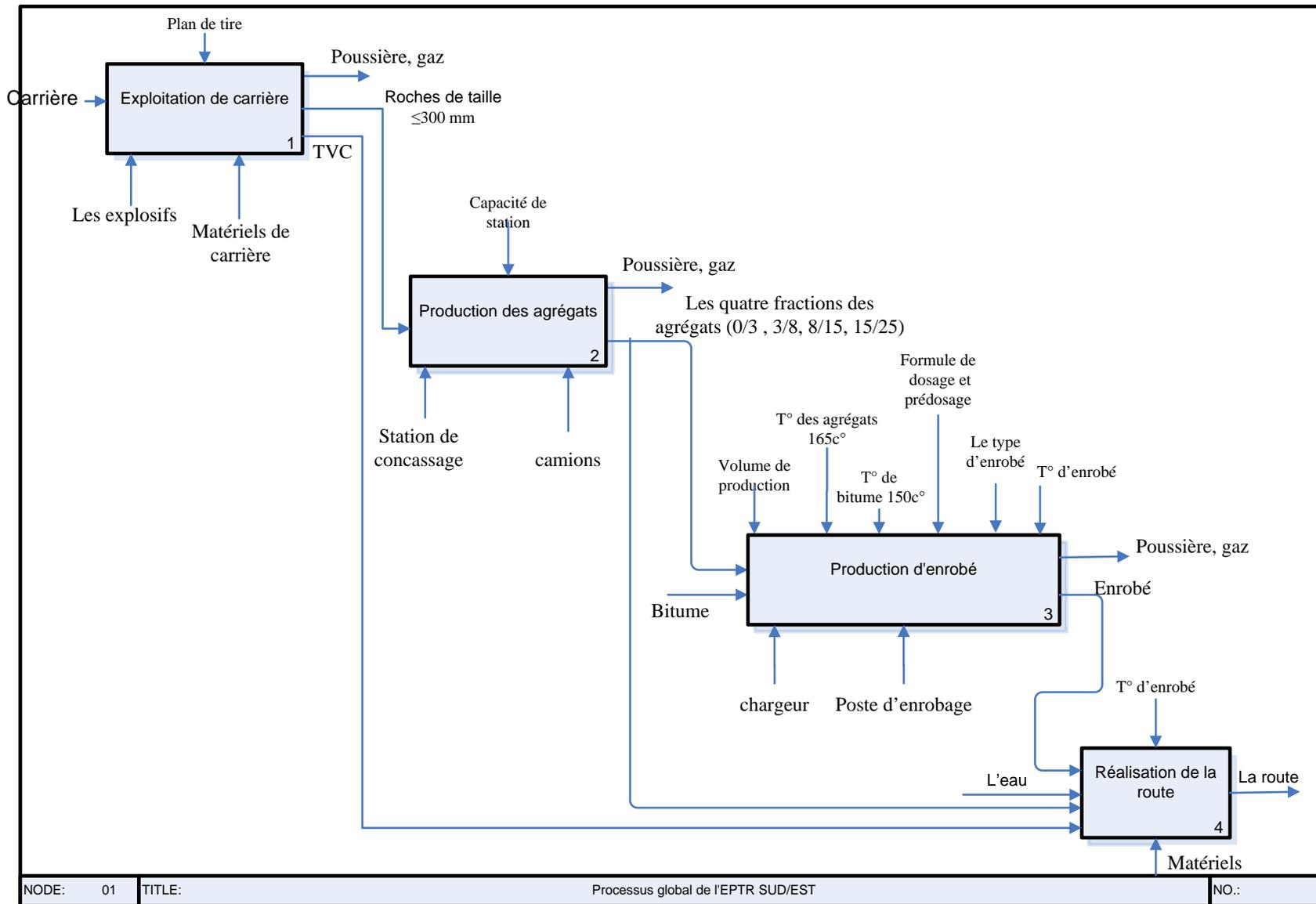


Fig.III.3 Organigramme du Processus global de l'EPTR SUD-EST

III.2.3.1. Exploitation de carrière pour la matière qui servira à la production

d'agrégats :

L'opération se déroule selon le cycle suivant :

- **Décapage** : décapage de la zone d'extraction on utilise la pelle hydraulique et le bulle
- **Forage** : Percement de trous verticaux d'environ 10 cm de diamètre dans la roche selon un écartement (la "maille") bien déterminé.
- **Minage** : Les trous de foration sont remplis d'explosifs. L'explosion successive des trous fragmente grossièrement (<800 mm) la roche et l'abat. Il y a un tir par mois et par carrière. Les commandes des explosifs sont faites après de l'ONEX (office national des explosifs) qui programme les tirs. Chaque tir produit environ 18000T de matériaux (10000M3)
- **Bris roche et tri** : Les matériaux grossiers sont cassés par un bris roche et Une pelle hydraulique où un chargeur à pneu récupère la roche abattue et la charge dans un engin de transport.
- **Transfert** : transfert du produit au moyen de camions vers la station de concassage
- **stockage** : stockage du produit dans des trémies de concasseur

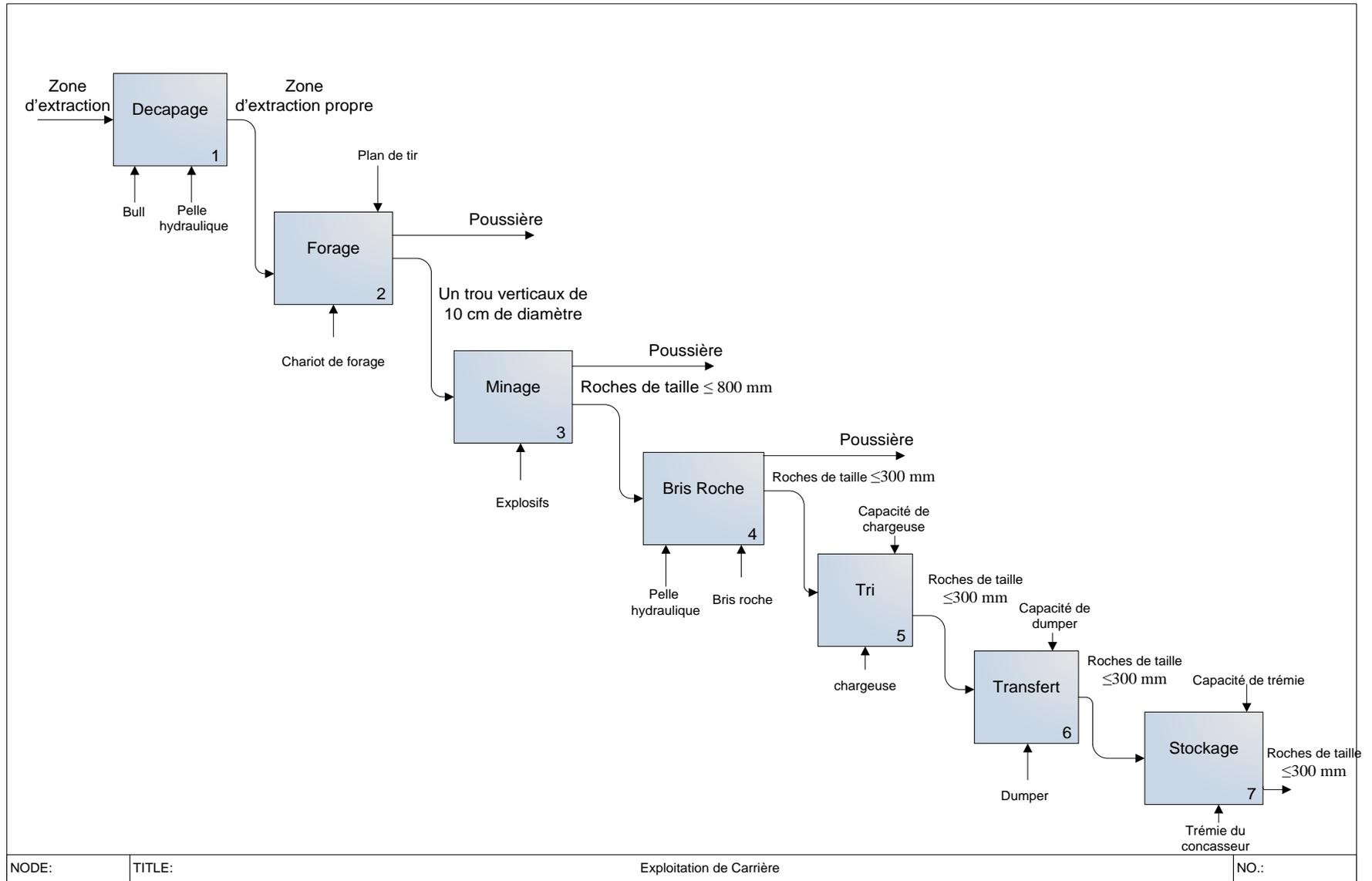


Fig.III.4 Organigramme du Processus Exploitation de Carrière

III.2.3.2. Production des agrégats

Les produits qui sont stocké dans les trémies de concasseur passent par les opérations suivantes :

- **Concassage primaire** : Les matériaux grossiers sont cassés par une action mécanique directe, par exemple la fermeture de deux mâchoires verticales ou la projection violente sur un écran métallique. On cherche généralement à obtenir des matériaux allant de 0 à 200 mm.
- **Criblage primaire** : à l'issue du concassage primaire les matériaux sont envoyés par des convoyeurs à bande sur une série de grilles vibrantes. La taille des trous dans les grilles permet de trier les matériaux. Ceux suffisamment petits pour être commercialisés sont mis en stock, les autres partent vers le broyage secondaire.
- **Mise en pré-stock** : Optionnel, la mise en stock et la reprise des matériaux destinés à un traitement ultérieur permet de donner une souplesse de fonctionnement à l'usine. La partie primaire peut ainsi fonctionner séparément du reste de l'installation.
- **Broyage secondaire** : les matériaux trop gros sont cassés par une action mécanique souvent indirecte utilisant l'attrition. Les broyeurs coniques verticaux giratoires sont courants. On cherche alors à réduire la taille des plus gros à 40 mm.
- **Criblage secondaire** : Même principe que précédemment, mais les matériaux trop gros repassent dans le broyeur secondaire, les autres partent soit vers le broyage tertiaire, soit vers les stocks commercialisables.
- **Broyage tertiaire** : on cherche à obtenir des matériaux inférieurs ou égale à 25 mm de diamètre.
- **Criblage tertiaire** : Plusieurs cribles en séries finissent de séparer les granulats en "coupures" de plus en plus fines.
- **Transport** : transfert du produit à travers une bande de transfert
- **stockage** : stockage du produit dans des silos de stockage

NB : Les carrières ne sont pas suffisantes pour les besoins en matériaux de l'entreprise : 40% des agrégats proviennent des carrières, 60% sont achetés.

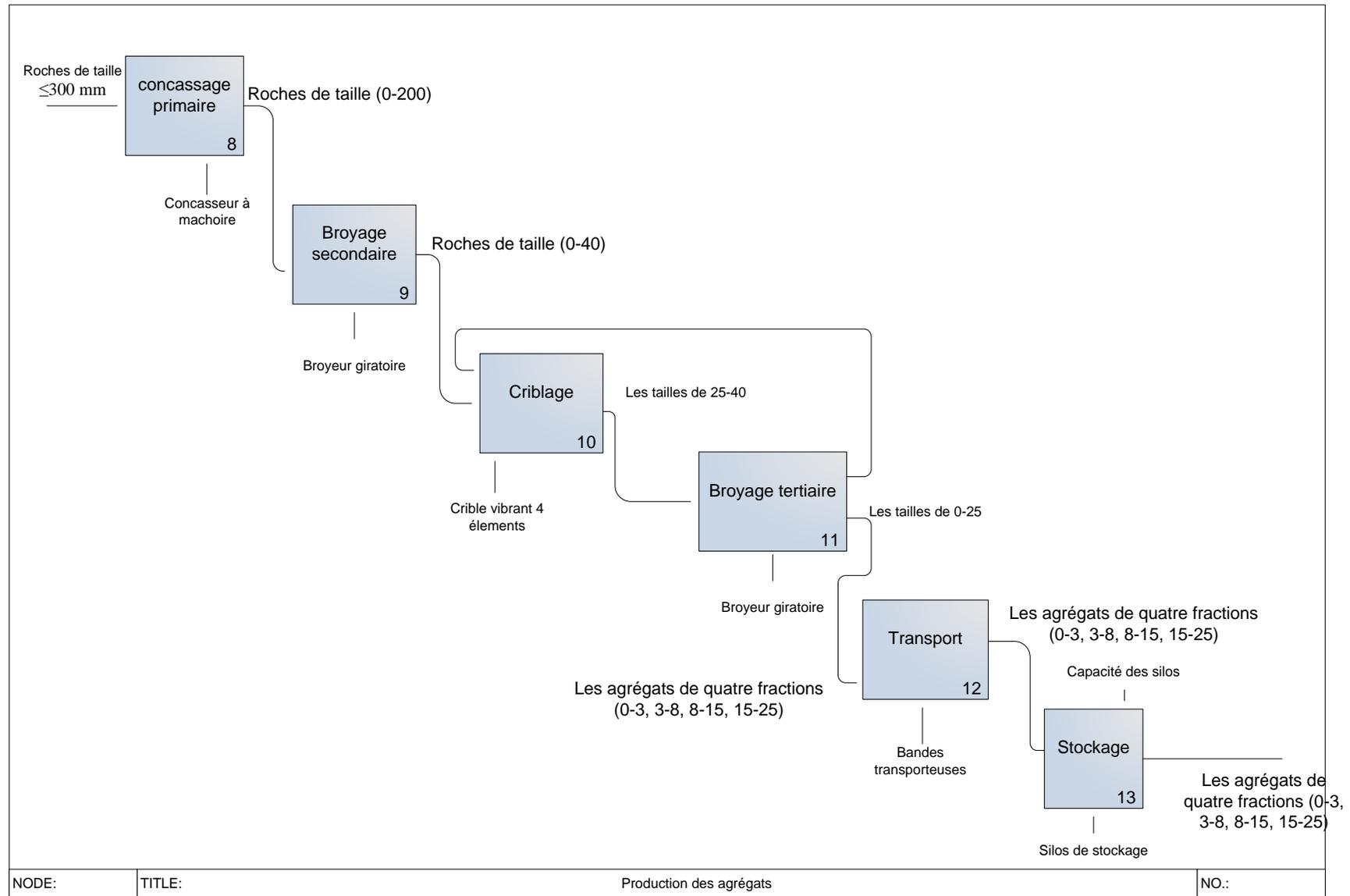


Fig.III.5 Organigramme du Processus Production des Agrégats

III.2.3.3. Productions d'enrobés

a) Caractéristique d'enrobé :

Un enrobé bitumineux est constitué de différents matériaux :

- des **granulats** : graviers de diamètre supérieur à 80 micromètres.
- des **finés** ou **fillers** : sables et poussières de section inférieure à 80 micromètres. Ces éléments, présents naturellement en faible quantité dans les granulats, sont essentiels pour réaliser l'enrobage du **liant (le bitume)** avec les granulats, car ce sont les fines qui agrègent le bitume.

b) Familles d'enrobés bitumineux :

Il s'agit des enrobés fabriqués à chaud (aux alentours de 180°C) et appliqués à chaud (aux alentours des 150°C)

- **Béton bitumineux (BB)** : Enrobé riche en bitume, utilisé principalement pour les couches de roulement, c'est à dire pour les couches supérieures de la chaussée. Les bétons bitumineux se classent en fonction de leur granulométrie :
 - ↗ **Béton Bitumineux Ultra Mince (BBUM)**: Granulométrie inférieure à 2cm, utilisé pour les couches d'accrochage destinées à lier 2 couches.
 - ↗ **Béton Bitumineux Très Mince (BBTM)** : Granulométrie inférieure à 2,5 cm. Permet d'élaborer des couches de surfaces très lisses, notamment des ouvrages urbains (places alternant pavés et enrobés) ou sportifs (skatepark).
 - ↗ **Béton Bitumineux Mince (BBM)** : Granulométrie de 3 à 5 cm.
 - ↗ **Béton Bitumineux Semi-Grenu (BBSG)** : Très utilisé en France pour les couches de roulement. Granulométrie allant de 6 cm à 14 cm.
- **Grave bitume (GB)** : Enrobé à plus faible teneur en liant (bitume) destiné aux couches de fondation ou d'assise (sous-couches).

On distingue également d'autres formules plus rarement utilisées :

- Enrobé à Module Elevé (EME)
- Enrobé drainant
- Enrobé avec adjonction de colorant
- Enrobé avec adjonction de polyéthylène
- Enrobé avec adjonction de verre pilé

- Enrobé avec adjonction de matériau local.

c) Technique de fabrication

Les enrobés sont fabriqués par une centrale d'enrobage (ou poste d'enrobage) à chaud. L'entreprise à 3 stations d'enrobages. La 1^{ère} au niveau de Ain touta, la 2^{ème} au niveau de Sétif, et la dernière au niveau de Bousaada.

Le processus de fabrication est détaillé par la suite dans la partie de diagnostic.

III.2.3.4. Réalisation de la route :

Les chaussées se présentent comme des structures multicouches mises en œuvre sur un ensemble appelé plate forme support de chaussée, constitué du sol terrassé, dit sol support le plus souvent surmonté d'une couche de forme.

La couche de forme est surmontée d'une couche d'assise elle-même constituée d'une couche de fondation et d'une couche de base composés de matériaux liés par du bitume (enrobés).

Enfin la structure est complétée par une couche de surface constituée d'une couche de liaison avec la couche d'assise et d'une couche de roulement (**figure III.6**).

L'ensemble couche de forme et couche d'assise constitue le corps de chaussée.

Les opérations de terrassement permettent de réaliser la plate forme support de chaussée. On utilise à ce stade des décapeuses ou scrapers poussés par des boteurs (bulldozer), des pelles mécaniques et des tombereaux (dumpers), des chargeuses.

La mise en forme des chaussées est réalisée par des niveleuses ou motorgrader et des engins de compactage. Le terrain est humidifié pour des arroseuses pour les besoins du compactage.

La couche de roulement est réalisée par des « finisseurs » épandeurs de bitume et des compacteurs

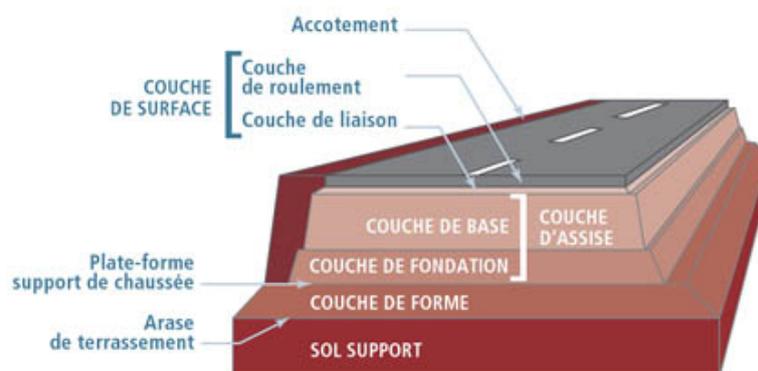


Fig.III.6 La structure de la route

III.3. Analyse des connaissances au sein de la Station d'Enrobage

III.3.1. Introduction :

Après l'étude de système générale de l'entreprise on a choisi un des processus de production qui influe directement sur la réalisation de la route qui est bien la production des enrobés (enrobé de bon qualité \longrightarrow 80% de la route sorte de bonne qualité) pour l'application notre démarche de diagnostic.

Dans L'EPTR la production des enrobés est assurée par trois stations d'enrobage qui sont installées dans des différents endroits, une station située à sétif et une autre à Ain touta et la dernière à bousaada, et notre application est appliquée sur la station d'enrobage de bousaada (MARINI RS 1500) parce qu'il est automatique.

III.3.2. Objectif :

L'objectif de notre étude est d'adopter une démarche fiable de diagnostic qui est compatible avec le système de production pour une finalité d'analyse des moyens et équipements de production effectuée est l'amélioration de la disponibilité (fiabilité + maintenabilité) à travers la maîtrise des défaillances. Les modèles réalisés au cours de cette analyse sont exploités pour l'identification et le diagnostic des dysfonctionnements toujours dans le cadre des objectifs d'obtention du rendement global maximum de l'outil de production.

Dans cette partie, nous procédons à une analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle en vue de créer une base de connaissances pour la station d'enrobage, tout en commençant par une définition du système, une modélisation du fonctionnement de système en utilisant la méthode GRAFCET (GRAPhe Fonctionnel de Commandes Étapes Transitions), une analyse fonctionnelle en utilisant la méthode SADT (Structure Analysis and Design Technic), puis nous dressons une étude dysfonctionnelle en se basant sur l'outils AMDEC (Analyse Des Modes de Défaillances et de leurs Effets et leur criticité).

III.3.3. Définition du système :

Le poste d'enrobage est spécialisé dans la réalisation des enrobés, ce système est discontinu comprenant :

- 4 prédoseurs
- Tapis collecteur

- Elévateur à froid
- Sécheur ;
- Filtre à manche
- Silos pour filler
- Bruleur ;
- Elévateur à chaud;
- Tamis à quatre sélections ;
- Trémies de matériau sélectionné ;
- 3 Doseurs des agrégats, du filler et du bitume ;
- Malaxeur ;
- Benne ;
- Tapis transporteur ;
- Silo pour les produits finis ;
- Cabine de commande
- Groupe du chauffage de bitume
- Groupe électrogène

✓ **Processus de production :**

Pour la production d'enrobé il faut suivre les étapes suivantes :

- **Chauffage Bitume :** avant de commencer la production on démarre la chaudière pour chauffer le bitume à 165c°.
- **Alimentation :** remplissage de trémies ("prédoseurs") avec les différentes sections de granulats, à l'aide d'un chargeur. Adjonction éventuelle de fillers.
- **Convoyage :** les prédoseurs déversent leur contenu à des vitesses différentes correspondant à la proportion désirée par section de matériau (en fonction de la formule d'enrobé à produire), sur un tapis convoyeur.
- **Séchage :** les matériaux sont enfournés dans le tambour sécheur de la centrale, qui est

un cylindre pouvant mesurer plus de 10 mètres de long et 2 m de diamètre, animé par des galets provoquant sa rotation, et disposant à l'autre extrémité d'un brûleur (généralement alimenté au fioul lourd), dont la flamme peut mesurer plusieurs mètres. A l'entrée du tambour, et tout au long de leur progression à l'intérieur de celui-ci, les matériaux sont séchés à 165°C par la température de la flamme.

