

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE MINISTERE DE
L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE HADJ LAKHDAR BATNA

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL

LABORATOIRE D'AUTOMATIQUE ET PRODUCTIQUE



MEMOIRE DE MAGISTER

SPECIALITE : GENIE INDUSTRIEL

OPTION : GENIE DES SYSTEMES INDUSTRIEL

Présenté par :

Salima ZEGHDANI

Ingénieur d'état en Génie Industriel

Thème :

=====

Modélisation de l'état d'un système de production sur la base d'une approche Bayésienne.

Etude de cas : Entreprise COTITEX - BATNA

=====

Devant le jury composé de :

Dr. Djamel MOUSS	Pr	Université de Batna	Président
Dr. Kinza. Nadia MOUSS	MCA	Université de Batna	Rapporteur
Dr. Chaabane HAMOUDA	MCA	Université de Batna	Examineur
Dr. Samir ABDELHAMID	MCA	Université de Batna	Examineur
Dr. Sihame KHECHIDA	MCA	Université de Guelma	Examineur
Mr. Tarek. MARREF	MAA	Université de Batna	Co - Rapporteur

Année Universitaire : 2014 / 2015

Remerciement

Merci mon Dieu de m'avoir donné la force, la patience et la volonté d'arriver au terme de travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Dr N.K.MOUSS ainsi qu'à Mr T.MARREF, pour leurs encadrements, leurs aides et le temps qu'ils m'ont consenti et surtout pour leurs conseils précieux.

Mes remerciements par avance à l'ensemble des membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.

Mes remerciements aussi à toute l'équipe de l'entreprise COTITEX pour leur accueil.

Je remercie vivement toutes les personnes qui m'ont aidé, encouragé tout au long de ce travail.

Dédicaces

A mes chers parents qui m'ont toujours aimé,

A mon mari qui m'a aidé et supporté dans l'accomplissement de ce travail.

A ma fille,

A mes frères, mes sœurs et leurs familles,

A mes beaux parents

A toute ma famille et à tous mes amis

Tables des matières

Introduction générale

Chapitre I : Notions sur la modélisation des systèmes de production

I. Introduction	1
II. Le système de production dans l'entreprise.....	2
II.1. Contexte général	2
II.1.1. Définitions de base	2
II.2. Notion du système de production	3
II.3. Les composantes d'un système de production	3
II.3.1. Le système de fabrication	4
II.3.2. Le système de pilotage	5
II.4. Caractéristiques des systèmes de production.....	6
II.5. Caractéristiques de la performance d'un système de production	6
II.6. La fonction de production dans l'entreprise	6
II.7. La maîtrise des systèmes de production	8
III. Modélisation des systèmes de production	8
III.1. Modélisation d'un système de production	8
III.2.1. Définitions	9
III.2.1.1. La modélisation	9
III.2.1.2. Un modèle	9
III.2. Choix de modélisation.....	10
III.2.1. Modélisation externe des systèmes de production	11
III.2.2. Modélisation interne des systèmes de production.....	11
III.2.2.1. Modélisation fonctionnelle.....	11
III.2.2.2. Modélisation organique.....	12
III.3. Buts de la modélisation	12
IV. Outils et méthodes pour la modélisation des systèmes de production	12
IV.1. Outils de modélisation mathématique.....	12
IV.2. Outils de modélisation informatique.....	13
V. conclusion.....	15
Chapitre II : Les réseaux bayésiens	
I. Introduction.....	16
II. Etat de l'art	17

III. Les réseaux bayésiens	18
III.1. Généralités.....	18
III.2. définition du Réseau Bayésien (RB)	19
III.3. Les avantages des Réseaux Bayésiens.....	21
III.4. Propriétés du Réseau Bayésien	21
III.4.1. Indépendance conditionnelle.....	22
III.4.2. Boucle dans un réseau bayésien	22
III.5. Extension des réseaux Bayésiens.....	23
III.5.1. Réseau Bayésien naïf.....	23
III.5.2. Réseau Bayésien dynamique (ou temporel)	23
III.5.3. Réseau Bayésien orienté objet.....	24
III.5.4. Réseau Bayésien étendu à un diagramme d'influence	24
III.6. Méthodes algorithmiques	25
III.6.1. L'apprentissage	25
III.6.2. L'inférence	26
III.7. Difficultés dans l'utilisation des réseaux bayésiens	27
III.8. Quand utilise-t-on les réseaux bayésiens ?.....	27
III.9. Construction d'un réseau bayésien.....	28
III.9.1 Identification des variables et de leurs espaces d'états	28
III.9.2 Définition de la structure du réseau bayésien.....	29
III.9.3. Loi de probabilité conjointe des variables.....	29
III.10. Un exemple simple de réseau bayésien.....	31
IV. La méthode HEMP.....	34
IV.1. définition	34
IV.2. Les étapes de la méthode HEMP	34