- **Malaxage** : tout au long de leur progression, les matériaux sont mélangés grâce à la rotation du tambour et des lames placées à l'intérieur.
- **Adjonction des fines évaporées** : les fumées issues du séchage sont filtrées et les fines contenues dans ces fumées sont ré-injectées dans le tambour afin de respecter la granulométrie initiale.
- **Adjonction du bitume** : les matériaux parvenant à l'autre extrémité du malaxeur sont "enrobés" avec le bitume injecté à l'aide d'une pompe selon la teneur désirée, et un dernier malaxage est effectué.
- **Déchargement** : l'enrobé produit est déchargé dans une benne
- **Stockage** : l'enrobé produit est ensuite stocké en trémies, soit à l'aide d'un chariot dans lequel on déverse l'enrobé en sortie du malaxeur par gâchées, soit en continu à l'aide de tapis adaptés.
- **Convoyage** : l'enrobé stocké est ensuite chargé dans les camions qui se placent sous les trémies de stockage, ou se trouve une bascule.

Les enrobés chauds sont transportés dans des camions disposant d'une benne munie de trappes à l'arrière. La législation dans un grand nombre de pays occidentaux impose que les bennes doivent être bâchées lors du transport d'enrobés chauds. Un enrobé stocké dans la benne d'un camion bâché peut rester plusieurs heures à température, mais il est indispensable de l'appliquer rapidement avant qu'il refroidisse (au dessous de 130°C, un enrobé est très difficile à travailler, et la qualité de l'application peut être remise en cause).

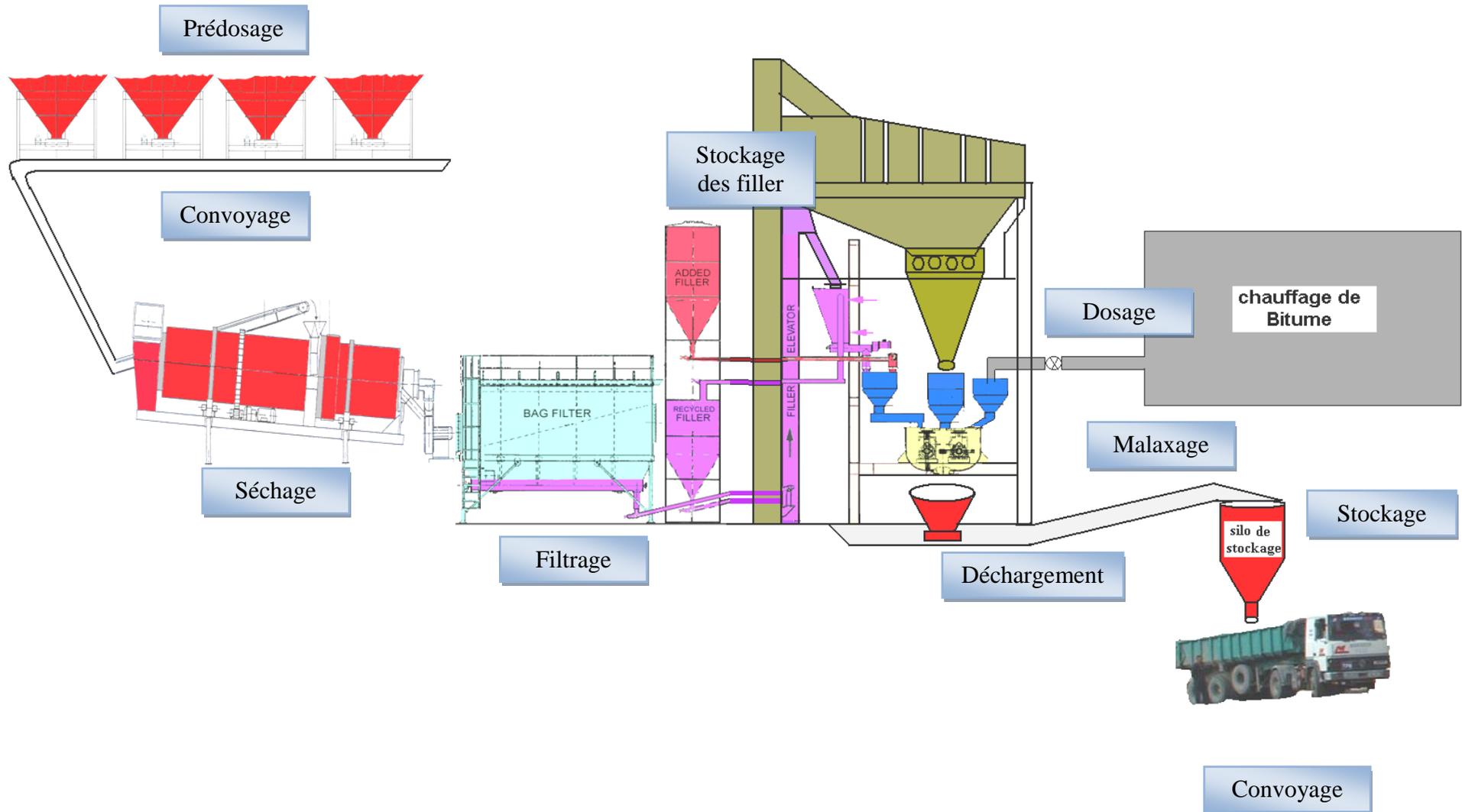


Fig.III.7. Processus de fabrication des enrobées

III.3.4. La démarche adoptée au sein de la station d'enrobage

Nous décrivons dans ce qui suit la démarche pratique comprenant les modalités de recueil, d'analyse et de structuration des connaissances relatives au système étudié en vue de l'élaboration d'un outil d'aide à la détection et diagnostic des défaillances. Les différentes étapes de l'analyse peuvent être structurées en trois phases principales: Modélisation du système, Analyse du fonctionnement et Analyse du dysfonctionnement.

III.3.4.1. Modélisation de système de production :

a) Introduction

La taille et la complexité du fonctionnement des équipements de la station d'enrobage ne permettent pas facilement une connaissance analytique et exhaustive. En conséquence, la modélisation de l'installation pour le diagnostic ultérieur des défaillances demande un très lourd effort d'investissement de la part des cognitivistes.

Après l'étude de notre système on a trouvé que ce système est constitué de deux parties une partie opérative et une partie de commande (cabine de commande). Comme ce système est automatisé, on a choisi une des méthodes de modélisation qui est utilisé pour les systèmes automatisés qui est bien le GRAFCET.

b) GRAFCET :

Le langage GRAFCET (GRAPhe Fonctionnel de Commandes Étapes Transitions) a été introduit en 1977 par l'AFCET (Association Française pour la Cybernétique Economique et Technique). La dernière norme date de 2002 (Norme internationale CEI 60848 seconde édition).

Il s'agit d'un langage graphique permettant de définir le comportement séquentiel d'un système automatisé à partir de la connaissance des actions à entreprendre, associées à des variables de SORTIES, et des événements qui peuvent permettre le passage d'une situation à une autre, associés à des variables d'ENTREE (**figure.III.8**).

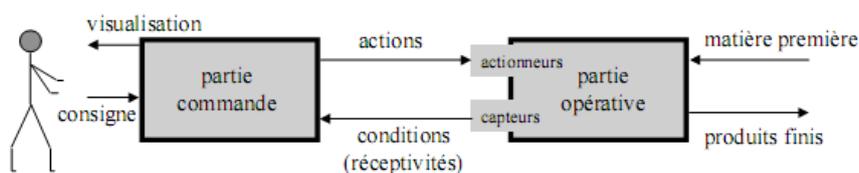


Fig.III.8. Le principe de fonctionnement d'un processus automatisé

c) Le GRAFCET de la station d'enrobage :

L'industrie a développé et utilise depuis de nombreuses années des techniques pour identifier, analyser, gérer et réduire tout type de défaillances, d'arrêt et de catastrophes. Incluant leur connaissance, leur évaluation, leur prévision et leur maîtrise ; tout en s'appuyant sur la modélisation des systèmes. L'objectif de cette approche est de schématiser n'importe quel ensemble complexe, d'aboutir à un modèle qui permet d'agir sur lui, après avoir acquis une bonne connaissance de sa structure fonctionnelle.

Donc pour cela La première démarche que nous avons adoptée pour l'acquisition des connaissances est basée sur l'outil de modélisation de notre système à étudié c'est la méthode GRAFCET, qu'on a vu l'outil le plus efficace pour notre étude.

Donc dans un premier lieu on réalise le GRAFCET général de notre système par des Macro étape dans le but de réduire la taille de grafcet (**figure III.9**),

Nous décrivons notre système à partir du contexte processus qui le caractérise du quatre macro étapes :

- Préparation pour démarrage
- Démarrage de poste d'enrobage
- Lancement de la production
- Extinction de la station d'enrobage

Et par la suite on a détaillé les quatre Macro étape par des grafcet plus détaillé.

Le GRAFCET des quatre Macro étape est présentée en **Annexe B**

III.3.4.2. Analyse fonctionnelle

L'analyse fonctionnelle est définie comme une démarche qui consiste à rechercher, ordonner, caractériser, hiérarchiser et/ou valoriser les fonctions spécifiques au système (NF X 60-150); L'importance de la modélisation fonctionnelle réside dans le fait que l'on raisonne en terme de fonction et qu'il est nécessaire de préciser les données d'entrée, de sortie et les données de pilotage. La deuxième démarche que nous avons adoptée pour l'acquisition des connaissances est basée sur l'outil d'analyse fonctionnelle SADT.

L'application de cette méthode sur le poste d'enrobage nous a permis de constater deux niveaux de représentation que nous jugeons suffisantes pour une bonne compréhension du système en question: A-0 premier niveau de la description fonctionnelle descendante (**figure.III.10**). Il représente le système d'une manière générale; A0 qui donne une

représentation plus détaillée pour visualiser les mécanismes du système étudié (figure.III.11).

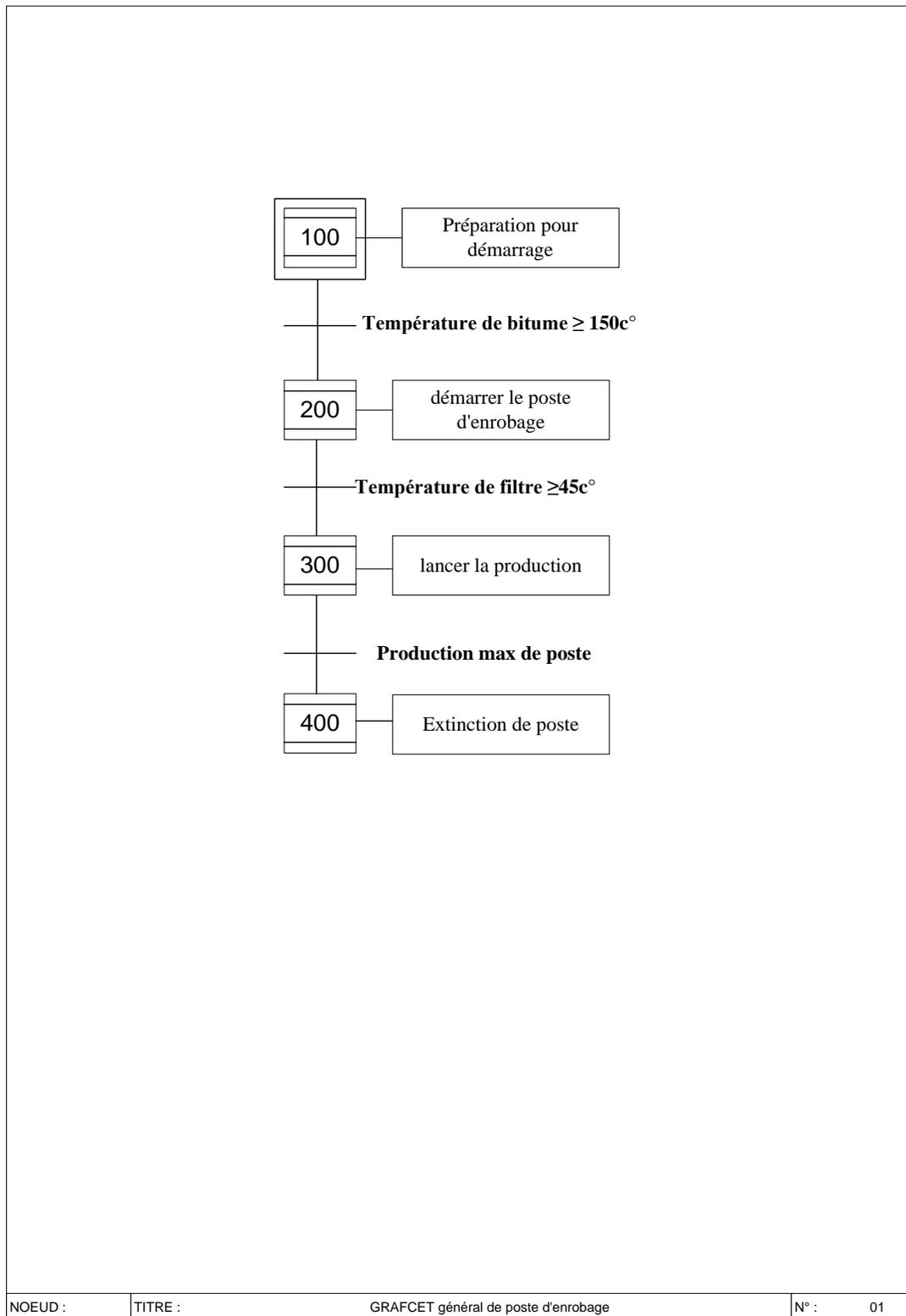


Fig.III.9. Le GRAFCET général de poste d'enrobage

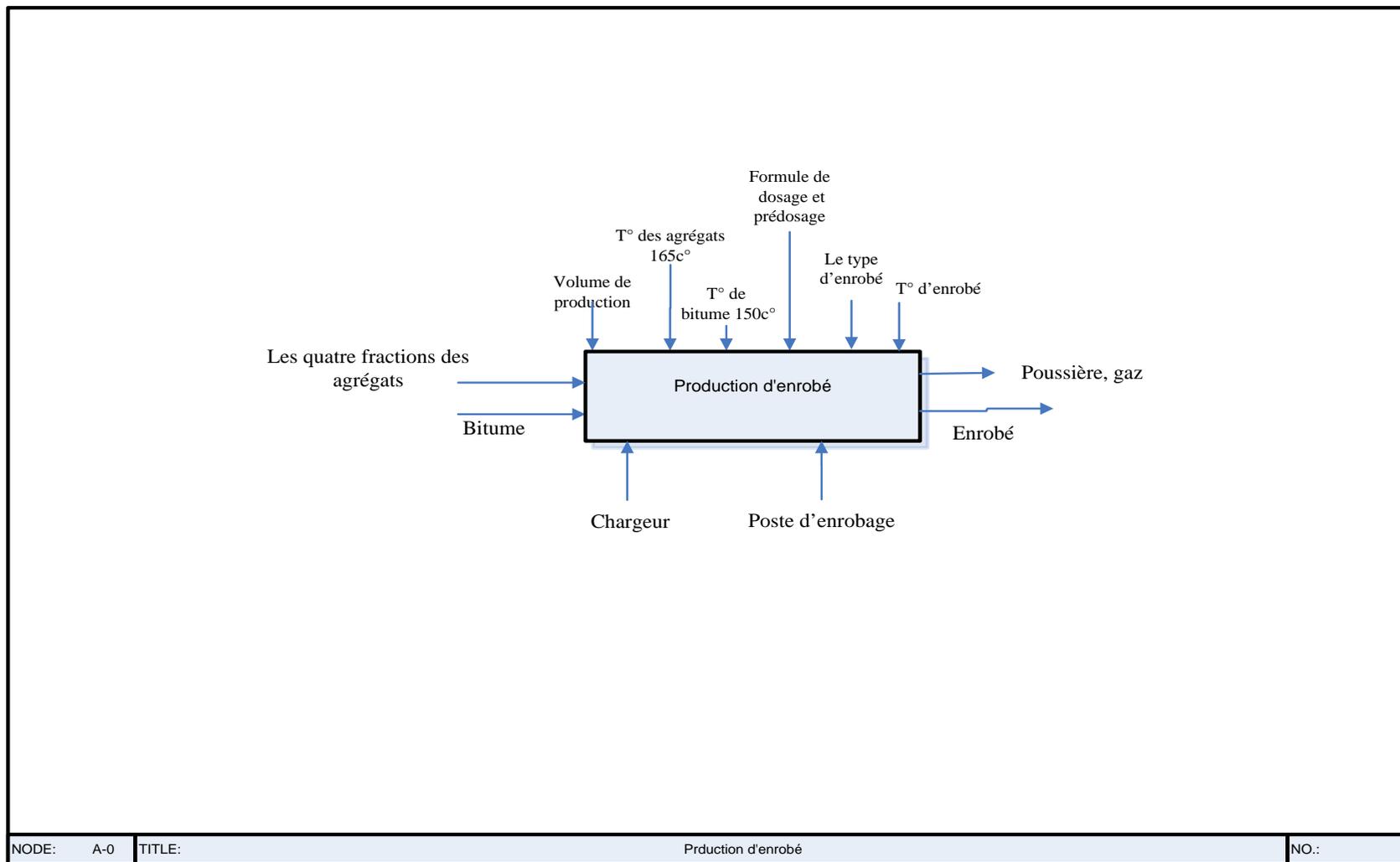


Fig.III.10. SADT production d'enrobé (niveau A-0)

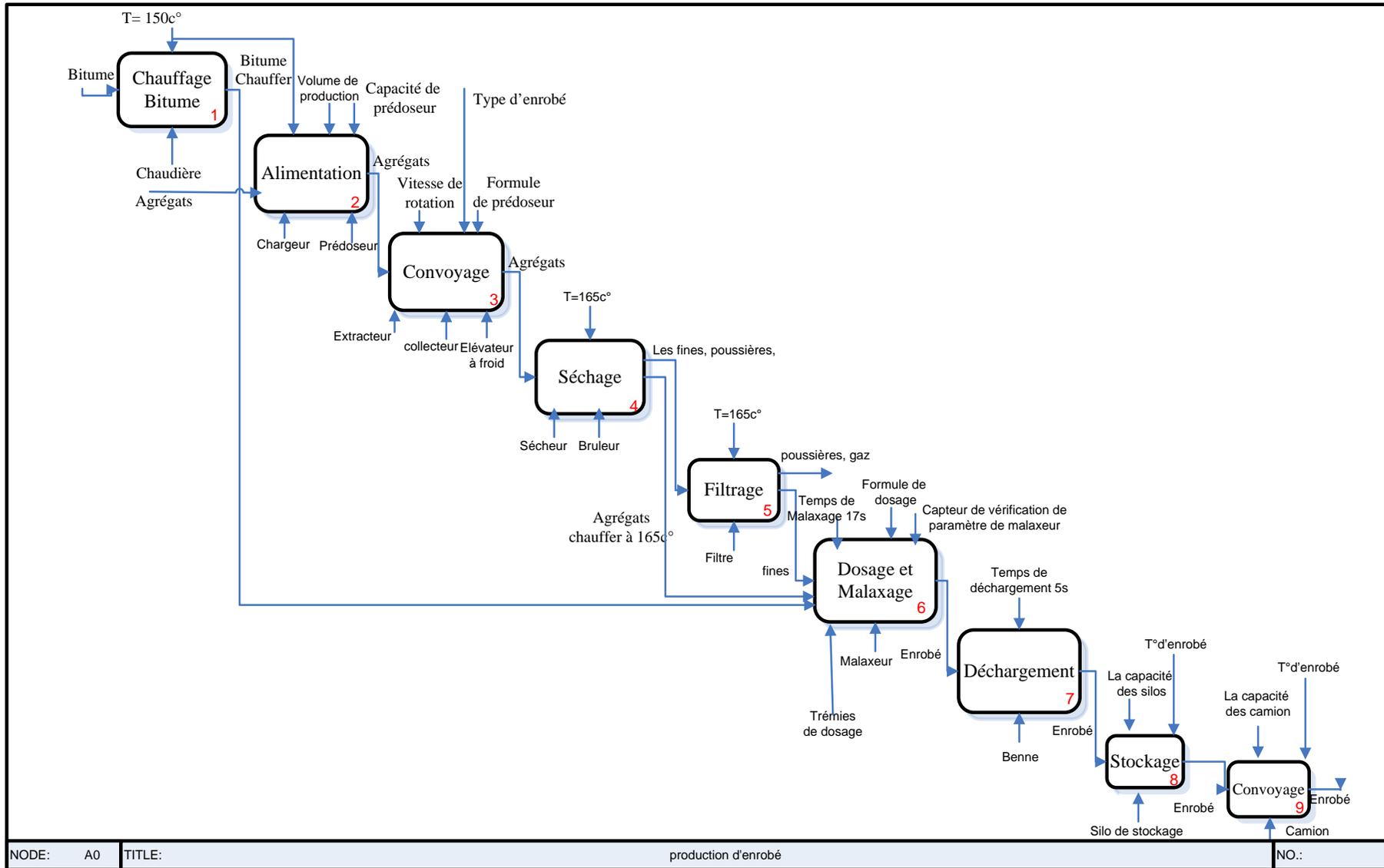


Fig.III.11. SADT production d'enrobé (niveau A0)

III.3.4.3 Analyse dysfonctionnelle

L'analyse dysfonctionnelle est la troisième étape que nous avons adoptée pour l'acquisition des connaissances, elle permet : D'identifier les défaillances qui peuvent affecter le système et leurs causes ; De déterminer la criticité de ces défaillances ; De guider l'analyste pour choisir une bonne stratégie de maintenance.

Cette étape a pour objectif l'identification des dysfonctionnements pouvant affecter la mission du système, elle s'effectue à travers la mise en œuvre de l'analyse des modes de défaillance, de leurs effets et leur criticité, L'AMDEC de la station d'enrobage est présentée en **Annexe C**.

Cette analyse est grandement facilitée par la connaissance des modèles structurels et fonctionnels de l'installation. Ceux-ci permettent de recenser toutes les défaillances envisageables. En effet, le principe de décomposition fonctionnelle est indispensable pour éclaircir les notions de défaillance, de leurs causes et de leurs effets.

Ainsi, les modèles fonctionnels élaborés dans la phase de modélisation et d'analyse fonctionnelle servent de base pour l'élaboration des modèles dysfonctionnels. En particulier, au niveau des unités fonctionnelles, l'identification des états défaillants (ou dégradés) sources d'événements indésirables est obtenue à partir du modèle fonctionnel.

Les modes de défaillance pris en compte dans le modèle réalisé sont issus des états défaillants (ou dégradés) relatifs aux équipements et composants (capteurs, vannes, pompes,...) et les erreurs humaines. Leur propagation conduit successivement à l'occurrence des anomalies (température élevée, débit insuffisant,...) au niveau du processus analysé.

III.4 Conclusion

La démarche suivie dans ce chapitre nous a permis de comprendre la station d'enrobage dans ses deux aspects : fonctionnel et dysfonctionnel. L'importance de celle-ci, réside dans la possibilité de procéder à une détermination rigoureuse des différentes relations entre des effets observés sur le système étudié ou sur le système entier, et les causes pouvant être sources de ces effets. Les relations déterminées seront exploitées dans le chapitre suivant pour la création de la base de règles du système de diagnostic.

En outre, l'efficacité d'un système expert dans le domaine du diagnostic des défaillances est s'articule sur la performance de la base des règles.

CHAPITRE IV

Développement d'un outil d'aide à la détection et diagnostic des défaillances par le générateur G2

Résumé : *Dans ce chapitre nous allons exploiter les résultats obtenus dans les trois phases de modélisation, d'analyse fonctionnelle et d'analyse dysfonctionnelle pour développer une base de connaissances, c'est-à-dire, développer les règles de production des différents dysfonctionnements du poste d'enrobage en se basant sur les relations effet –causes obtenues par les méthodes GRAFCET , SADT et AMDEC. Donc nous détaillons la démarche adoptée pour la conception d'un outil d'aide à la détection et diagnostic des défaillances au sein de la station d'enrobage par l'outil de développement, G2.*

IV.1. Introduction :

Dans le contrôle des procédés complexes, la connaissance profonde n'est souvent pas disponible complètement. Par contre, il est possible de la définir, en partie, à l'aide de différents modèles. Le choix de modèles appropriés s'avère capital pour le diagnostic. Même pour des systèmes simples, un tel modèle s'avère très complexe parce qu'il doit permettre de donner une information sur l'ensemble des anomalies [Combastel, 00].

Dans les salles de contrôle de systèmes industriels complexes, ainsi que dans certains engins de transport, la tendance actuelle consiste à assister l'opérateur humain à l'aide d'outils basés de plus en plus sur des techniques d'intelligence artificielle. Ces outils ont pour rôle d'assister l'opérateur lors de sa démarche de résolution de problèmes. C'est dans ce cadre que s'inscrit notre application industrielle.

Nous présentons dans un premier temps l'objectif global du système à concevoir et ses spécifications. Ensuite nous détaillons l'établissement de l'outil de diagnostic.

IV.2. Objectif du système :

L'objectif du système à concevoir est de déterminer (chercher, trouver) les éléments défaillants qui ont causé le dysfonctionnement du poste d'enrobage et qui influe sur la qualité de produit. C'est-à-dire, le système doit être capable de répondre aux questions: « Quelle est la cause des symptômes? », « Pourquoi le poste d'enrobage est en dysfonctionnement ? », ou « Quelle est la cause de la panne? », «pourquoi le produit est de mauvaise qualité»

Le schéma de système est représenté sur La **figure IV.1**

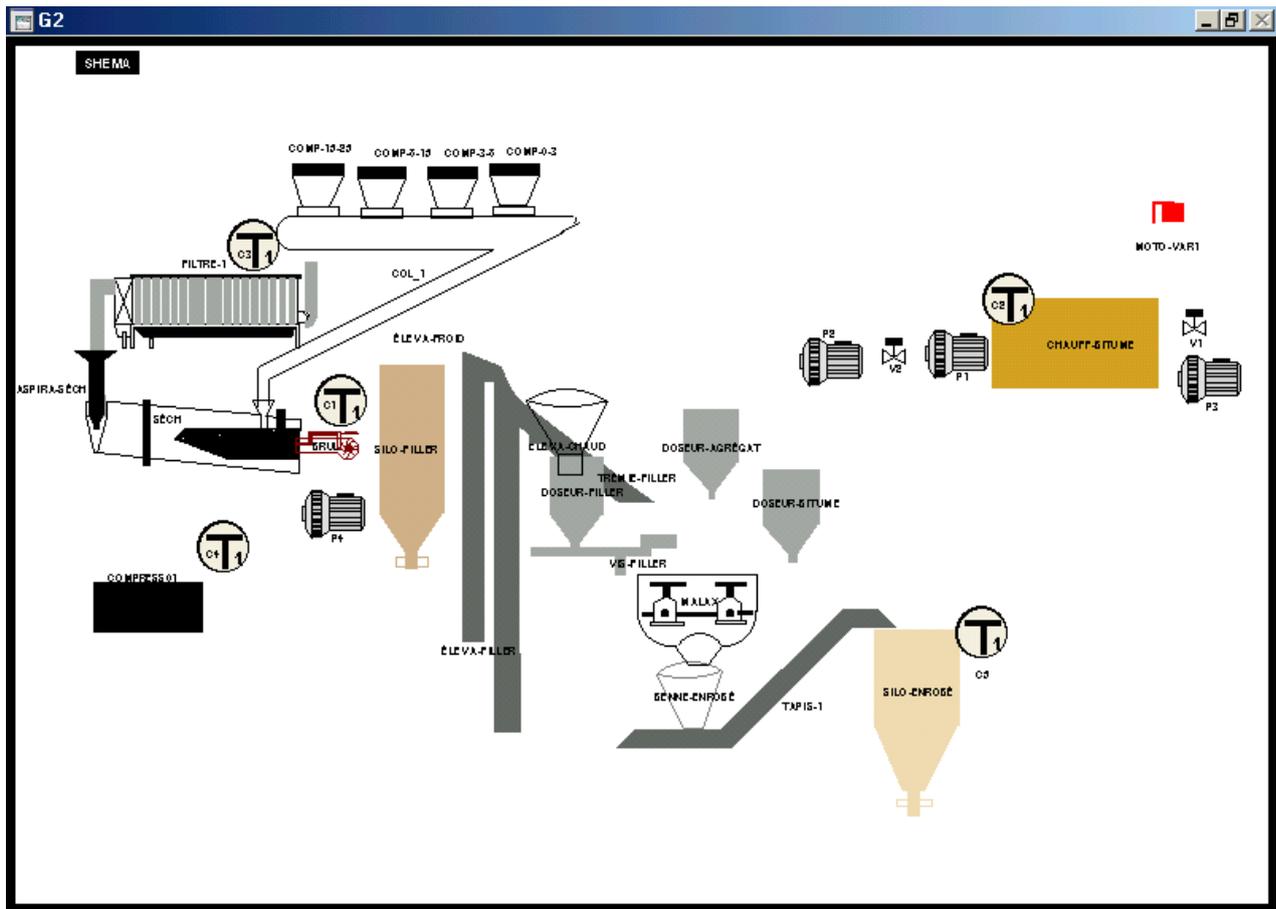


Figure IV.1 : schéma du système

IV.3. Approche de diagnostic par le générateur G2:

IV.3.1. Spécification dans G2 :

Comme nous l'avons explicité dans l'annexe D, toute connaissance à l'intérieur du système expert G2 est contenue dans des espaces de travail (workspaces) qui sont définis hiérarchiquement comme tout objet dans G2 de façon générale. Un workspace peut donc avoir un ou plusieurs espaces engendrés (subworkspaces) tout comme il peut avoir un espace parent (higher-level workspace).

Pour notre application, nous avons défini un workspace (TOP-LEVEL-00) qui regroupe 05 grandes classes d'espaces de travail (figure IV.2) : d'abord celle regroupant les définitions (Définitions-composants), le workspace comportant les règles (règles de procédure), un workspace englobe tous les variable, un workspace comportant les commandes (simulation) et enfin le workspace des procédures (conduite-alerte), et un workspace des variables. Bien entendu chacun de ces 05 espaces est composé à son tour de plusieurs sous-espaces.

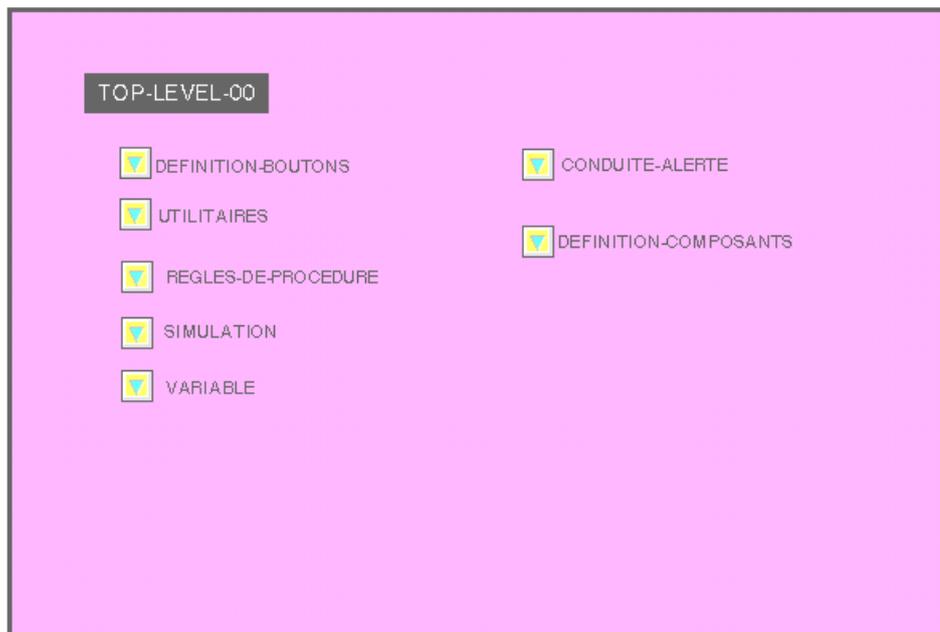


Figure IV.2 : Table des workspaces principale

IV.3.1.1. Définitions des composants :

Dans cet espace, sont définis tous les objets utilisés par la simulation. La **figure IV.3** regroupe les classes d'objets avec des exemples d'instances pour chaque classe. Ainsi la classe mère dans notre cas «poste d'enrobage frome-EPTR-01» possède 20 sous-classes (comportement0-3, comportement3-8, comportement8-15, comportement15-25, collecteur, élévateur à froid, filtre, sécheur, bruleur, élévateur à chaud, doseur filler, doseur agrégat, doseur bitume, malaxeur, tapis transporteur, benne, silos de stockage produit fini, silos de stockage filler, vis de filler, compresseur, groupe de chauffage bitume).

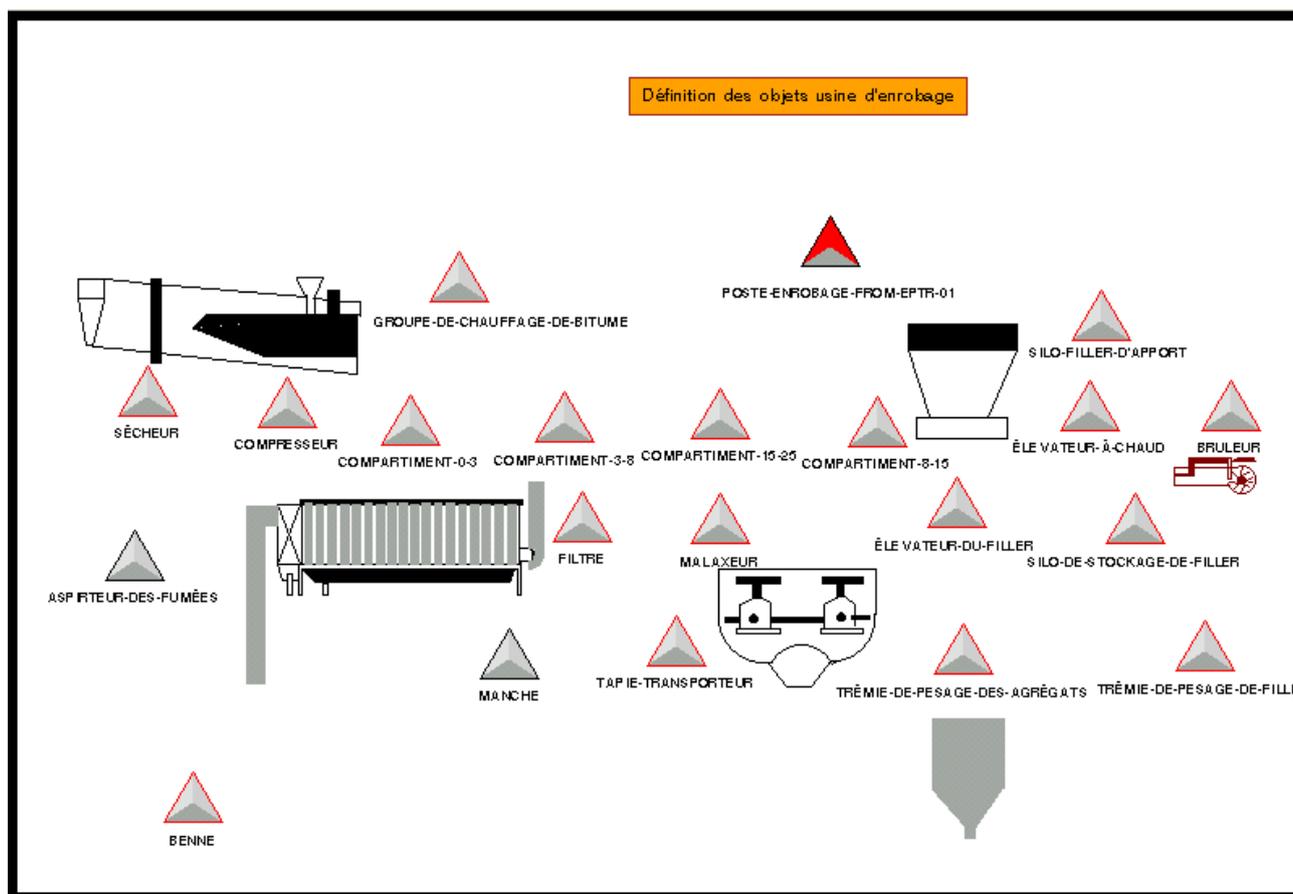


Figure IV.3 Les objets de la station d'enrobage

La sous-classe filtre possède à son tour deux sous-classes : aspirateurs des fumés et la sous-classe manche,

En cliquant sur un objet donné, nous pouvons voir les attributs qui lui sont spécifiques (les valeurs d'attributs).

Ces attributs peuvent être de nature différente. Sur la **figure IV.4** sont présentés quelques exemples d'attributs à titre d'illustration.

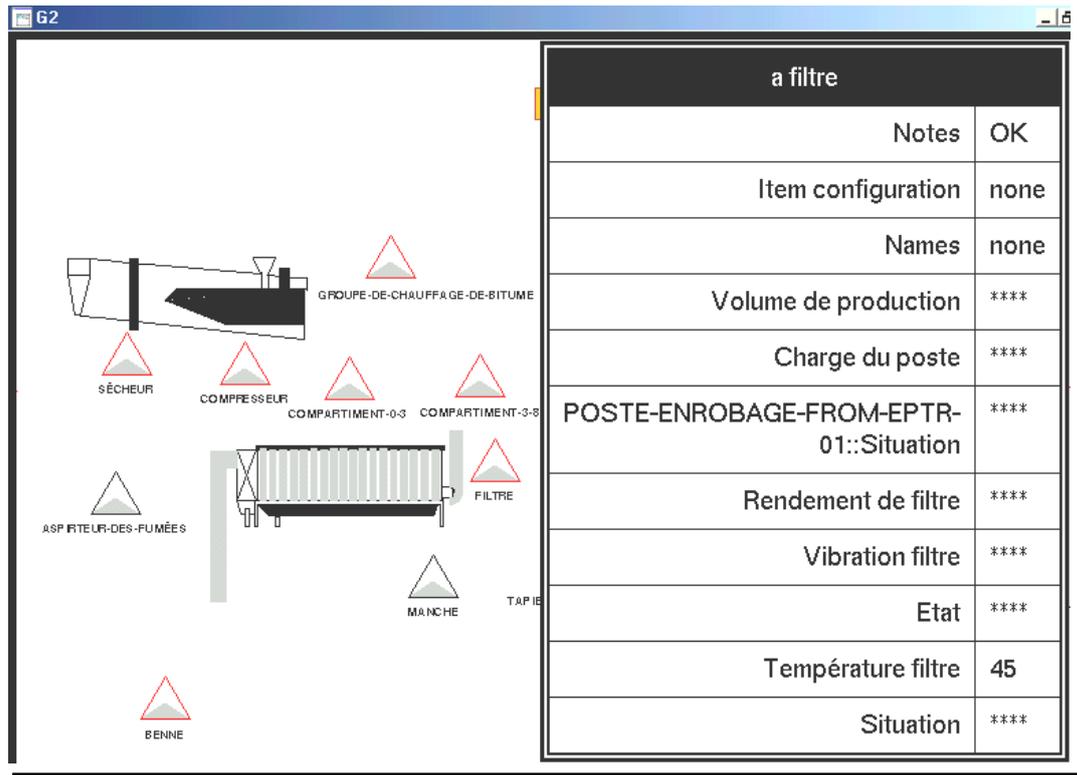


Figure IV.4 Exemple d'attributs

IV.3.1.2. Les règles :

Pour notre application, (Figure IV.5) représente un workspace (ensembles des règles du diagnostic) qui regroupe à son tour de plusieurs sous-espaces (règles transporteur, règles prédoseurs, règles sécheur, règles bruleur, règles de filtre...etc).



Figure IV.5 Ensembles des règles du diagnostic

IV.3.1.3. Les Commandes de Simulation :

La partie de simulation qui englobe tous les commandes pour tester le système, et ces commandes est répartie selon le type d'équipement (figure IV.6) qui regroupe à son tour de plusieurs sous-espaces (commandes de transporteur, les commandes de collecteur, les commandes de filtre...etc).



Figure IV.6 Exemple des commandes de simulation

En cliquant sur une commande donnée, nous pouvons voir les commandes qui lui sont spécifiques. La(figure IV.7-a) et (figure IV.7-b) sont présentés quelques exemples à titre d'illustration.

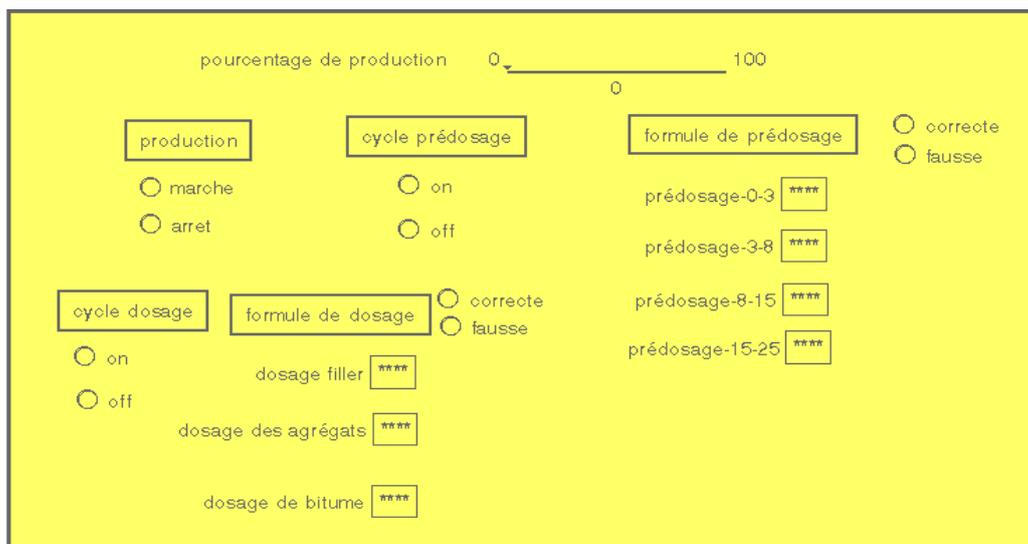


Figure IV.7-a Exemple des commandes de simulation de la production

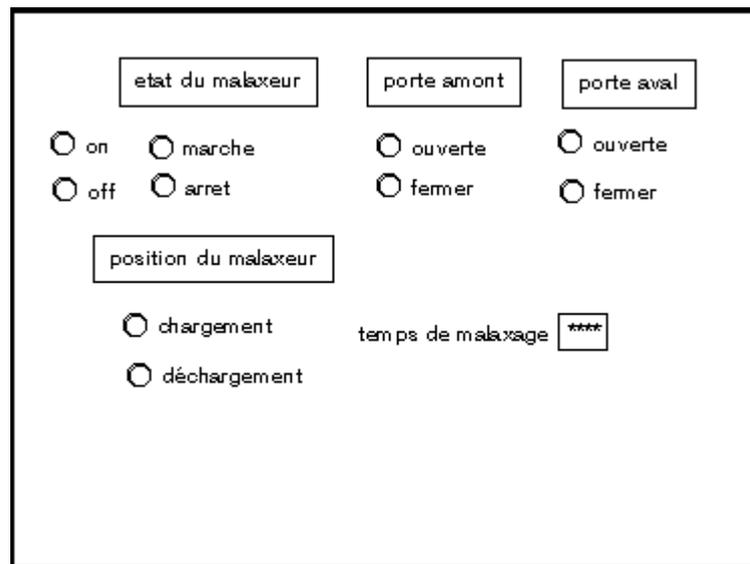


Figure IV.7-b Exemple des commandes de simulation de malaxeur

IV.3.1.4. Les procédures :

Une procédure est définies dans le système expert : celle relative la conduite des alarmes (procédure créer message) elle englobe tous les messages d'alarmes.

IV.3.1.5. Les variables :

Pour la conduite et la simulation avec G2, nous avons utilisé globalement deux types de variables

- Variables quantitatives : Pour la simulation des attributs tel que la température, la quantité, le temps, le débit etc...
- Variables symboliques : Pour la simulation des attributs tels que l'état de l'équipement.

IV. 3.2 Spécification pour le diagnostic des défaillances :

L'objectif principal pour le diagnostic est alors décrit sous forme de règles à l'intérieur du système expert, exploitant les capacités du moteur d'inférence du G2. L'avantage principal de l'utilisation de la base de règles réside dans sa modularité et la facilité d'extension (suppression ou rajout d'autres règles). La base de règles nécessaire pour établir le diagnostic des défaillances est construite en exploitant les modèles élaborés en trois phases d'analyse de notre système (GRAFCET, SADT, AMDEC). En effet, cette analyse permet d'établir les liens de causes à effets entre les composants défaillants et les symptômes observés. Ces liens seront représentés sous formes de règles de production constituant la base de connaissances qui sera utilisée par le moteur d'inférence pour effectuer les raisonnements nécessaires et aboutir aux résultats exprimant la fonction de diagnostic (**figure IV.8**).

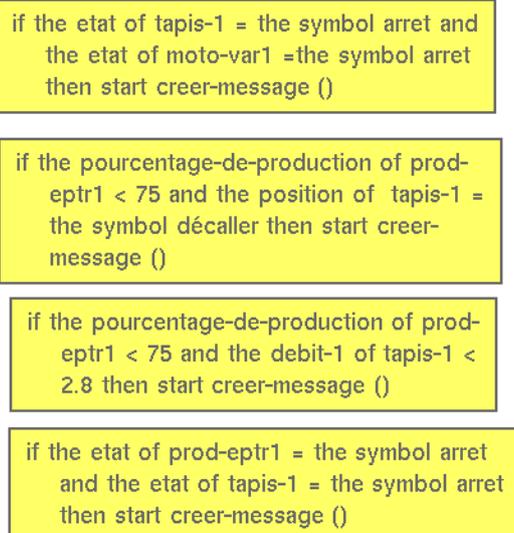


Figure IV-8 Exemple de règles de diagnostic

Donc on trouve trois types des règles :

- **Les règles extraites de GRAFCET :**

Celles-ci sont de la forme : si (la transition non validé) alors (l'étape ne se réalise pas), ou si (l'étape non validé) alors (la transition non franchissable)

- **Les règles extraite de SADT :**

Celles-ci sont de la forme : si (il ya un manque des entrée, contrôleurs ou mécanismes) alors (manque de la sortie ou dégradation de qualité de la sortie),

- **Les règles extraites de l'AMDEC :**

Ces règles sont obtenues directement des tableaux de l'AMDEC, elles ont la forme : si (effet indésirable) et (mode de défaillance) alors (composant défaillant).

Toutes les règles sont présentées en **Annexe E**

IV.3.3. La détection des anomalies :

La détection des anomalies est représentée sous forme de message d'alarme destiné à signaler à l'opérateur l'apparition d'une anomalie (ou des anomalies) et permet d'identifier le composant responsable. Après apparition du message, l'opérateur peut consulter le message pour plus d'informations ou bien le supprimer. La (**figure IV.9**) montre un exemple de message d'alarme signalant à l'opérateur une anomalie de fonctionnement. En cliquant sur le message on peut connaître l'endroit du composant à l'origine de cette anomalie.



Figure IV-9 Exemples de message d'alerte établi pour le diagnostic

IV.4. Conclusion :

L'objectif de l'intégration du système expert par rapport aux moyens existants est le fait de permettre une assistance efficace dans l'identification la plus précise possible des éléments défaillants. Il apparaît ainsi comme un support méthodologique et complémentaire aux aides dont disposent les techniciens de maintenance et les opérateurs de conduite. L'utilisateur fait appel au système après avoir constaté l'apparition des symptômes de pannes (messages, alarmes, voyants,...), le système de diagnostic oriente la recherche de la panne suivant une démarche exploitant les relations de causalité entre les dysfonctionnements de l'équipement.

Dans ce chapitre, nous avons détaillé la mise en œuvre d'un exemple d'application industrielle par l'outil de développement, G2. Il a illustré la démarche permettant de représenter les connaissances relatives au domaine à étudier (poste d'enrobage) ainsi que le raisonnement adopté pour établir le diagnostic des défaillances exploitant l'expérience des experts.

En outre, l'efficacité d'un système expert dans le domaine du diagnostic des défaillances a été également mise en évidence.

Conclusion générale et perspectives

Avec les progrès technologiques considérables l'être humain est entouré d'outils, de machines et de systèmes de plus en plus sophistiqués. Cette complexité croissante des systèmes rend la tâche de diagnostic plus difficile et son accomplissement implique une grande perte de temps, ce qui imposa le recours à des technologies plus évoluées pour l'exécution de cette tâche.

Ce contexte a conduit vers l'apparition d'une discipline de l'Intelligence Artificielle qui vise le développement d'algorithmes permettant de déterminer si le comportement d'un système est conforme au comportement espéré. Dans le cas contraire, l'algorithme doit être capable de déterminer aussi précisément que possible quelles parties du système sont fautives et de quels types de dysfonctionnements elles souffrent.

De ce fait, un système de diagnostic va permettre la reproduction du raisonnement d'un expert humain lors de la réalisation d'un diagnostic. Le système de diagnostic doit réaliser l'analyse de la défaillance d'une entité ayant entraîné une panne. Il doit aussi permettre l'établissement des associations empiriques entre effets et causes. *En d'autre terme un système de diagnostic permet l'implémentation d'un algorithme de diagnostic.*

La difficulté de l'opération de diagnostic vient de sa nature intelligente (raisonnement logique) et du fait qu'elle ne correspond à aucun système algorithmique, ce qui rend difficile l'automatisation de cette tâche par des techniques classiques. L'intelligence artificielle présente actuellement la solution la plus appropriée pour remédier à une telle situation. Il s'agit de doter l'ordinateur des capacités habituellement attribuées à l'homme, telles que : l'acquisition de connaissances, la perception (vision, audition), le raisonnement et la prise de décision. Dans ce contexte, l'intelligence artificielle offre plusieurs techniques contribuant à l'implémentation de cette tâche.

De manière générale, lorsque l'on parle de Diagnostic, on sous-entend la réalisation d'une architecture applicative qui, outre les fonctions nominales du système, met en œuvre des fonctions de détection, de localisation et de diagnostic des défaillances, de détection des changements de mode de fonctionnement (en particulier liées à des changements de comportement de l'environnement),

ainsi que des fonctions de pronostic, d'accommodation des défaillances ou des agressions, de reconfiguration de la commande ou des objectifs, l'ensemble de ces fonctions leur assurant les caractéristiques de réactivité souhaitées.

Le diagnostic des défaillances des systèmes industriels est à l'origine de nombreux travaux depuis ces dernières années. Il est défini comme l'opération permettant de détecter et de localiser un défaut. La détection de défauts consiste à rendre une décision sur l'état du système qu'il soit en fonctionnement normal ou défaillant. Cette opération est ensuite suivie d'une étape de localisation du défaut afin d'identifier ses causes et son origine.

En effet, la pratique du diagnostic industriel s'inscrit dans le processus de conduite de l'entreprise. Les activités de conduite et de maintenance du processus industriel conduisent à entreprendre en pratique des opérations de diagnostic qui sont de nature très différentes et souvent conditionnées par la spécificité des systèmes et des moyens disponibles.

Les systèmes industriels sont caractérisés par une complexité importante (technologie d'automatisation, interactions importantes opérateurs-processus) qui complique davantage la tâche de l'opérateur chargé du diagnostic. Pour pallier cette difficulté, l'aide informatique devient indispensable et un large éventail de techniques ont été utilisées pour automatiser le diagnostic des systèmes industriels. A chaque type de diagnostic est associé un ensemble de techniques utilisables.

Notre étude a pour objectif de contribuer à proposer un outil d'aide aux opérateurs d'un procédé industriel dans leurs tâches de diagnostic des problèmes et leur résolution.

Pour la réalisation de cette étude, choix a été fait de s'appuyer sur les techniques de l'intelligence artificielle, plus précisément l'approche système à base de connaissance, une approche pratique pour la réalisation d'un système à base de connaissances pour l'aide au diagnostic des défaillances et ce à partir de l'acquisition des connaissances issues de l'analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle a été réalisée. Ces connaissances sont extraites précisément des modèles de sûreté de fonctionnement.

La démarche d'analyse de sûreté de fonctionnement est extrêmement puissante pour la résolution des problèmes de diagnostic de défaillances des procédés industriels. Les connaissances contenues dans les modèles de sûreté de fonctionnement, en plus de la nature même du problème à résoudre, justifient l'approche adoptée dans notre travail.

Dans le but d'illustrer la mise en œuvre de l'approche système expert, les aspects qui permettent d'élaborer une solution pour nos applications ont été présentés. Ils portent sur la

démarche permettant de recueillir les connaissances relatives au système, ainsi que le raisonnement adopté pour établir le diagnostic.

Deux objectifs ont guidé la recherche des solutions que nous proposons. D'une part, nous cherchions à optimiser l'effort investi lors de l'acquisition des connaissances relatives au système. D'autres parts, il était particulièrement intéressant de trouver une solution modulaire et flexible qui puisse offrir plusieurs réponses d'implantation.

Ainsi, nous avons exposé la démarche qui régit la construction des modèles permettant d'aborder le diagnostic. Notre apport a porté essentiellement sur le choix des méthodes appropriées. En effet, la modélisation et l'analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle de notre système, de par sa complexité, nécessite de recourir à des méthodes bien appropriées.

Dans ce mémoire, nous nous sommes intéressés à l'aspect diagnostic industriel qui joue aujourd'hui un rôle déterminant dans la conduite de la production industrielle. A travers notre étude, nous avons essayé de montrer la faisabilité et l'apport des systèmes à base de connaissances pour la réalisation d'outils d'aide au diagnostic.

Donc l'acquisition des connaissances est une tâche longue et difficile, néanmoins nous considérons que l'étape de modélisation et analyse fonctionnelle et dysfonctionnelle et la base de connaissances est exprimée, constitue à elle seule un résultat positif.

L'objectif de ce travail est le développement d'un outil capable de détecter les défaillances et trouver l'origine de la panne. Le générateur de développement G2 sert comme support à cette réalisation.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

[**Afnor, 94**] Afnor, Maintenance “Concepts et définitions des activités de maintenance, Norme NF X 60-010 ”, Association Française de Normalisation, 28 pages, 1994.

[**Alain VILLEMEUR, 88**] « Sûreté de fonctionnement des systèmes industriels Fiabilité- Facteurs humains Informatisation ». Edition EYROLLES. 1988.

[**Antonio ORANTES MOLINA, 05**] « Méthodologie pour le placement des capteurs a base de méthodes de classification en vue du diagnostic » thèse de Docteur de l'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse, 2005.

[**Chatain, 91**] Chatain, J.N., “Maintenance corrective par système expert, application au métro de Lyon”. Thèse de doctorat, Université Claude Bernard, Lyon1.

[**Chatain, 93**] Chatain J.N., “Diagnostic par système expert”, Col. Traité des Nouvelles Technologies, Série Diagnostic et Maintenance, Hermès, 1993.

[**Combastel, 00**] Combastel C., “Méthodes d’aide à la décision pour la détection et la localisation de défauts dans les entraînements électriques”, Thèse de l’Institut National Polytechnique de Grenoble, France.

[**COM, 00**] Combacau M., Berruet P., Charbonnaud F., Khatab A., Zamai E., “Supervision and monitoring of production systems”, Proceeding of MCPL'2000, Grenoble, 4-6 juillet 2000.

[**Dubois et al, 94**] Dubois D. et Gentil S., “Intelligence Artificielle et Automatique”, Revue d’Intelligence Artificielle, Vol. 8, N°1, p. 7-27.

[**Domine, 88**] Domine C.H., “L'intelligence artificielle un guide structuré”, Éditions Dunod, Paris.

[**Dubuisson, 90**] Dubuisson B., “Diagnostic et reconnaissance des formes”, Col. Traité des Nouvelles Technologies, Série Diagnostic et Maintenance, Editions Hermès.

[**Ermine, 89**] Ermine J-L., “Systèmes experts théorie et pratique”, Technique et Documentation - Lavoisier.

[**Éric MARSDEN, 04**] « Caractérisation de la Sûreté de Fonctionnement de Systèmes à base d'Intergiciel » thèse de Doctorat, Spécialité : Informatique et Télécommunications, Doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse-FRANCE-2004

[**Fatime Ly, Zineb Simeu-Abazi, Jean-Baptiste Leger**] « Terminologie Maintenance »; Groupe de Recherche S.P.S.F. Nancy -FRANCE-

[**Gallinier, 93**] Gallinier M., “SADT, un langage pour communiquer”, Eyrolles, 1993.

[**Gensym corporation, 95a**] Gensym corporation, “G2 Reference Manual for G2 V4.0”, Cambridge, USA, September.

[**Gensym corporation, 95b**] Gensym corporation, “G2 Solutions Catalog”. A guide to Gensym Solution Partner Products and Services.

[**Gensym Corporation, 97**] Gensym Corporation, “G2 for Application developers”, Cambridge, USA, July.

[**Gilles ZWINGELSTEIN, 95**] Diagnostic des défaillances, théorie et pratique pour les systèmes industriels. Ed. HERMES, 1995.

[**Hamani, 98**] Hamani N., “Diagnostic Industriel par approche à base de connaissances : Application à un Système de Production Agroalimentaire”. Mémoire de Magister, Département Hygiène et Sécurité, Université de Batna.

[**I.G.L. Technology, 89**] I.G.L. Technology, “SADT, un langage pour communiquer”, Editions Eyrolles.

[**Isermann, 96**] Isermann R., “Supervision and fault diagnosis with process models. Identification and Control”, February 19-91, Innsbruck, Austria.

[**Kuo and al, 93**] Kuo T., Mital A., Anand S., “An introduction to expert systems in production and manufacturing engineering : the structure, development process and applications”, in Handbook of Expert Systems Applications in manufacturing. Structures and rules, Edited by Mital A. and Anand S., Chapman & Hall.

[**Lissandre, 91**] Lissandre M., “Maîtriser SADT”, Armand Colin.

[**Mouss, 02**] Mouss D., “ AMDEC : Une Méthode d’analyse de Défaillances ” Cours dispensé pour les cadres de Sonelgaz dans le cadre d’une formation : Conseillers en maîtrise de l’Energie et protection de l’environnement.

[**Mouss and al , 03 b**] Mouss D., Mouss H., Khedri K., and Mouss N., “Modelisation and Simulation of Industrial Application with Expert System Generator G2” SPIE, International Symposium on Photonics Technologies for Robotics, Automation, and Manufacturing, 27-30 October: Intelligent System in Design and Manufacturing V, Proceedings of SPIE Vol= 5263 B.

[**Mouss and al , 04 b**] Mouss D., Mouss H., Khedri K, and Mouss N., “Simulation of an Industrial application by the Expert Systems G2”, 5th International Conference on Quality, Reliability and Maintenance (QRM), publié par Professional Publishers IMecE, pp., ISBN 1 86058 440 3 April 2004 Oxford, UK.

[**Mouss and al , 04d**] Mouss H., Mouss D., and Mouss N., “Sûreté de fonctionnement : Méthodes d’analyse ” Cours dispensé pour les cadres de Sonelgaz dans le cadre d’une formation : Conseillers en maîtrise de l’Energie et protection de l’environnement.

[**MOUSS Mohamed Djamel**], « diagnostic et conduite des systèmes de production par approche a base de connaissances », thèse de Doctorat, Département génie industriel, université de BATNA, 2005.

[**Moamar SAYED MOUCHAWEH, 02**] « Conception d’un système de diagnostic adaptatif et prédictif basé sur la méthode Fuzzy Pattern Matching pour la surveillance en ligne des systèmes évolutifs :

Application à la supervision et au diagnostic d’une ligne de peinture au trempé » thèse de Doctorat de l’université de Reims Champagne-Ardenne, 2002.

[**Pomerol, 88**] Pomerol J.C., “Les systèmes experts”, Éditions Hermès.

[**Sylvain PIECHOWIAK**] « Intelligence artificielle et diagnostic- techniques de l’ingénieur-», S7217,

[**Tatiana kempowsky, 04**] « Surveillance de procédés à base de méthodes de classification : Conception d’un outil d’aide pour la détection et le diagnostic des défaillances » thèse de Doctorat de l’institut national des sciences appliquées de Toulouse, 2004.

[**Wafâa NIAR-DINEDANE**] « l’intelligence artificielle éléments de base ». Edition Office des publications universitaires. Alger.

[**ZAM, 98**] Zamai E. “Models and strategies for monitoring of flexibles manufacturing systems”, Proceeding of the IFAC INCOM’98 conference, Nancy, juin 1998.

[**Zwingelstein, 95**] Zwingelstein G., “ Diagnostic des Défaillances Théorie et Pratique pour les Systèmes Industriels” . Editions Hermès.

Annexe A

Principales définitions

ANOMALIE

Particularité non conforme à la loi naturelle ou à la logique. Plus précisément : particularité non conforme à une référence comportementale ou fonctionnelle. Exemple : les défauts, les défaillances ou les pannes sont des anomalies.

CAUSE DE DEFAILLANCES

Circonstances liées à la conception, la fabrication ou l'exploitation et qui ont entraîné la défaillance.

CAPTEUR

Support physique servant à obtenir une mesure.

COMPENSATION

Fonction permettant d'assurer la continuité du service en présence d'un défaut ou d'une défaillance.

COMPOSANT

La plus petite partie d'un système qu'il est nécessaire et suffisant de considérer pour l'analyse du système.

DEFAILLANCE

Altération ou cessation de l'aptitude d'une entité à accomplir une fonction requise. La défaillance est un passage d'une entité d'un état de fonctionnement normal à un état anormal ou de panne.

DEFAUT

Ecart entre une caractéristique réelle d'une entité et la caractéristique voulue, cet écart dépassant des limites d'acceptabilité.

DETECTION

Premier niveau de diagnostic consistant à déterminer de façon rapide et fiable l'existence d'une anomalie.

DIAGNOSTIC

Fonction visant à fournir des informations sur les anomalies au sein d'un système physique. On distingue traditionnellement plusieurs niveaux de diagnostic : détection, localisation et identification des anomalies.

DISPOSITIF

On appelle une entité composée d'éléments (les composants) qui évoluent dans le temps dans le but de remplir une fonction définie. Chaque dispositif évolue en interaction avec son environnement.

DISPONIBILITE

Aptitude d'une entité à être en état d'accomplir une fonction requise dans des conditions données et à un instant donné, en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires sont assurés.

EFFET D'UNE DEFAILLANCE

Ensemble de manifestations de toute nature qui se produisent après l'occurrence de la seule défaillance.

ENTITE

Tout élément, composant, sous-système, système, dispositif, équipement, unité fonctionnelle que l'on peut considérer individuellement.

EVENEMENT CATASTROPHIQUE

Événement qui occasionne la perte d'une (ou des) fonction(s) essentielle(s) d'un système en causant des dommages importants au système ou à son environnement et/ou entraîne pour l'homme la mort ou des dommages corporels.

EVENEMENT CRITIQUE

Événement qui entraîne la perte d'une (ou des) fonction(s) essentielle(s) d'un système en causant des dommages importants au système ou à son environnement en ne présentant toutefois qu'un risque négligeable de mort ou de blessure pour l'homme.

FIABILITE

Aptitude d'une entité à accomplir une fonction donnée dans des conditions données, pendant une durée donnée.

FONCTION

Action réalisée par un composant exprimé sous forme d'un but à atteindre.

IDENTIFICATION

Niveau de diagnostic consistant à caractériser précisément les anomalies qui se sont produites.

Exemple : l'identification d'un défaut consiste à déterminer sa taille (amplitude) et son évolution (forme...).

L'AIDE AU DIAGNOSTIC

Permet d'aider un opérateur à remonter aux organes défectueux.

LOCALISATION

Niveau de diagnostic, déclenché par une procédure de détection et consistant à déterminer les anomalies qui se sont produites (sans les caractériser précisément).

MAINTENABILITE

Aptitude d'une entité à être maintenue ou rétablie dans un état dans lequel elle peut accomplir une fonction requise lorsque la maintenance est accomplie dans des conditions données avec des procédures et des moyens prescrits.

MAINTENANCE

Ensemble des actions techniques et administratives correspondantes, y compris les opérations destinées à maintenir (maintenance préventive) ou à rétablir (maintenance corrective) une entité dans un état spécifié ou dans des conditions données de sûreté de fonctionnement lui permettant d'accomplir une fonction requise.

MAINTENANCE PREDICTIVE

Il s'agit de déceler des dérives de comportements d'un système physique avant qu'une fonction ne soit altérée afin de remplacer les organes dégradés avant qu'ils ne tombent en panne.

MODE DE DEFAILLANCE

Effet par lequel une défaillance est observée.

MODELE

Un modèle d'un système physique est une description de sa structure et une représentation comportementale ou fonctionnelle de chacun de ses composants [Milne,87].

MESURE

Observation représentée par une variable dont le contenu est l'image d'une grandeur physique. L'obtention d'une mesure se fait par l'intermédiaire d'un capteur.

MODELE

(Objet que l'on imite), reproduction d'un objet, représentation formalisée d'un phénomène.

NIVEAU STRUCTUREL

Quant à lui, s'appuie sur la structure réelle du système physique et décrit les interconnexions entre ses différents éléments ou constituants. Il permet de déterminer l'élément affecté par le défaut.

NIVEAUX COMPORTEMENTAL ET FONCTIONNEL

Comprennent des relations entre des grandeurs physiques (variables) et permettent de mettre en évidence la présence d'un événement anormal ou anomalie.

OBSERVATION

Information connue sur le comportement réel ou sur le fonctionnement réel du système et qui dépend a priori de l'environnement de ce dernier (changements de consignes, présence d'anomalies,...). Une observation peut résulter du traitement d'observations plus élémentaires.

PANNE

Inaptitude d'une entité à accomplir une fonction requise ou à assurer le service approprié à la suite d'une défaillance.

PERTURBATION

Ecart (entre le comportement d'un système physique et une référence) dont l'origine n'est pas considérée comme une anomalie. Perturbations et défauts sont de même nature. La différence entre les deux tient au caractère normal (perturbation) ou anormal (défaut) de l'écart de comportement.

PROCESSUS

Ensemble de phénomènes organisés dans le temps rapportés à un même système physique.

PRONOSTIC

Détermination des conséquences des défaillances sur le fonctionnement futur du système physique.

QUALITE

Aptitude d'un produit ou d'un service à satisfaire complètement les besoins et les attentes des utilisateurs.

REPRISE

Exécution d'une solution curative permettant de revenir au fonctionnement normal.

REPRESENTATION COMPORTEMENTALE

Est constituée de relations entre diverses variables du système, appelées classiquement relations de causes à effets.

REPRESENTATION FONCTIONNELLE

Est plus abstraite puisqu'elle ne s'adresse qu'aux objectifs présumés que le système physique doit remplir.

SECURITE

Aptitude d'une entité à éviter de faire apparaître, dans des conditions données, des événements critiques ou catastrophiques.

SIGNE

Caractère distinctif d'un état comportemental anormal.

SUPERVISION

Tâche de commande et de surveillance de l'exécution d'une opération ou d'un travail effectué par d'autres sans rentrer dans les détails de cette exécution.

SURETE DE FONCTIONNEMENT

Aptitude d'une entité à satisfaire une ou plusieurs fonctions requises dans des conditions données. Ce concept peut englober la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité, la sécurité, etc. ou des combinaisons de ces aptitudes.

SURVEILLANCE

Tâche continue en temps-réel dont le but est de caractériser le mode de fonctionnement du système physique, en enregistrant des informations, en reconnaissant et en indiquant les anomalies de comportement.

SYMPTOME

Caractère distinctif d'un état fonctionnel anormal.

SYSTEME

Ensemble déterminé d'éléments (composants, constituants) interconnectés ou en interaction.

SYSTEME PHYSIQUE

Un système physique est un ensemble d'éléments (composants, constituants) interconnectés ou en interaction organisés pour réaliser une fonction.

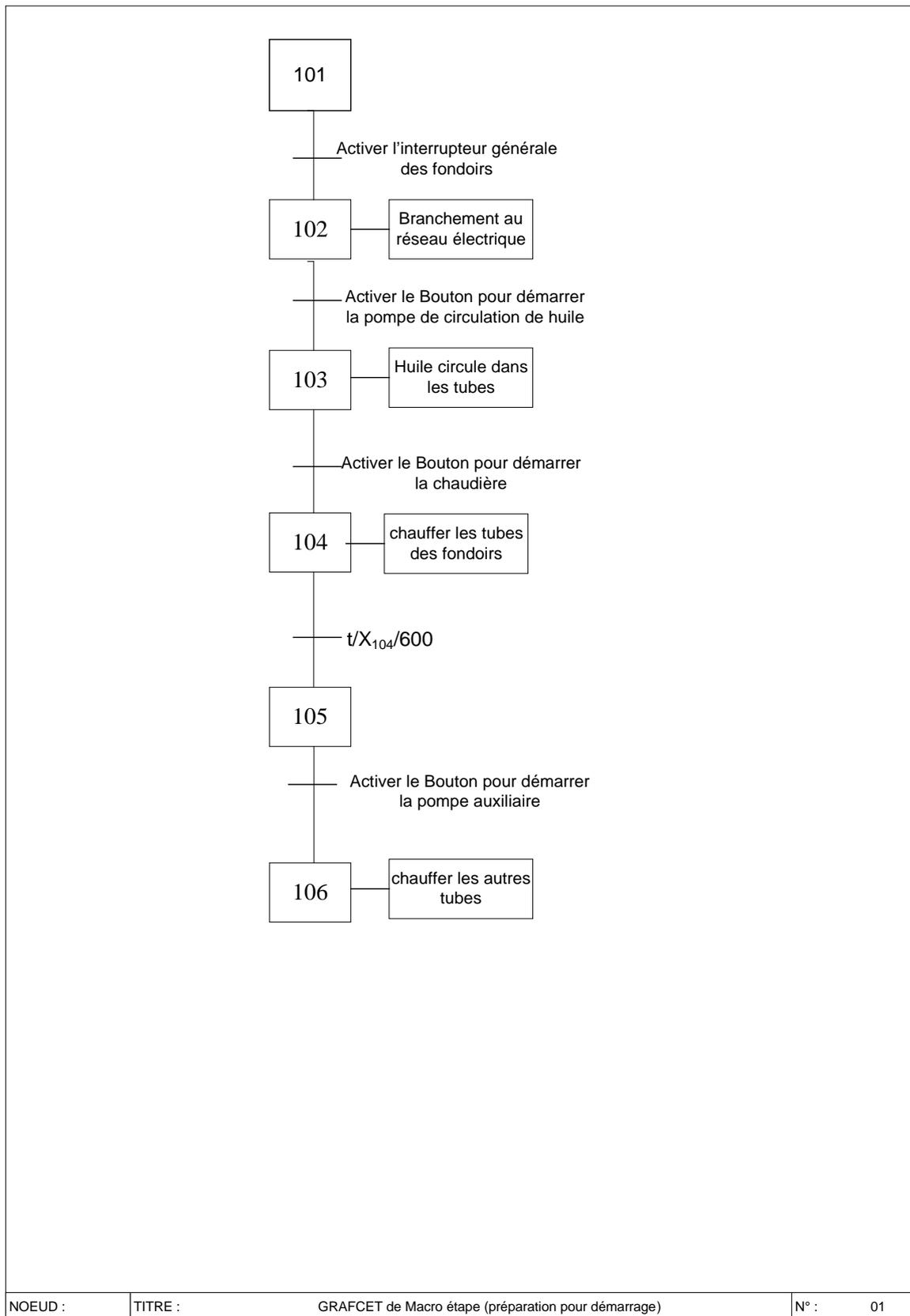
TEMPS-REEL

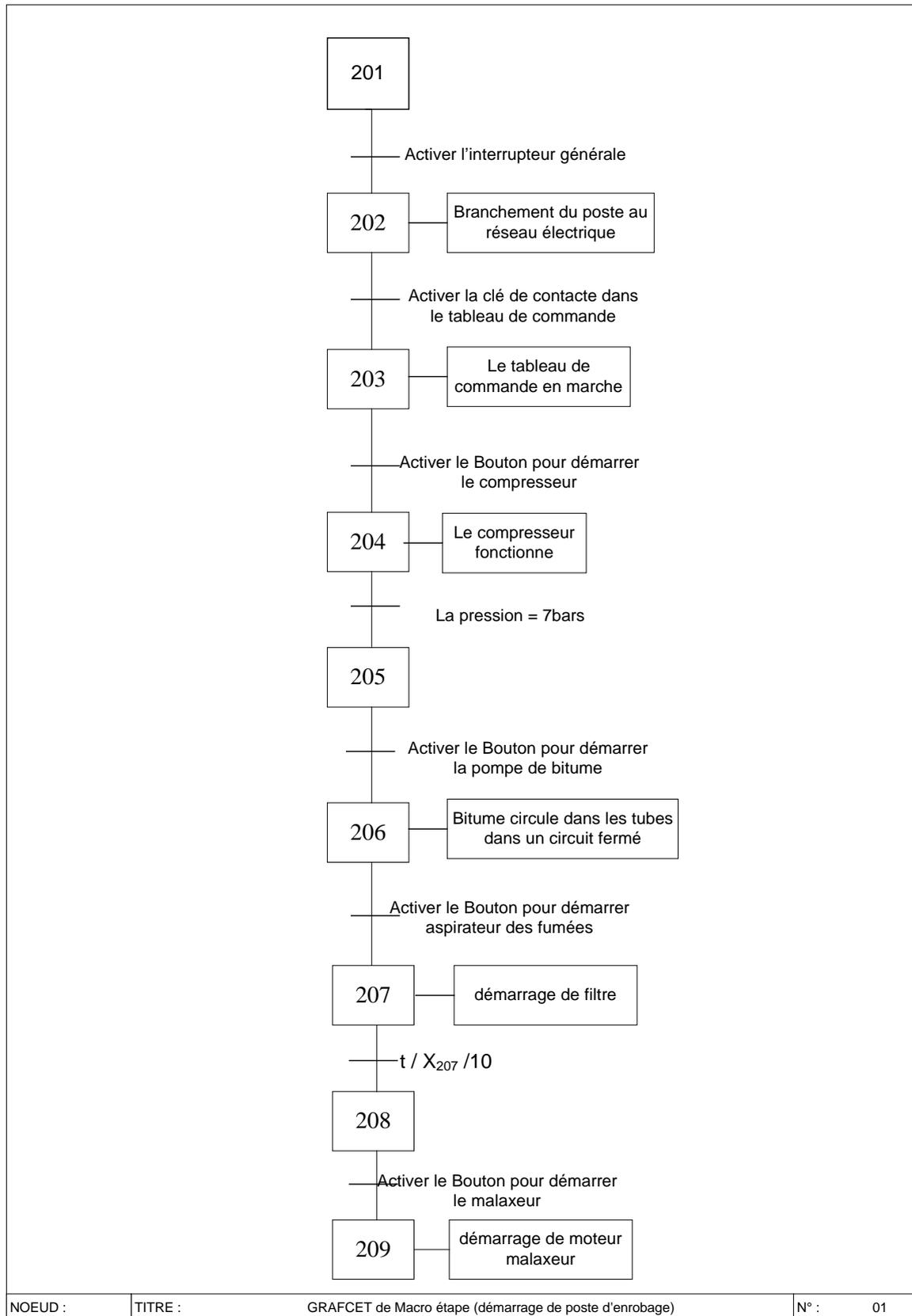
Technique d'utilisation d'un ordinateur dans laquelle celui-ci doit élaborer à partir d'informations acquises ou reçues de l'extérieur, des informations ou des réponses, dans un délai très bref, cohérent avec l'évolution du processus avec lequel il est en relation.

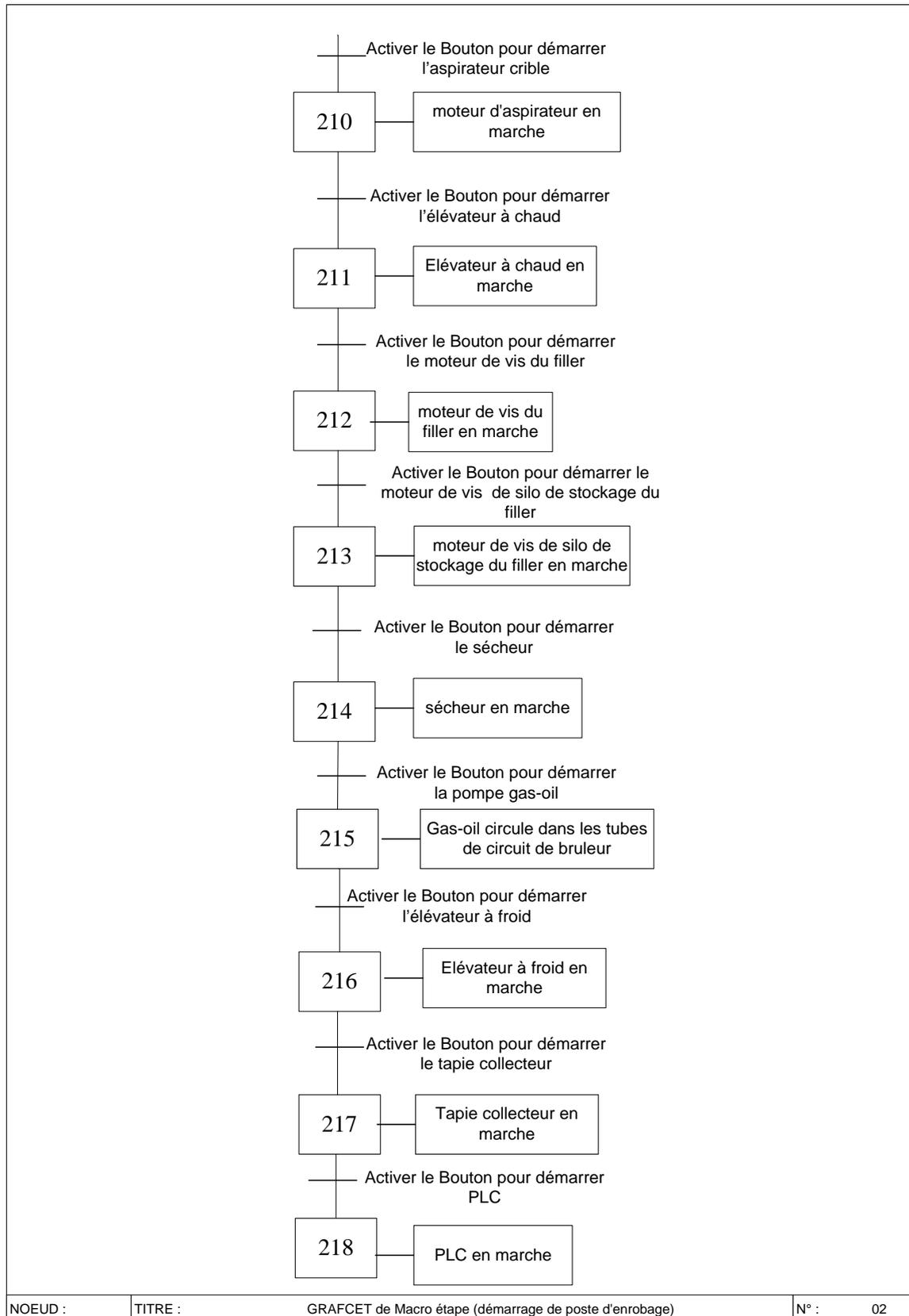
TOLERANCE

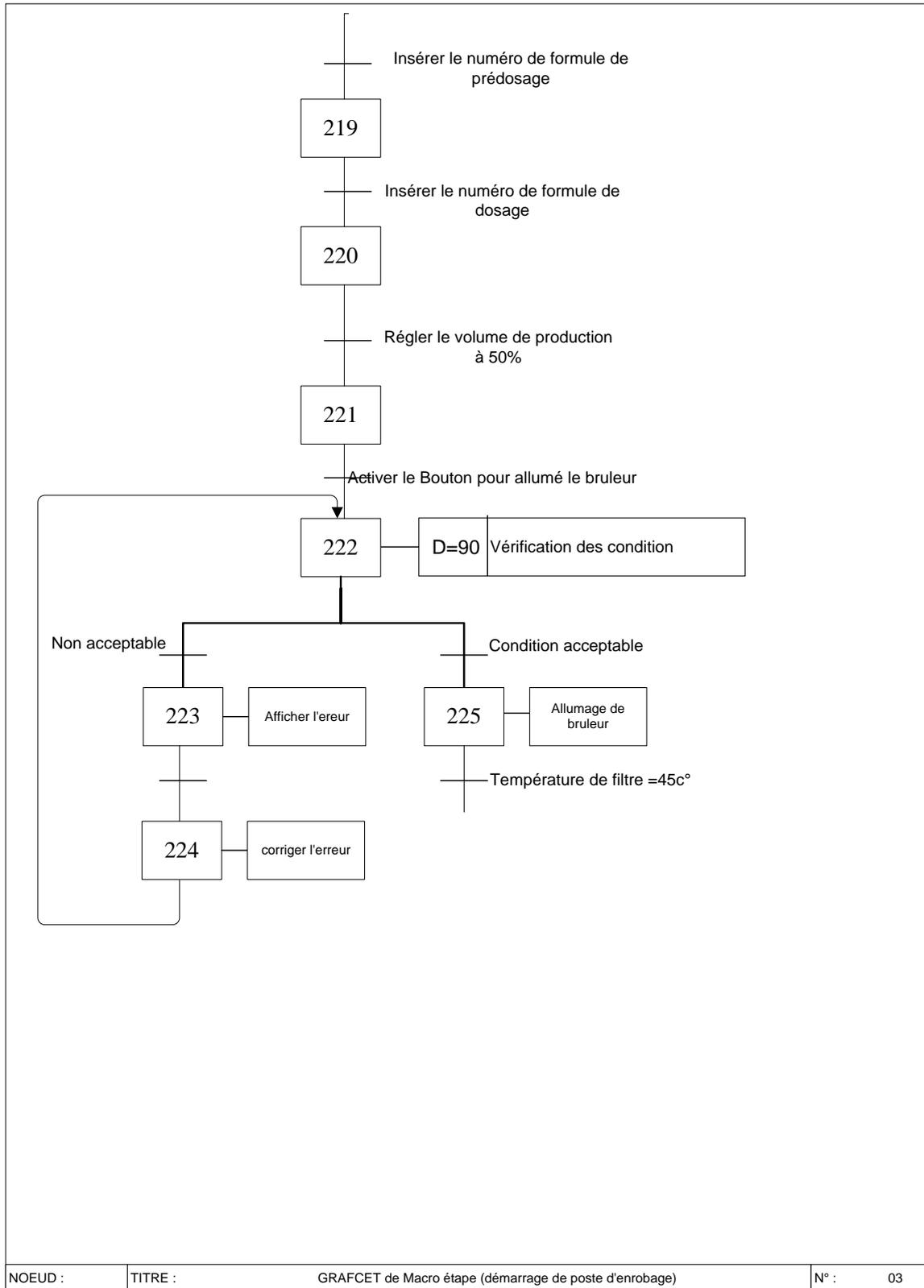
Activation à la suite de l'apparition d'aléas en phase d'exploitation de mécanismes permettant de respecter, malgré tout, les critères considérés.

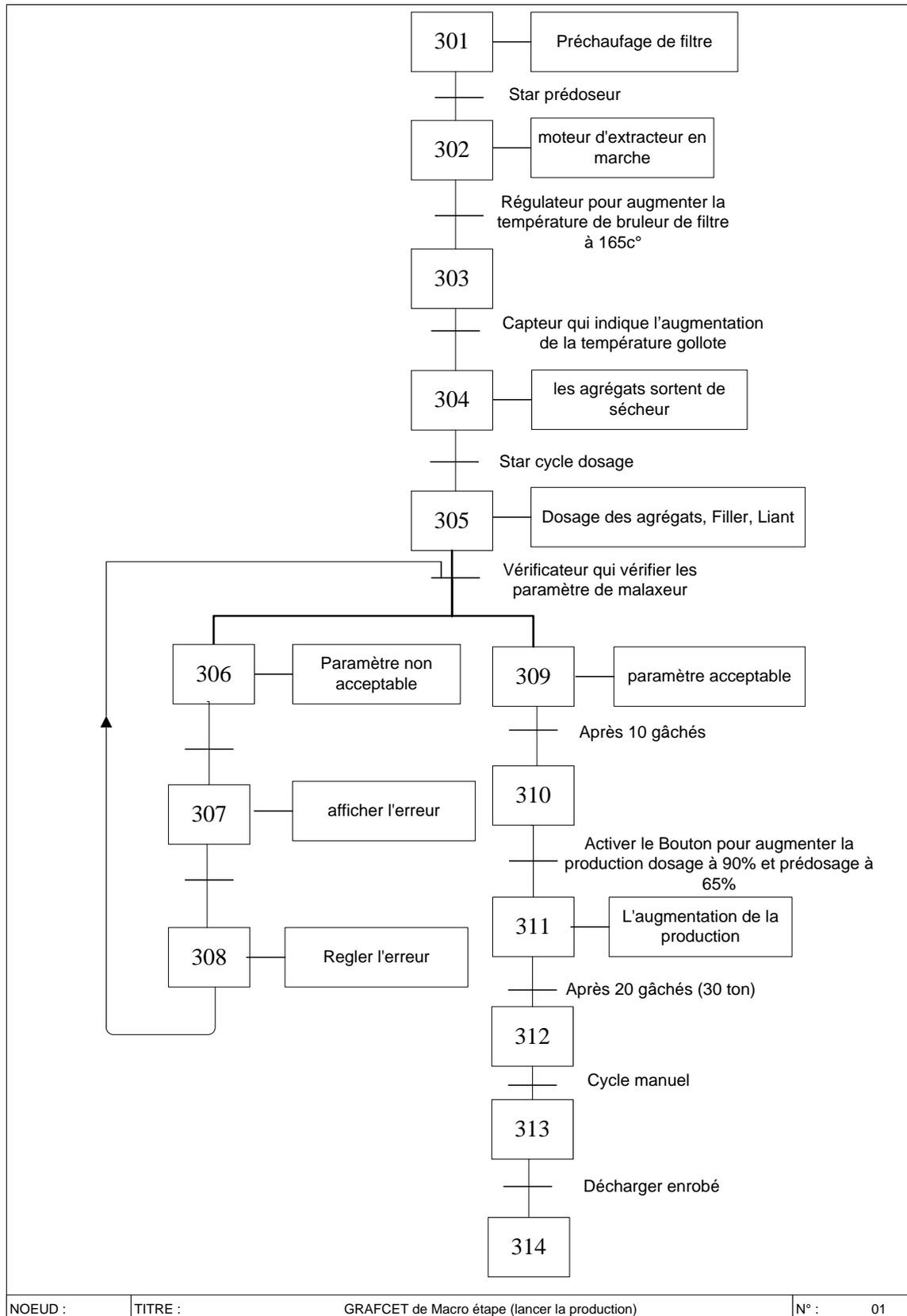
Annexe B
GRAFCET des Macros Etapes











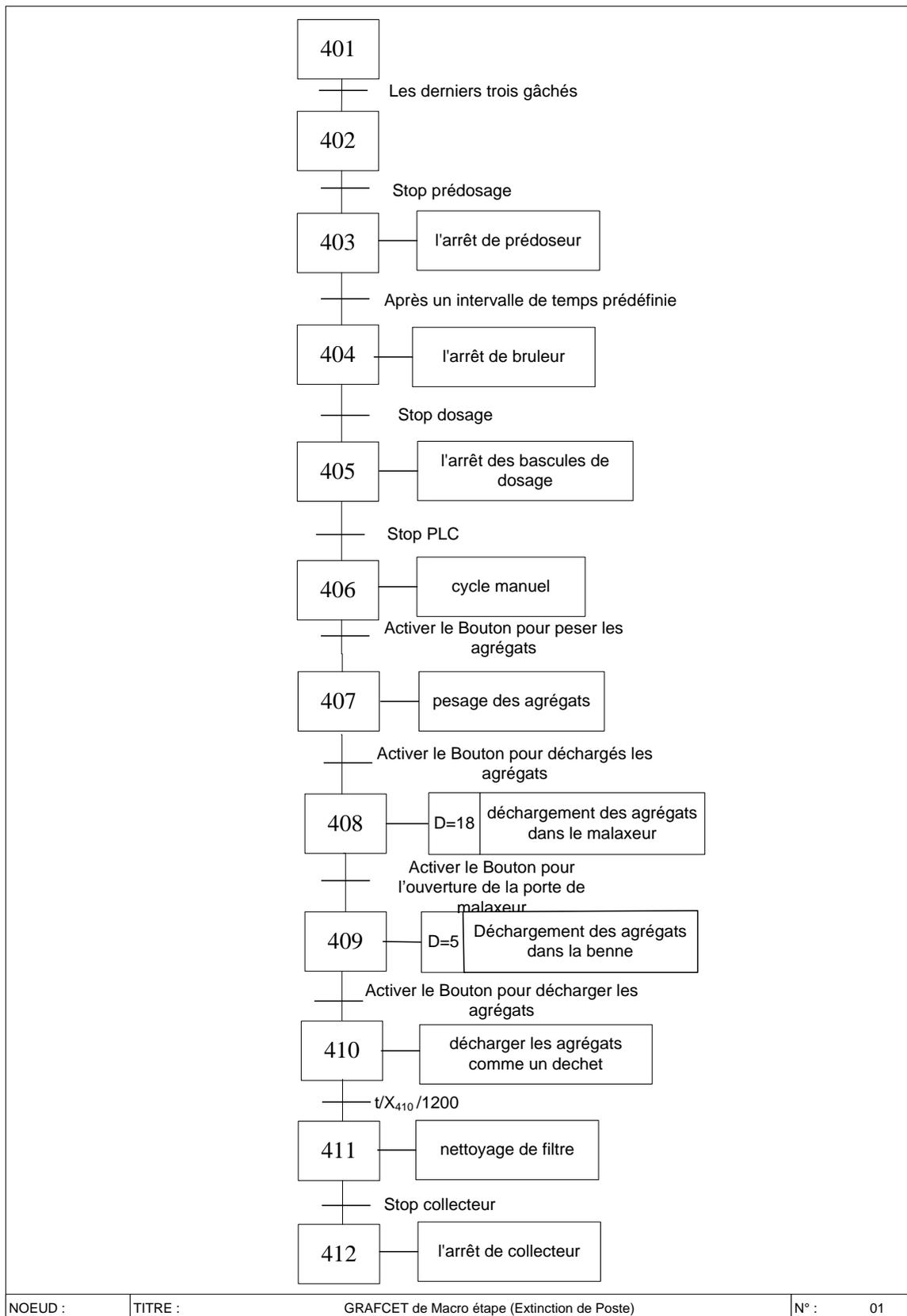
NOEUD :

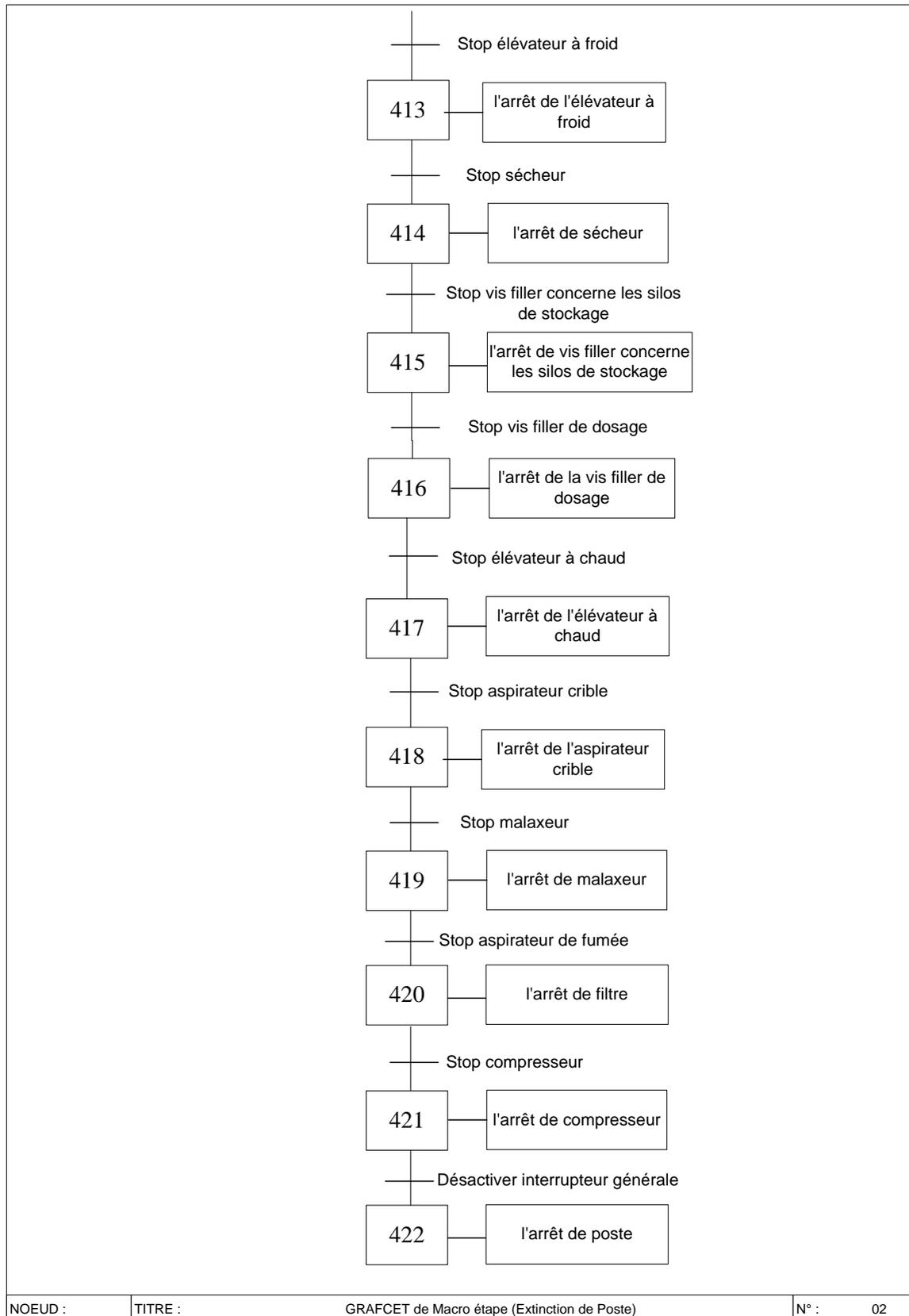
TITRE :

GRAF CET de Macro étape (lancer la production)

N° :

01





Annexe C
AMDEC Station d'Enrobage

EPTR SUD/EST	ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCES ET DE LEUR EFFETS ET LEUR CRITICITE							AMDEC MACHINE			
	Système : poste d'enrobage Sous système : groupe de chauffage de liant			Phase de fonctionnement :		Date de l'analyse : 07/06/2008					
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective	
						F	G	N	C		
Pompe	Circulation de liant	• Arrêt de la pompe	• Défaut mécanique, défaut électrique, perte d'alimentation électrique	L'arrêt de poste		1	3	2	6	Changement de fin course de circulation de liant	
Pompe à engrenages	Circulation de fluides à basse et moyenne viscosité	• Ne peut pas être démarré	• Bloqués par le bitume refroidi	Le bitume ne peut pas être circulé		3	3	1	9	Mise en circulation l'huile diathermique 30 à 60 minutes avant le démarrage de la pompe	
			• Défaut mécanique ou électrique				3	3	2	18	Régler
			• Il n'y ait pas d'infiltration d'air au niveau des brides ou des raccords				2	2	2	8	Régler
			• La soupape by-pass n'est pas fermée ou un corps étranger qui garde le by-pass ouvert				3	3	2	18	Nettoyer et fermer la soupape by-pass

		<ul style="list-style-type: none"> • La pompe endommagée 	<ul style="list-style-type: none"> • Elle est démarrée à sec ou avec les robinets d'aspiration fermés 			2	2	2	8	
		<ul style="list-style-type: none"> • Vibration et bruit au niveau de la pompe 	<ul style="list-style-type: none"> • L'élément de transmission joint est en mauvaise état ou les vis des fixations à la base sont desserrées 			3	1	1	3	Changer le joints et serrer les vises
Vanne de citerne	Permettre de passage de produit dans les tuyaux	<ul style="list-style-type: none"> • Blocage en position 	<ul style="list-style-type: none"> • Défaut mécanique 	Pas de circulation de liant		4	3	1	12	
Thermomètre	Mesure la température de liant	<ul style="list-style-type: none"> • Ne se marche pas 	<ul style="list-style-type: none"> • Défaut mécanique 	La température de liant n'est pas constante		2	3	2	12	Régler ou bien remplacer
Chaudière	Chauffer liant	<ul style="list-style-type: none"> • Ne se marche pas 	<ul style="list-style-type: none"> • Défaut mécanique 	Manque de chauffage de liant		2	4	1	8	

EPTR SUD/EST	ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCES ET DE LEUR EFFETS ET LEUR CRITICITE								AMDEC MACHINE		
	Système : poste d'enrobage Sous système : compresseur			Phase de fonctionnement :		Date de l'analyse :					
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective	
						F	G	N	C		
Compresseur à pistons	Compresser l'air	• Pression d'air insuffisante	• Fuite d'air			3	2	2	12	Contrôler et corriger	
			Filtre à air colmaté			2	2	2	8	Remplacer	
			• Réglage incorrect du pressostat d'air			2	1	2	4	Régler le pressostat	
			• La consommation d'air excède la capacité maximale du compresseur			2	2	2	8	Contrôler l'équipement branché	
			• Clapet endommagée			2	2	2	8	Inspecter les clapets et remplacer les pièces où nécessaire	
			• Electrovalve défectueuse			1	2	2	4	Déposer et contrôler ou remplacer	
		• Le groupe ne peut pas être accéléré	• Chut de tension aux bornes du moteur				2	2	2	8	Se renseigner auprès de la compagnie d'électricité
			• Electrovalve défectueuse				1	2	2	4	Déposer et contrôler ou remplacer

			•Fonctionnement défectueux de déchargeur			2	2	2	8	Contrôler et remplacer les pièces défectueuses
	•Déclenchement de la soupape de surpression	•Clapet d'aspiration défectueux				2	2	2	8	Contrôler et remplacer le composant comme nécessaire
		Soupape de surpression non étanche				2	2	2	8	Remplacer la soupape
	•Le réservoir ne retient pas la pression	•L'étanchéité du clapet anti-retour				1	2	2	4	Rupture de disque ou des ressorts de clapet
	•Le groupe ne peut pas être démarré	•Panne électrique				2	4	2	16	Réparer
		•Le relais de surcharge a déclenché				2	3	1	6	Réarmer le relais de surcharge
		•Pression d'air supérieure à la pression de démarrage préétablie				3	2	1	6	Régler
	•La pression du réservoir d'air dépasse le maximum et déclenche la soupape de sécurité	•Réglage incorrect ou fonctionnement défectueux du pressostat d'air ou de la soupape				2	2	2	8	Contrôler, remplacer le pressostat ou la soupape
		•Electrovalve défectueuse				2	2	2	8	Déposer et contrôler ou remplacer
		•Fonctionnement défectueux de déchargeur				2	2	2	8	Contrôler et remplacer les pièces défectueuses

EPTR SUD/EST	ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCES ET DE LEUR EFFETS ET LEUR CRITICITE								AMDEC MACHINE	
	Système : poste d'enrobage Sous système : prédoseur			Phase de fonctionnement :		Date de l'analyse :				
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Prédoseur Alimentateur	Prédosage des agrégats	• Non fonctionnement d'un compartiment	• Les pierres de grande dimension ou des corps étrangères bloquent l'ouverture de la trémie	L'arrêt de toute la batterie donc l'arrêt de la production		3	3	1	9	Placé une grille
				• Panne au niveau de moteur	L'arrêt de toute la batterie donc l'arrêt de la production	Alarme d'anfos	2	3	1	6
		• Vibrations	• L'usure des roulements	Diminution de la capacité de production		1	3	2	6	Changer
			• Absence de lubrification et de graissage des parties mobiles	Diminution de la capacité de production		1	3	1	3	Faire un programme de graissage et de lubrification

EPTR SUD/EST	ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCES ET DE LEUR EFFETS ET LEUR CRITICITE							AMDEC MACHINE		
	Système : poste d'enrobage Sous système : les transporteurs			Phase de fonctionnement :		Date de l'analyse :				
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Transporteurs à bande	Transporter les agrégats	L'arrêt de moto variateur	L'augmentation de la température	L'arrêt de transporteur		1	3	2	6	Changement de moto variateur
		Décalage de tapie	Mauvais réglage	Diminution de la capacité de production		1	2	2	4	Régler
		• Vibrations	• L'usure des roulements	Diminution de la capacité de production		1	3	2	6	Changement des roulements
		• L'arrêt de transporteur	• Endommagement et détérioration du courroie	L'arrêt de production		1	4	1	4	Changement

EPTR SUD/EST	ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCES ET DE LEUR EFFETS ET LEUR CRITICITE								AMDEC MACHINE	
	Système : poste d'enrobage Sous système : Séchage			Phase de fonctionnement :		Date de l'analyse :				
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Sécheur	Eliminer l'humidité des agrégats et de les réchauffer à la température nécessaire	L'arrêt de sécheur	Moteur en panne	L'arrêt de la production		1	5	2	10	Réparer
			Une palette est endommagée	L'arrêt de la production		1	5	4	20	souder
			Endommagement et détérioration du Courroie	L'arrêt de la production		1	4	1	4	Changement
		Vibration	L'usure des roulements	Diminution de rendement de sécheur		1	3	2	6	Changement
			Mauvais positionnement de tambour (dépositionner de galet)	Diminution de rendement de sécheur		1	3	3	9	Réglage
Aspirateur de crible	Dégager les fumées	Ne marche pas	Moteur en panne	L'arrêt de production		2	4	2	16	Réparer

EPTR SUD/EST	ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCES ET DE LEUR EFFETS ET LEUR CRITICITE							AMDEC MACHINE		
	Système : poste d'enrobage Sous système : Brûleur			Phase de fonctionnement :		Date de l'analyse :				
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Brûleur	Chauffer le sécheur	Manque d'allumage du pilote ou manque d'étincelle entre les électrodes	Electrode à masse	L'arrêt de la production		2	4	3	24	Régler la position
			Manque le pareflamme du bruleur pilote	L'arrêt de la production		1	3	3	9	Monter
			Détérioration du Câble haute tension	L'arrêt de la production		1	3	2	6	Changer
		Bloc bruleur après l'allumage	Cellule ou panneau flamme endommagés	L'arrêt de la production		2	4	1	8	Nettoyage de cellule
			Position erroné de la cellule ou disque au quartz sale	L'arrêt de la production		2	4	1	8	Vérification et nettoyage le disque
		Extinctions accidentelles	Pulvérisation sale	L'arrêt de la production		2	1	1	2	Nettoyer
			Fort excès d'air comburant	L'arrêt de la production		2	1	1	2	Régler la vanne
			Fort défaut d'air comburant	L'arrêt de la production		2	1	1	2	Régler la vanne

	Le brûleur ne se démarre pas	Interrupteur général ouvert	L'arrêt de la production						Fermer l'interrupteur général
		Fusibles interrompus	L'arrêt de la production		3	1	1	3	Changer le fusible
		Jeu d'asservissement non correct	L'arrêt de la production		2	1	2	4	Régler
		Appareil en position de bloc	L'arrêt de la production		2	1	1	2	débloquer
		Relais thermique en bloc	L'arrêt de la production		2	1	2	4	Insérer à nouveau
		Servocommande non en position de flamme basse	L'arrêt de la production		1	2	1	2	Mettre en position le commutateur modulation sur automatique ou bien le potentiomètre au minimum
	Le brûleur part mais l'appareil reste en phase de pré-lavage	Pressostat air taré trop haut			2	2	1	4	Régler
		Pressostat air défectueux			1	2	1	2	Changer
	Manque d'allumage suivi par bloc de flamme	Excès d'air comburant supérieur au normal			2	2	2	8	Régler l'air avec l'analyseur de flamme
	Perte du pulvérisateur	Vanne de retenue dans la tête et dans le bloc, tubes flexibles sales			1	2	1	2	Vérifier les sièges d'étanchéité

		Pression de retour pulvérisateur diesel instable ou qui n'augmente pas, même en changeant tout le ressort	Pointe conique des vannes sale			2	2	3	12	Nettoyer
		Flamme inclinée par rapport à l'axe de la chambre de combustion	Bague convergente inclinée			1	2	2	4	Régler
			Brûleur décentré			1	2	3	6	Déplacer les charnières sur le générateur
		Les pressions de refoulement du fuel sont correctes, mais le débit est insuffisant	Pulvérisateur sale			3	3	2	18	Nettoyer

EPTR SUD/EST	ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCES ET DE LEUR EFFETS ET LEUR CRITICITE							AMDEC MACHINE		
	Système : poste d'enrobage Sous système : filtrage			Phase de fonctionnement :		Date de l'analyse :				
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Filtre à tissu	Aspiration et filtrage des matériaux sécher	Perte de charge du filtre	Un cumule de poussière qui se dépose sur la surface extérieure des manches	Diminution de rendement de production	L'Egouilles dépassé 15mg	4	4	1	16	Nettoyage (manque de compresseur pou nettoyage)
			L'augmentation de l'humidité	Diminution de rendement de filtre		2	3	1	6	
		Blocage des vis	La poussière sur les manches	Arrêt de production	Par Indicateur	1	4	1	4	Nettoyage des vis
		Vibration	Ventilateur perdre son équilibre	Arrêt de production		1	1	3	3	Enlever la poussière adhérer
		Fuite sur les manches	Une légère couche de poussières qui se déposent sur le plan des manches	Diminution de rendement de filtre		1	1	4	4	Changement des manches
		Détérioration de courroie	La durée de vie limitée Les conditions climatiques	L'arrêt de production		1	4	1	6	Changement
		L'arrêt de filtre	A cause de La pluie	L'arrêt de production		2	4	1	8	

EPTR SUD/EST	ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCES ET DE LEUR EFFETS ET LEUR CRITICITE							AMDEC MACHINE		
	Système : poste d'enrobage Sous système : Elévateur			Phase de fonctionnement :		Date de l'analyse :				
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Elévateur à godets	Utilisés pour soulever les agrégats chauds et le filler	L'arrêt de l'élévateur	Endommagement et détérioration du Courroies de transmission			1	4	1	4	Changer
			L'arrêt de moteur			1	4	1	4	Réparer
	respectivement au niveau du groupe de dosage	Vibration	Endommagement de Ressort			1	3	2	6	Changer
			Usure des chaines			1	4	2	8	Remplacer
			Ecrous de fixation des godets ne sont pas serrés			2	2	1	4	Serrage
		Blocage	Les pierres de grande dimension ou des corps étrangères qui bloquent l'élévateur	Arrêt de production			1	4	1	4

EPTR SUD/EST	ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCES ET DE LEUR EFFETS ET LEUR CRITICITE								AMDEC MACHINE	
	Système : poste d'enrobage Sous système : groupe de dosage			Phase de fonctionnement :		Date de l'analyse :				
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Trémie de pesage	Pesage des matériaux	La trémie de pesage n'a pas été entièrement vidée	Un corps étranger s'interposant entre la trémie et le châssis	Le cycle reste en attente donc cycle bloqué		2	5	3	30	Nettoyer
			Défaut au niveau du bras de transmission au transducteur	Le cycle reste en attente donc cycle bloqué		1	5	3	15	Réparer
		Cycle bloqué et la valeur à zéro (tare)	Problème électrique ou électronique	L'arrêt de la production		1	4	3	12	Réparer
		Le poids de sécurité d'une bascule à été dépassé	Mauvaise fermeture de la porte	Dégradation de la qualité de produit		2	4	2	16	Régler
			Mauvais fonctionnement du transducteur de l'électrovanne et du cylindre pneumatique	Dégradation de la qualité de produit		1	4	3	12	Régler
			Pour le dosage de liant Mauvaise fonctionnement de la vanne à trois voies	Dégradation de la qualité de produit		1	4	3	12	Régler

EPTR SUD/EST	ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCES ET DE LEUR EFFETS ET LEUR CRITICITE							AMDEC MACHINE		
	Système : poste d'enrobage Sous système : Malaxeur			Phase de fonctionnement :	Date de l'analyse :					
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
Malaxeur	Malaxer les matériaux	Le poste ne se marche pas en cycle automatique	L'alimentation électrique n'est pas à 24V D.C. ou il n'y a pas de courant dans les circuits auxiliaires			2	3	1	6	Contrôler les fusibles ou les disjoncteurs
			Une bascule est « en sécurité » ou hors tare			2	2	2	8	Décharger manuellement
			Contact télérupteur malaxeur ne marche pas			2	2	2	8	Nettoyer ou remplacer
			Poussoir en automatique ne marche pas			2	1	2	4	Vérifier ou remplacer
			Fin de course malaxeur fermé ne marche pas			2	2	2	8	Régler ou remplacer
		Le poste s'arrêt en cycle automatique	Le malaxeur reste ouvert			2	3	1	6	Voir : malaxeur ne se ferme pas
			La benne n'est pas à fin de course inférieure			3	2	2	12	Régler fin de course inférieur ou remplacer

			Porte agrégats toujours ouverte (bascule agrégats pas à la tare)			1	1	1	1	Placer en manuel, s'assurer que la bascule agrégats soit à zéro, décharger malaxeur, insérer en automatique
	La porte des agrégats ne s'ouvre pas	Une bascule n'a pas terminé la pesée			1	1	1	1	Voir : malaxeur ne se ferme pas	
		Malaxeur ouvert			2	3	1		Voir : malaxeur ne se ferme pas	
		Fin de course malaxeur fermé ne marche pas			2	2	2	6	Régler ou remplacer	
		Pression air insuffisante			3	2	1	6	Vérifier pression air	
	Les agrégats ne se pèsent pas	Manque de matériau			2	1	1	2	Vérifier	
		Fin de course porte agrégats qui ne marche pas			2	2	2	8	Régler ou vérifier	
		Interrupteur exclusion composants qui ne marche pas			1	3	1	3	Remplacer	
		Pression air insuffisante			3	2	1	6	Vérifier pression air	
		Malaxeur plein			1	1	1	1	Voir : malaxeur ne s'ouvre pas	

	Une bascule va en sécurité	Présélecteur pesage insuffisant			2	2	1	4	Remplacer
		Relais pesage ne marche pas			2	2	2	8	Remplacer
		Electrovanne arrêtée			2	2	2	8	Vérifier
		Jauge de contrainte ou transmetteurs de poids en panne			1	2	2	4	Remplacer
	Le malaxeur ne s'ouvre pas	Temporisateur de malaxage ne marche pas			3	2	2	12	Vérifier temporisateur
		La bascule du filler ou du bitume ne se range pas à la valeur de tar			2	2	2	8	Vérifier
		La benne n'actionne pas le fin de course inférieure			2	2	2	8	Régler fin de course et remplacer
		Pression air insuffisante			3	2	1	6	Vérifier pression air
	Le malaxeur ne se ferme pas	Le temporisateur de l'ouverture de malaxeur ne marche pas			3	3	2	18	Vérifier temporisateur et fin de course ouverture malaxeur
		Electrovanne ne marche pas			3	2	2	12	Vérifier électrovanne
		Pression air insuffisante			3	2	1	6	Vérifier pression air

	Le filler ne se pèse pas	Manque de filler			2	2	1	4	Vérifier
		La porte de pesage ne s'ouvre pas			2	2	1	4	Vérifier électrovanne
		Fin de course porte vis ne marche pas			3	2	2	12	Régler ou remplacer
	Le filler ne se décharge pas	Il ne reçoit pas l'impulsion décharge agrégats			2	3	1	6	Vérifier relais et fin de course
		Electrovanne de décharge ne marche pas			3	2	2	12	Vérifier électrovanne
		Relais de décharge ne marche pas			2	2	2	8	Remplacer relais
		Temporisateur ne marche pas (à la position filler retardé)			3	2	2	12	Vérifier temporisateur
	Le bitume n'est pas répandu commutateur	Mauvaise position commutateur			1	3	2	6	positionner
		Le télérupteur ne s'excite pas			2	3	2	12	Contrôle thermique (Réarmer). Vérifier fusibles. Vérifier contact télérupteur
		Relais de répandage ne marche pas			2	2	2	8	Remplacer relais
		Temporisateur ne marche pas (à la position retardée)			2	3	2	12	Vérifier temporisateur

	Filler et Bitume ne se déchargent pas	Fin de course porte agrégats ne marche pas			2	2	2	8	Régler ou remplacer
		Relais de décharge agrégats ne marche pas			2	2	2	8	Remplacer relais
	Le bitume ne s'arrête pas à la valeur préaffichée	Prédispositif ne marche pas			1	3	2	6	Remplacer
		Transducteur ne marche pas			1	2	2	4	Vérifier fonctionnement
	Le malaxeur ne se démarre pas	Le moteur en panne			2	4	2	16	Réparer
		Défaut mécanique ou électrique			3	4	2	24	Réparer
	Le temps de malaxage et dépassé les 17secondes	Problème au niveau de temporisateur			3	2	2	12	Régler

EPTR SUD/EST	ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCES ET DE LEUR EFFETS ET LEUR CRITICITE							AMDEC MACHINE		
	Système : poste d'enrobage Sous système : matériel de stockage			Phase de fonctionnement :		Date de l'analyse :				
Elément	Fonction	Mode de défaillance	Cause	Effet	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	N	C	
La benne	Transporter l'enrobé aux silos de stockage	Ne se marche pas	Défaut mécanique ou électrique			3	3	2	18	Réparer
		La benne ne se décharge pas	Panne de moteur			2	4	2	16	Réparer
			Panne de temporisateur de déchargement			3	2	2	12	Changer
		La benne ne s'arrête pas	Ressort d'effectué			2	2	2	8	Changer
		Blocage de la benne dans la position de descente maximum	Défaut mécanique ou électrique			2	3	2	12	Réparer
			Panne de temporisateur			3	2	2	12	Changer
		Le temps de déchargement de la benne est dépassé les 5secondes	Panne de temporisateur			3	2	2	12	

Annexe D
Présentation générale du G2

1. Introduction :

G2 est un outil très performant d'aide au développement des systèmes à base de connaissances, commercialisé par la société GENSYM CORPORATION, sa première version a vu le jour en 1988, et il n'a pas cessé d'évoluer depuis, il sert de support à de nombreuses applications mettant en œuvre diverses techniques de l'intelligence artificielle, notamment dans les domaines de l'aide à la décision, le diagnostic, la planification, la conduite de processus, etc....

G2 a été implémenté en COMMON-LISP, ses principales parties sont :

- Les bases de connaissances
- Moteur d'inférences
- Langage procédural
- Simulateur
- Environnement de développement

G2 permet aux développeurs d'applications d'exprimer les objets, règles, méthodes, procédures, en utilisant un langage naturel, ce qui permet aux modèles d'application d'être compréhensibles, testables et modifiables, il permet aussi de délivrer des solutions intelligentes qui prouvent l'efficacité, la flexibilité et la qualité des opérations performées.

2. Caractéristiques du G2 :

Les caractéristiques les plus importantes pour lesquelles G2 est bien connu sont :

- a. **Un langage naturel structure :** qui permet de définir des objets, des règles, des méthodes, des procédures, pour une capture rapide et l'extraction des meilleures connaissances d'une application.
- b. **L'architecture base de connaissances :** tout ce qui est développé sous G2 à la forme de base de connaissances, une application peut inclure plusieurs bases de connaissances, et ces dernières peuvent se partager les informations.
- c. **La modélisation dynamique et la simulation :** G2 permet de pouvoir modéliser dynamiquement un processus en utilisant les relations entre objets dans des graphes ou des schémas, et d'utiliser les possibilités de G2 qui permettent le raisonnement à propos d'objets connectés pour simuler une application.

- d. Un éditeur constructeur :** qui guide automatiquement le développeur, on lui listant les mots permis, les instructions qui peuvent être introduites, et on lui indiquant les erreurs produites.
- e. La portabilité des applications vers de nouvelles plates-formes :** on incluant UNIX et le système d'exploitation WINDOWS, sans avoir le besoin de les porter ou recompiler.
- f. Modification interactive :** des applications sans interruptions.
- g. Accès concurrent :** vers multiples sources de données et l'échange à haute performance des données à travers le GSI (G2 Standard Interface).
- h. Partage concurrent des applications de G2 :** par plusieurs utilisateurs à travers Gensym Telewindow Product.
- i. Architecture à temps réel :** qui permet à plusieurs règles, procédures, et modèles être active en parallèle, donc ces applications peuvent suivre plusieurs lignes de raisonnement en temps réel.

3. But d'utilisation du G2 :

En générale G2 est utilisé pour développer une large variété de support de décision intelligente, et de contrôle d'application qui aide les organisations à garder leur constance en compétitive, cette constance permet aux organisations d'accroître leurs efficacité en prouvant leurs productivités, et une meilleure utilisation de leur ressources pour fournir de la qualité pour leurs produits et leurs services, et de répondre rapidement aux besoins du marché. Pour cela les systèmes intelligents conçus et développer avec G2 aide à garder cette constance en analysant, interprétant, et en appliquant les connaissances qui représentent l'expérience des meilleurs personnels opérationnels, donc G2 peut être utilisé pour plusieurs buts qui sont : le diagnostic, le filtrage d'alarmes, l'optimisation des plans larges, contrôle et supervision, simulation des processus, support de décision pour des opérations de larges entreprises.

4. Les applications du G2 :

Les applications du G2 utilisent les données obtenues des bases de connaissances, simulateurs, opérateur, et d'autres sources provenant de l'intelligence en temps réel elles peuvent :

- Appliquer des connaissances en utilisant les objets, les règles, les modèles, et les procédures.
- Raisonner et contrôler les événements dans des environnements qui changent continuellement.
- Scanner une opération en temps réel et comme le veut l'opérateur, et l'informer quand un problème est détecté.
- Prévoir les problèmes avant la limite d'alarme grâce à l'application continue des analyses de l'intelligence aux données.
- Acquérir et fournir des informations à des utilisateurs locaux et répondre à leurs besoins.
- Répondre aux événements et communiquer avec applications de G2.

5. Les avantages du G2 :

G2 offre les avantages suivants :

- ✓ Les connaissances comme ils sont représentées en G2, sont lisibles, compréhensibles et permettent aux utilisateurs de les transformer à des ressources évolutives qui serviront de support à la décision et le contrôle d'application.
- ✓ Le raisonnement peut être lié à un large nombre de tâches concurrentes en temps réel, G2 permet aussi de fournir un temps de réponse pour plusieurs problèmes simultanément.
- ✓ L'analyse intelligente qui peut détecter un déroulement anormal avant la limite d'alarme
- ✓ La modélisation d'un monde réel d'objets en incluant la location physique, interconnexions, et les relations logiques qui permettent aux applications de G2 de tracer les chemins des causes des problèmes et anticiper les conséquences des conditions anormales.
- ✓ Réduction de la taille des applications grâce aux règles génériques, procédures, et méthodes qui peuvent être appliquées travers plusieurs objets.
- ✓ Recherche rapide, et ne rapidité à tester et modifier les connaissances en utilisant les facilités d'aménagement des connaissances de G2.

- ✓ La portabilité immédiate des solutions sans modification ou recompilation dans PC ou sous UNIX, VMS.
- ✓ Concurrence, partage, d'accès des utilisateurs à des applications intelligentes.
- ✓ La sécurité des applications avec a possibilité en G2 de définir les privilèges d'accès.
- ✓ Perforer des opérations à temps réelles avec la possibilité de répondre à des événements de haute priorité, lorsque G2 continue à exécuter des routines de contrôles.
- ✓ Des procédures et des règles qu'offre le langage naturel structure de G2 et qui sont plus facile à concevoir que dans d'autres langages comme C et C++.

6. Description technique du G2 :

G2 offre un environnement de développement complet, qui permet le développement rapide d'applications intelligentes en temps réel ; ce qui représente pour plusieurs utilisateurs l'un des points fort de G2, les principales parties de G2 sont : une base de connaissances, un moteur d'inférence, un langage procédural et interface opérateur .il intègre la concurrence, l'exécution en temps réel et les concepts de l'orientée objets comme le montre la figure A.1.

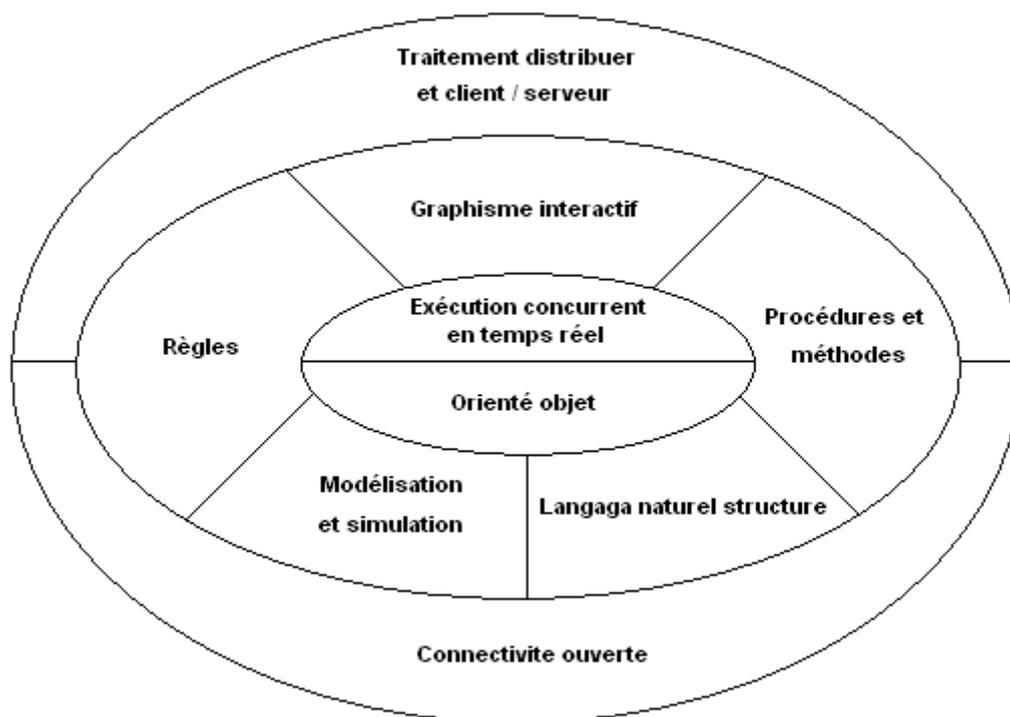


Fig.A.1. Structure du G2

7. La représentation des connaissances dans G2 :

7.1. Classes et objets :

Le concept orienté objet est la base du développement enG2, il permet d'offrir une application structure qui est plus facile à comprendre.

En G2 tout item, règles, objets, procédures graphes, boutons, etc...., sont tous des items, ils sont organisés en une hiérarchie, et ils ont tous une représentation graphique à travers laquelle ils sont manipulés par la souris.

7.1.1. Objets :

L'objet est la construction la plus fondamentale dans une application, il combine, les structures de données et le comportement en une seule entité, un objet peut représenter quelque chose de physique comme un tank (centenaire) , pompe , instruments , ou quelque chose d'abstrait comme un événement , tâche , message , connections logique.

Les objets sont centraux à toutes applications de G2, chaque exécution d'une application de G2 est basée sur le comportement des objets et les classes d'objets définis.

Les objets en G2 peuvent être créés programmiquement, ou inter activement, dès la création d'un objet, G2 leur associe une représentation qui est appelée **icon**, qui peut être définie inter activement ou programmiquement, et qui peut avoir plusieurs régions, ces régions peuvent avoir des couleurs différentes.

7.1.2. Les classes :

Les objets sont organisés hiérarchiquement de façon à permettre une grande simplification de la représentation de leurs propriétés et leurs comportements, chaque objet est un membre, ou une instance d'une classe, une classe d'objet définit toutes les propriétés générales et le comportement des objets (attributs, stubs, icon, ect...).

G2 contient plusieurs classes définies et qui peuvent être héritées par les classes définies par l'utilisateur (héritage multiple c'est-à-dire peut héritée de plusieurs classes).

Comme pour l'héritage dans les langages de programmation orientés objet (POO) en G2 toute classe qui hérite d'une classe supérieure doit contenir tous les attributs de la ou les classes mères en plus des attributs propres à ces classes.

7.2. WORKSPACE (espace de travail) :

L'organisation des connaissances dans G2 se fait à travers les workspaces qui sont des conteneurs qui peuvent contenir toutes les composantes d'une application, graphiquement un workspace apparaît comme une fenêtre et tout objet ou règle, ou autre item définie dans cette fenêtre doit être assigné à elle.

Les workspaces sont utilisés généralement pour réfléchir la modularité des applications, ou chaque workspace est assigné à un module.

7.3. Connections et relations :

G2 a deux manières pour définir des rapports entre objets, les connections et les relations. Les connections sont utilisées pour représenter une connection physique entre des objets, exemple conduite entre conteneurs. Les connections doivent avoir des attributs (unidirectionnel, bidirectionnel, etc....).

Les relations sont créées uniquement à l'exécution et non pas une représentation graphique, elles n'ont pas d'attributs. Elles peuvent être spécifiées un à un, un à plusieurs, ou plusieurs à plusieurs. C'est une représentation descriptive de la possibilité de représenter un rapport entre deux objets dans G2. C'est un aspect important de la capture des connaissances dans une application.

7.4. Les variables :

Tous les objets de classe ont la même structure générale, cette structure inclut une ou plusieurs propriétés ou attributs, qui peuvent prendre différentes valeurs pour chaque objet individuel de la classe mère, comme la température, dans notre application.

Dans plusieurs cas, seule la valeur courante de l'attribut est intéressante et sa valeur est validée indéfiniment, cette valeur peut être enregistrée directement dans la table de l'objet, mais dans d'autres cas où les attributs représentent un environnement à temps réel, la valeur courante de l'attribut seul ne suffit pas, par exemple pour créer une courbe représentant la température dans le tank de manière continue, on aura besoin de garder les valeurs anciennes de l'attribut, c.à.d. garder l'histoire de l'attribut, donc les valeurs auront une limite de temps pour la validation.

7.5. Les règles :

Les règles de G2 sont utilisées pour encapsuler les connaissances heuristiques des experts, de quoi conclure à partir des conditions, et comment répondre à eux.

Elles permettent d'enrichir les conclusions, la détection des pannes, déterminant les actions à prendre pour optimiser la productivité et la sécurité, G2 offre 5 types de règles :

- ✓ Les règles IF
- ✓ Les règles WHEN
- ✓ Les règles UNCONDITIONAL
- ✓ Les règles INITIALY
- ✓ Les règles WHENEVER

Les règles génériques permettent d'appliquer une règle à plusieurs objets au lieu d'avoir plusieurs règles qui accomplissent la même tâche.

Les règles dans G2 sont plus faciles à lire et à appliquer aux objets.

7.6. Le moteur d'inférence :

Le moteur d'inférence de G2 a pour rôle d'invoquer les règles, quand il invoque une règle, le moteur d'inférence évalue l'antécédent de cette règle pour déterminer s'il est vrai ou pas, si c'est le cas il exécute l'action.

Pour évaluer l'antécédent d'une règle, G2 doit trouver une valeur pour les attributs que l'antécédent réfère, si aucune valeur n'est trouvée G2 peut avoir une valeur pour un attribut à partir des sources suivantes :

- Un serveur de données, qui puise les valeurs d'une base de données
- Un utilisateur final
- Une règle qui conclue la valeur nécessaire (chaînage arrière)
- Une formule (formulas)

G2 alors utilise cette valeur pour déterminer si ou non la condition exprimée dans l'antécédent est satisfaite, si c'est vrai, il exécute les actions dans le conséquent.

Le moteur d'inférence peut aussi exécuter les tâches suivantes :

- Mettre au point un objet en invoquant les règles associées à cet objet.
- Invoquer des règles d'une catégorie particulière pour une classe d'objet particulière.

- Le chaînage arrière à autre règle pour trouver des valeurs.
- Le chaînage avant aux règles quand une valeur est reçue.
- Scanner (examiner) les règles aux degrés associe à chaque règle.

7.6.1. Le chaînage arrière :

Quand une valeur d'une variable à expiré, et qu'une nouvelle valeur est nécessaire, le moteur d'inférence l'obtient par l'évaluation des règles, si cette variable est assigne à une valeur dans le conséquent d'autre règles, le moteur d'inférence évaluera l'antécédent de ces règles, s'il est vrai, le conséquent alors obtient la valeur nécessaire.

L'évaluation de l'antécédent d'une règle qui requière une valeur qui est assignée dans le conséquent d'autres règles, qui leurs antécédents doivent être évaluées, ce processus est appelé le chaînage arrière.

7.6.2. Le chaînage avant :

Quand une application est en cours d'exécution, le moteur d'inférence de G2 surveille continuellement toutes les quantités qui sont référencier dans des antécédent d'autre règles, si l'une des quantités change, il (moteur d'inférence) teste l'antécédent pour vérifier s'il est devenue vrai, si c'est le cas, il exécute le conséquent, ce processus est appeler chaînage avant.

7.7. Les procédures :

G2 contient un langage de programmation procédural style pascal. Il fournit les procédures pour réaliser des actions séquentielles complexes et les calcule, contrairement aux règles, les procédures ne s'indiquent pas au G2 comment répondre aux conditions données, mais fournissent un ensemble d'instructions à suivre.

Une procédure est un ensemble de commandes (statement) que G2 exécute en lui indiquant une série d'étapes que doit l'accomplir pour réaliser une ou plusieurs taches.

Les instructions des procédures de G2 permettent toutes les actions permise pour les règles, ils peuvent assigner des valeurs pour des variables, les procédures permettent aussi les instructions **if-then-else**, **case**, **repeat**, **exit if**, pour sortir d'une boucle, **goto**, **call**, **wait**, il est possible aussi de spécifier que deux ou plusieurs instructions doit être exécuter en parallèle avec l'instruction **do in parallèle** pour arriver aux besoins des applications en temps réel.

7.8. Les méthodes :

Les méthodes en G2 capture le comportement des objets, les méthodes sont très similaires aux procédures, donc elles héritent des avantages et des culpabilités procédurales de G2. La capture de comportement d'objets se fait en liant (associant) les méthodes avec les classes d'objets.

Les méthodes peuvent réduire significativement le nombre de règles et de procédure contenue dans une application.

8. Le langage naturel du G2 :

En utilisant le langage naturel et structurée de G2, un développeur peut exprimer les instructions avec des termes familiers, la syntaxe de G2 est proche de l'anglais, ce qui représente un bénéfice de ne pas avoir à être un programmeur pour lire, comprendre, ou même modifier une application de G2, c'est-à-dire que l'utilisateur final peut devenir plus évolué dans le développement d'application sous G2, en plus le langage de G2 a pour avantages se qui suit :

8.1. Un éditeur de texte interactif :

Editeur de texte interactif de G2 aide à écrire et éditer les instructions pour les règles, les fonctions, les procédures, et autres.

Editeur de texte permet d'afficher les termes possibles d'être introduite après le mot présent, par exemple dans éditeur de texte au dessous, il est indiqué comment continuer à écrire la règle en citant les différentes possibilités.

8.2. Graphisme interactif :

G2 est hautement interactif et un environnement de développement visuelle, l'une des avantages majeurs pour un développeur est d'avoir une vue et une pensée graphique aux environnements de développement les mêmes que celle d'un utilisateur final, vous pouvez alors immédiatement savoir ce qu'il faut fournir aux utilisateurs quand vous êtes entraînés de développer des applications.

Pour ce la G2 offre un ensemble riche de graphes interactifs pour développer et livrer des applications comme :

- Les icons d'objets.
- Courbes, plan, table, bar d'outil, compteurs et autres affichages.
- Une interface graphique de développement environnement pour l'utilisateur (G2 GUIDE)
- Des images Bit Map .
- Bouton, boite de dialogue.
- Messages etc....

8.3. Les objets graphiques et connectables :

Les objets en G2 peuvent être représenté graphiquement en utilisant les icons chaque classe d'objets peut avoir sa propre icon qui la distingue des autres objets, par cette représentation graphique d'objets et la connectibilité entre objet en pourra rapidement créer un modèle représente une application.

La création des modèles pour application est appelé modélisation dynamique qui permettra de pouvoir simuler le processus grâce aux règles, formules, et le simulateur de G2.

9. La simulation dans G2 :

G2 fournit un simulateur qui peut fournir des valeurs simulées pour des variables, ce simulateur est destiné pour être utilisé durant le développement pour tester la base de connaissances, et en parallèle durant les opérations en ligne «on-line opérations» il peut être utilisé pour implémenter et pour avoir une estimation à un signal qui n'est pas mesuré la simulation peut être faite aussi dans G2 en utilisant les règles, les procédures, les formules (formules) etc....

Pour la génération des données durant le développement d'application, il est fréquemment impossible d'accéder aux données réelles, le simulateur de G2 pourra le faire.

Il est un excellent outil permettant de tester une application pendant le développement bien avant qu'elle soit connectée à une source de données externe, il peut être alors la base du modèle du raisonnement, les capacités de modélisation et de simulation de G2 peuvent être valables pour l'analyse **what-if**.

Pour utiliser le simulateur de G2, il faut créer des formules de simulations (simulation formulas) qui indiquent au simulateur comment créer les valeurs voulues, ces formules de simulation peuvent être algébriques, aux différences ou équations différentielles de premier ordre, le simulateur de G2 a les caractéristiques suivantes :

- Il est complètement intégré au G2.
- Il est capable d'évaluer des équations algébriques, différentielles de premier ordre.
- Il permet différentes incréments de temps pour l'évaluation des différentes variables.
- Il permet écrire des formules de simulation spécifique pour des variables spécifiques, comme il est le cas pour les formules de simulations pour les classes de variables et de paramètres.
- Il peut être exécuté en parallèle avec l'application et donc il peut simuler des valeurs quand G2 est en surveillance des opérations réelles.
- Garder l'histoire pour des variables simulées qui sert à l'aide au diagnostic.

10. L'interface de développements :

Comme on l'a déjà dit G2 a un excellent environnement de développements graphiques avec les workspaces, les bars de menus et autres textes d'information (messages), qui sont performes à travers éditeur de textes interactive, en utilisant cet éditeur la majorité des textes peuvent être introduites grâce à un click de souris, il a aussi les facilités du styles Macintosh de texte avec les possibilités de **cut**, **paste**, **undo**, **redo**, etc...., les facilités qui permet **inspect** de G2 rend possible aux utilisateurs la recherche dans la base de connaissance de n'importe quelle items spécifiques alors l'utilisateur pourra aller vers l'item et le modifier s'il le veut.

11. Les inconvénients du G2 :

Le principal inconvénient du G2 est le fait que G2 est un système fermé car il peut seulement être interfacé avec autres modules qu'à travers une interface prédéfini.

L'environnement du G2 lui-même est un monde complet fermé donc il est impossible de modifier la manière dont G2 opère intérieurement c.à.d. si ce que G2 fournit de graphisme, des structures de classe-objets est insuffisant on pourra rien faire pour y remédier.

G2 est rapide par rapport a beaucoup de systèmes experts, il peut être aussi long pour certaines applications car la plus petite unité de temps est une seconde, pour des applications nécessite une réponse rapide G2 est incomplet malgré sa capacités d'exécution entre 300 est 500 règles de tailles moyennes par seconde, car lorsque le simulateur est utilise la vitesse exécution baisse considérablement.

Annexe E

Etablissement de la base des règles

1. Établissement de la base des règles

Les connaissances obtenues par les méthodes GRAFCET, SADT et AMDEC doivent être structurées sous forme de règles en se basant sur les relations effet –causes.

1.1. Les règles extraites de l'AMDEC

Ces règles sont obtenues directement des tableaux de l'AMDEC, elles ont la forme : si (effet indésirable) et (mode de défaillance) alors (composant défaillant). Elles sont présentées dans ce qui suit par composant :

- **Défaillance de prédoseur:**

R.1/ Si (l'arrêt de la production) **et** (Non fonctionnement d'un compartiment) **alors** (Les pierres de grande dimension ou des corps étrangers bloquent l'ouverture de la trémie)

R.2/ Si (l'arrêt de la production) **et** (Non fonctionnement d'un compartiment) **alors** (Panne au niveau de moteur)

R.3/ Si (Diminution de la capacité de production) **et** (Vibrations) **alors** (L'usure des roulements)

R.4/ Si (Diminution de la capacité de production) **et** (Vibrations) **alors** (Absence de lubrification et de graissage des parties mobiles)

- **Défaillance de transporteur :**

R.1/ Si (L'arrêt de transporteur) **et** (L'arrêt de moto variateur) **alors** (L'augmentation de la température)

R.2/ Si (Diminution de la capacité de production) **et** (Décalage de tapie) **alors** (Mauvais réglage)

R.3/ Si (Diminution de la capacité de production) **et** (Vibrations) **alors** (L'usure des roulements)

R.4/ Si (L'arrêt de production) **et** (L'arrêt de transporteur) **alors** (Endommagement et détérioration du courroie)

- **Défaillance de sécheur:**

R.1/ Si (L'arrêt de la production) **et** (L'arrêt de sécheur) **alors** (Moteur en panne)

R.2/ Si (L'arrêt de la production) **et** (L'arrêt de sécheur) **alors** (endommagement de palette)

R.3/ Si (L'arrêt de la production) **et** (L'arrêt de sécheur) **alors** (Endommagement et détérioration du Courroie)

R.4/ Si (Diminution de rendement de sécheur) **et** (Vibration) **alors** (L'usure des roulements)

R.5/ Si (Diminution de rendement de sécheur) **et** (Vibration) **alors** (Mauvais positionnement de tambour (dépositionner de galet))

R.6/ Si (L'arrêt de production) **et** (L'arrêt de l'aspirateur des fumées) **alors** (Moteur en panne)

• **Défaillance de brûleur :**

R.1/ Si (L'arrêt de la production) **et** (Manque d'allumage du pilote ou manque d'étincelle entre les électrodes) **alors** (Electrode à masse)

R.2/ Si (L'arrêt de la production) **et** (Manque d'allumage du pilote ou manque d'étincelle entre les électrodes) **alors** (Manque le pareflamme du bruleur pilote)

R.3/ Si (L'arrêt de la production) **et** (Manque d'allumage du pilote ou manque d'étincelle entre les électrodes) **alors** (détérioration du câble haute tension)

R.4/ Si (L'arrêt de la production) **et** (Blocage de bruleur après l'allumage) **alors** (Cellule ou panneau flamme endommagés)

R.5/ Si (L'arrêt de la production) **et** (Blocage de bruleur après l'allumage) **alors** (Position erroné de la cellule ou disque au quartz sale)

R.6/ Si (L'arrêt de production) **et** (Extinctions accidentelles) **alors** (Pulvérisation sale)

R.7/ Si (L'arrêt de production) **et** (Extinctions accidentelles) **alors** (Fort excès d'air comburant)

R.8/ Si (L'arrêt de production) **et** (Extinctions accidentelles) **alors** (Fort défaut d'air comburant)

R.9/ Si (L'arrêt de production) **et** (Le brûleur ne se démarre pas) **alors** (Interrupteur général ouvert)

R.10/ Si (L'arrêt de production) **et** (Le brûleur ne se démarre pas) **alors** (Fusibles interrompus)

R.11/ Si (L'arrêt de production) **et** (Le brûleur ne se démarre pas) **alors** (Jeu d'asservissement non correct)

R.12/ Si (L'arrêt de production) **et** (Le brûleur ne se démarre pas) **alors** (Appareil en position de bloc)

- R.13/ Si** (L'arrêt de production) **et** (Le brûleur ne se démarre pas) **alors** (Relais thermique en bloc)
- R.14/ Si** (L'arrêt de production) **et** (Le brûleur ne se démarre pas) **alors** (Servocommande non en position de flamme basse)
- R.15/ Si** (L'arrêt de production) **et** (Le brûleur part mais l'appareil reste en phase de prélavage) **alors** (Pressostat air taré trop haut)
- R.16/ Si** (L'arrêt de production) **et** (Le brûleur part mais l'appareil reste en phase de prélavage) **alors** (Pressostat air défectueux)
- R.17/ Si** (L'arrêt de production) **et** (Manque d'allumage suivi par bloc de flamme) **alors** (Excès d'air comburant supérieur au normal)
- R.18/ Si** (L'arrêt de production) **et** (Perte du pulvérisateur) **alors** (Vanne de retenue dans la tête et dans le bloc, tubes flexibles sales)
- R.19/ Si** (L'arrêt de production) **et** (Pression de retour pulvérisateur diesel instable ou qui n'augmente pas, même en changeant tout le ressort) **alors** (Pointe conique des vannes sale)
- R.20/ Si** (L'arrêt de production) **et** (Flamme inclinée par rapport à l'axe de la chambre de combustion) **alors** (Bague convergente inclinée)
- R.21/ Si** (L'arrêt de production) **et** (Flamme inclinée par rapport à l'axe de la chambre de combustion) **alors** (Brûleur décentré)
- R.22/ Si** (L'arrêt de production) **et** (Les pressions de refoulement du fuel sont correctes, mais le débit est insuffisant) **alors** (Pulvérisateur sale)
- **Défaillance de filtre :**
- R.1/ Si** (Diminution de rendement de production) **et** (Perte de charge du filtre) **alors** (Un cumule de poussière qui se dépose sur la surface extérieure des manches)
- R.2/ Si** (Diminution de rendement de filtre) **et** (Perte de charge du filtre) **alors** (L'augmentation de l'humidité)
- R.3/ Si** (L'arrêt de la production) **et** (Blocage des vis) **alors** (La poussière sur les manches)
- R.4/ Si** (Diminution de rendement de filtre) **et** (Vibration) **alors** (Ventilateur perdre son équilibre)

R.5/ Si (Diminution de rendement de filtre) **et** (Fuite sur les manches) **alors** (Une légère couche de poussières qui se déposent sur le plan des manches)

R.6/ Si (L'arrêt de production) **et** (Détérioration de courroie) **alors** (La durée de vie limitée ou par l'influence des conditions climatiques)

R.7/ Si (L'arrêt de production) **et** (L'arrêt de filtre) **alors** (a cause de La pluie)

- **Défaillance de l'élévateur :**

R.1/ Si (L'arrêt de production) **et** (L'arrêt de l'élévateur) **alors** (Endommagement et détérioration du Courroies de transmission)

R.2/ Si (L'arrêt de production) **et** (L'arrêt de l'élévateur) **alors** (L'arrêt de moteur)

R.3/ Si (Diminution de rendement) **et** (Vibration) **alors** (Endommagement de Ressort)

R.4/ Si (Diminution de rendement) **et** (Vibration) **alors** (Usure des chaines)

R.5/ Si (Diminution de rendement) **et** (Vibration) **alors** (Echrous de fixation des godets ne sont pas serrés)

R.6/ Si (L'arrêt de production) **et** (Blocage) **alors** (Les pierres de grande dimension ou des corps étrangères bloquent l'élévateur)

- **Défaillance de trémie de pesage:**

R.1/ Si (Le cycle reste en attente donc cycle bloqué) **et** (La trémie de pesage n'a pas été entièrement vidée) **alors** (Un corps étranger s'interposant entre la trémie et le châssis)

R.2/ Si (Le cycle reste en attente donc cycle bloqué) **et** (La trémie de pesage n'a pas été entièrement vidée) **alors** (Défaut au niveau du bras de transmission au transducteur)

R.3/ Si (L'arrêt de la production) **et** (Cycle bloqué et la valeur à zéro (tare)) **alors** (Problème électrique ou électronique)

R.4/ Si (Dégradation de la qualité de produit) **et** (Le poids de sécurité d'une bascule à été dépassé) **alors** (Mauvaise fermeture de la porte)

R.5/ Si (Dégradation de la qualité de produit) **et** (Le poids de sécurité d'une bascule à été dépassé) **alors** (Mauvais fonctionnement du transducteur de l'électrovanne et du cylindre pneumatique)

R.6/ Si (Dégradation de la qualité de produit) **et** (Le poids de sécurité d'une bascule à été dépassé) **alors** (Pour le dosage de liant Mauvais fonctionnement de la vanne à trois voies)

- R.7/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (La porte des agrégats ne s'ouvre pas) **alors** (Une bascule n'a pas terminé la pesée)
- R.8/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (La porte des agrégats ne s'ouvre pas) **alors** (Malaxeur ouvert)
- R.9/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (La porte des agrégats ne s'ouvre pas) **alors** (Fin de course malaxeur fermé ne marche pas)
- R.10/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (La porte des agrégats ne s'ouvre pas) **alors** (Pression air insuffisante)
- R.11/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Les agrégats n'ont pas été pesés) **alors** (Manque de matériau)
- R.12 Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Les agrégats n'ont pas été pesés) **alors** (Fin de course porte agrégats qui ne marche pas)
- R.13/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Les agrégats n'ont pas été pesés) **alors** (Interrupteur exclusion composants qui ne marche pas)
- R.14/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Les agrégats n'ont pas été pesés) **alors** (Pression air insuffisante)
- R.15/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Une bascule va en sécurité) **alors** (Présélecteur pesage insuffisant)
- R.16/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Une bascule va en sécurité) **alors** (Relais pesage ne marche pas)
- R.17/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Une bascule va en sécurité) **alors** (Electrovanne arrêtée)
- R.18/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Une bascule va en sécurité) **alors** (Jauge de contrainte ou transmetteurs de poids en panne)
- R.19/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le filler n'à pas été pesé) **alors** (Manque de filler)
- R.20/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le filler n'à pas été pesé) **alors** (La porte de pesage ne s'ouvre pas)
- R.21/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le filler n'à pas été pesé) **alors** (Fin de course porte vis ne se marche pas)

- R.22/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le filler n' à pas été déchargé) **alors** (Il ne reçoit pas l'impulsion décharge agrégats)
- R.23/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le filler n' à pas été déchargé) **alors** (Electrovanne de décharge ne se marche pas)
- R.24/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le filler n' à pas été déchargé) **alors** (Relais de décharge ne se marche pas)
- R.25/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le filler n' à pas été déchargé) **alors** (Temporisateur ne se marche pas (à la position filler retardé))
- R.26/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le bitume n'est pas répandu commutateur) **alors** (Mauvaise position commutateur)
- R.27/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le bitume n'est pas répandu commutateur) **alors** (Le télérupteur ne s'excite pas)
- R.28/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le bitume n'est pas répandu commutateur) **alors** (Relais de répandage ne marche pas)
- R.29/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le bitume n'est pas répandu commutateur) **alors** (Temporisateur ne se marche pas (à la position retardée))
- R.30/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Filler et Bitume ne se déchargent pas) **alors** (Fin de course porte agrégats ne se marche pas)
- R.31/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Filler et Bitume ne se déchargent pas) **alors** (Relais de décharge agrégats ne se marche pas)
- R.32/ Si** (Dégradation de la qualité de produit) **et** (Le bitume ne s'arrête pas à la valeur préaffichée) **alors** (Prédispositif ne se marche pas)
- R.33/ Si** (Dégradation de la qualité de produit) **et** (Le bitume ne s'arrête pas à la valeur préaffichée) **alors** (Transducteur ne se marche pas)
- **Défaillance de Malaxeur:**
- R.1/ Si** (L'arrêt de la production automatique) **et** (Le poste ne marche pas en cycle automatique) **alors** (L'alimentation électrique n'est pas à 24V D.C. ou il n'y a pas de courant dans les circuits auxiliaires)
- R.2/ Si** (L'arrêt de la production automatique) **et** (Le poste ne marche pas en cycle automatique) **alors** (Une bascule est « en sécurité » ou hors tare)

- R.3/ Si** (L'arrêt de la production automatique) **et** (Le poste ne se marche pas en cycle automatique) **alors** (Contact télérupteur malaxeur ne se marche pas)
- R.4/ Si** (L'arrêt de la production automatique) **et** (Le poste ne se marche pas en cycle automatique) **alors** (Poussoir en automatique ne se marche pas)
- R.5/ Si** (L'arrêt de la production automatique) **et** (Le poste ne se marche pas en cycle automatique) **alors** (Fin de course malaxeur fermé ne se marche pas)
- R.6/ Si** (L'arrêt de la production) **et** (Le poste s'arrêt en cycle automatique) **alors** (Le malaxeur reste ouvert)
- R.7/ Si** (L'arrêt de la production) **et** (Le poste s'arrêt en cycle automatique) **alors** (La benne n'est pas à fin de course inférieure)
- R.8/ Si** (L'arrêt de la production) **et** (Le poste s'arrêt en cycle automatique) **alors** (Porte agrégats toujours ouverte (bascule agrégats pas à la tare))
- R.9/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le malaxeur ne s'ouvre pas) **alors** (Temporisateur de malaxage ne se marche pas)
- R.10/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le malaxeur ne s'ouvre pas) **alors** (La bascule du filler ou du bitume ne se range pas à la valeur de tar)
- R.11/ Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le malaxeur ne s'ouvre pas) **alors** (La benne n'actionne pas le fin de course inférieure)
- R.12 Si** (Le cycle reste en attente) **et** (Le malaxeur ne s'ouvre pas) **alors** (Pression air insuffisante)
- R.13/ Si** (Blocage de système) **et** (Le malaxeur ne se ferme pas) **alors** (Le temporisateur de l'ouverture de malaxeur ne se marche pas)
- R.14/ Si** (Blocage de système) **et** (Le malaxeur ne se ferme pas) **alors** (Electrovanne ne se marche pas)
- R.15/ Si** (Blocage de système) **et** (Le malaxeur ne se ferme pas) **alors** (Pression air insuffisante)
- R.16/ Si** (L'arrêt de la production) **et** (Le malaxeur ne démarre pas) **alors** (Le moteur en panne)
- R.17/ Si** (L'arrêt de la production) **et** (Le malaxeur ne se démarre pas) **alors** (Défaut mécanique ou électrique)

R.18/ Si (Retard de la production) **et** (Le temps de malaxage et dépassé les 17secondes) **alors** (Problème au niveau de temporisateur)

• **Défaillance de groupe de stockage:**

R.1/ Si (Manque de produit au niveau des silos de stockage) **et** (la benne ne se marche pas) **alors** (Défaut mécanique ou électrique)

R.2/ Si (Manque de produit au niveau des silos de stockage) **et** (La benne ne se décharge pas) **alors** (Panne de moteur)

R.3/ Si (Manque de produit au niveau des silos de stockage) **et** (La benne ne se décharge pas) **alors** (Panne de temporisateur de déchargement)

R.4/ Si (Manque de produit au niveau des silos de stockage) **et** (La benne ne s'arrête pas) **alors** (Ressort d'effectué)

R.5/ Si (Blocage de système) **et** (Blocage de la benne dans la position de descente maximum) **alors** (Défaut mécanique ou électrique)

R.6/ Si (Blocage de système) **et** (Blocage de la benne dans la position de descente maximum) **alors** (Panne de temporisateur)

R.7/ Si (Retard de la production) **et** (Le temps de déchargement de la benne est dépassé les 5secondes) **alors** (Panne de temporisateur)

• **Défaillance de groupe de chauffage de liant :**

R.1/ Si (L'arrêt de poste) **et** (Arrêt de la pompe) **alors** (Défaut mécanique, défaut électrique, perte d'alimentation électrique)

R.2/ Si (Pas de circulation de liant) **et** (la pompe ne se démarre pas) **alors** (Bloqués par le bitume refroidi)

R.3/ Si (Pas de circulation de liant) **et** (la pompe ne se démarre pas) **alors** (Défaut mécanique ou électrique)

R.4/ Si (Pas de circulation de liant) **et** (la pompe ne se démarre pas) **alors** (Il n'y ait pas d'infiltration d'air au niveau des brides ou des raccords)

R.5/ Si (Pas de circulation de liant) **et** (la pompe ne se démarre pas) **alors** (La soupape by-pass n'est pas fermée ou un corps étranger qui garder le by-pass ouvert)

R.6/ Si (Dégradation de rendement de la pompe) **et** (La pompe endommagée) **alors** (Elle est démarrée à sec ou avec les robinets d'aspiration fermés)

R.7/ Si (Dégradation de rendement de la pompe) **et** (Vibration et bruit au niveau de la pompe) **alors** (L'élément de transmission joint est en mauvaise état ou les vis des fixations à la base sont desserrées)

R.8/ Si (Pas de circulation de liant) **et** (Blocage en position de la vanne de citerne) **alors** (Défaut mécanique)

R.9/ Si (La température de liant n'est pas constante) **et** (le thermomètre ne marche pas) **alors** (Défaut mécanique)

R.10/ Si (La vanne reste en position) **et** (Perte de la pression) **alors** (Défaut mécanique ou électrique)

• **Défaillance de compresseur:**

R.1/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Pression d'air insuffisante) **alors** (Fuite d'air)

R.2/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Pression d'air insuffisante) **alors** (Filtre à air colmaté)

R.3/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Pression d'air insuffisante) **alors** (Réglage incorrect du pressostat d'air)

R.4/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Pression d'air insuffisante) **alors** (La consommation d'air excède la capacité maximale du compresseur)

R.5/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Pression d'air insuffisante) **alors** (Clapet endommagée)

R.6/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Pression d'air insuffisante) **alors** (Electrovalve défectueuse)

R.7/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Le groupe n'accélère pas) **alors** (Chut de tension aux bornes du moteur)

R.8/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Le groupe n'accélère pas) **alors** (Electrovalve défectueuse)

R.9/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Le groupe n'accélère pas) **alors** (Fonctionnement défectueux de déchargeur)

R.10/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Déclenchement de la soupape de surpression) **alors** (Clapet d'aspiration défectueux)

R.11/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Déclenchement de la soupape de surpression) **alors** (Soupape de surpression non étanche)

R.12/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Le réservoir ne retient pas la pression) **alors**

(L'étanchéité du clapet anti-retour)

R.13/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Le réservoir ne retient pas la pression) **alors** (Fuite d'air)

R.14/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Le groupe ne démarre pas) **alors** (Panne électrique)

R.15/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Le groupe ne démarre pas) **alors** (Le relais de surcharge a déclenché)

R.16/ Si (Le poste ne se démarre pas) **et** (Le groupe ne démarre pas) **alors** (Pression d'air supérieure à la pression de démarrage préétablie)

R.17/ Si (Arrêt de système) **et** (La pression du réservoir d'air dépasse le maximum et déclenche la soupape de sécurité) **alors** (Réglage incorrect ou fonctionnement défectueux du pressostat d'air ou de la soupape)

R.18/ Si (Arrêt de système) **et** (La pression du réservoir d'air dépasse le maximum et déclenche la soupape de sécurité) **alors** (Electrovalve défectueuse)

R.19/ Si (Arrêt de système) **et** (La pression du réservoir d'air dépasse le maximum et déclenche la soupape de sécurité) **alors** (Fonctionnement défectueux de déchargeur)

1.2. Les règles extraites de GRAFCET

Celles-ci sont de la forme : si (la transition non validé) alors (l'étape ne se réalise pas), ou si (l'étape non validé) alors (la transition non franchissable)

- **Les règles pour le chauffage de bitume :**

R.1/ Si (manque de huile) **alors** (manque de chauffage de bitume)

R.2/ Si (problème au niveau de la pompe de circulation de huile) **alors** (manque de chauffage de bitume)

R.3/ Si (temps pour chauffer les fondoirs n'atteint pas 600s) **alors** (la pompe auxiliaire ne se démarre pas)

R.4/ Si (la pompe auxiliaire ne se fonctionne pas) **alors** (manque de chauffage des autre tubes)

- **Les règles pour le démarrage de poste:**

R.1/ Si (température de bitume < 150C°) **alors** (le poste ne se démarre pas)

R.2/ Si (un problème au niveau de tableau de commande) **alors** (le poste ne se démarre pas)

R.3/ Si (le compresseur ne fonctionne pas) **alors** (le poste ne se démarre pas)

R.4/ Si (la pression de compresseur n'atteint pas 7bars) **alors** (la pompe de bitume ne se démarre pas)

- R.5/ Si** (aspirateur des fumés ne se fonctionne pas) **alors** (le filtre ne se démarre pas)
- R.6/ Si** (le temps après démarrage de filtre atteint pas 10s) **alors** (malaxeur ne se démarre pas)
- R.7/ Si** (aspirateur ne se marche pas) **alors** (l'élévateur à chaux ne se démarre pas)
- R.8/ Si** (l'élévateur à chaux ne se marche pas) **alors** (le moteur de vis filler ne se démarre pas)
- R.9/ Si** (le moteur de vis filler ne se marche pas) **alors** (le moteur de vis de silo de stockage du filler ne se démarre pas)
- R.10/ Si** (le moteur de vis de silo de stockage du filler ne se marche pas) **alors** (le sécheur ne démarre se pas)
- R.11/ Si** (le sécheur ne se marche pas) **alors** (la pompe gas-oil ne se démarre pas)
- R.12/ Si** (la pompe gas-oil ne se marche pas) **alors** (l'élévateur à froid ne se démarre pas)
- R.13/ Si** (l'élévateur à froid ne se marche pas) **alors** (tapie collecteur ne se démarre pas)
- R.14/ Si** (tapie collecteur ne se marche pas) **alors** (le PLC ne se démarre pas)
- R.15/ Si** (le PLC ne se marche pas) **alors** (il n'ya pas possibilité d'inséré la formule de prédosage)
- R.16/ Si** (défaut au niveau de la formule de prédosage ou dosage) **alors** (dégradation de la qualité de produit)
- R.17/ Si** (il n'ya pas possibilité d'inséré la formule de prédosage) **alors** (impossible d'inséré la formule de dosage)
- R.18/ Si** (la production est commencé avec un débit >50%) **alors** (le poste surcharge)
- R.19/ Si** (le réglage de production n' à pas été fait) **alors** (le brûleur ne s'allume pas)
- R.20/ Si** (les conditions non acceptable) **alors** (manque d'allumage de brûleur)
- **Les règles pour lancer la production:**
- R.1/ Si** (température de filtre < 45c°) **alors** (la production ne se démarre pas (les prédoseurs n'ont pas été démarrés))
- R.2/ Si** (la température de produit < 165c°) **alors** (dégradation de la qualité de produit)
- R.3/ Si** (le capteur qui indique la température golote ne fonctionne pas) **alors** (le cycle dosage ne démarre pas ou il démarre mais la température des agrégats né pas acceptable)

R.4/ Si (manque d'un ou plusieurs dosage des 3 matières) **alors** (un des paramètres de malaxeur non acceptable)

R.5/ Si (un des paramètres de malaxeur non acceptable) **alors** (affichage de l'erreur et la porte de malaxeur ne s'ouvre pas)

R.6/ Si (si le temps de malaxage n'atteint pas 18s) **alors** (la porte de malaxeur ne s'ouvre pas pour le déchargement)

R.7/ Si (la position de la benne n'est pas au dessous de malaxeur) **alors** (la porte de malaxeur ne s'ouvre pas pour le déchargement)

R.8/ Si (l'augmentation de la production ce fait avant les 10 premier gâchés) **alors** (le système surcharge)

1.3 Les règles extraites de SADT:

Celles-ci sont de la forme : si (il ya un manque des entrée, contrôleurs ou mécanismes) alors (manque de la sortie ou dégradation de qualité de la sortie),

R.1/ Si (température de produit<150c°) **alors** (mauvaise qualité du produit)

R.2/ Si (température de produit=165c°) **alors** (démarrage de cycle de dosage)

R.3/ Si (cycle dosage =on) **et** (dosage filler=0 ou dosage agrégats=0 ou dosage bitume=0) **alors** (arrêt de la production)

R.4/ Si (formule de pré dosage et fausse) **alors** (produit de mauvaise qualité)

R.5/ Si (formule de dosage et fausse) **alors** (produit de mauvaise qualité)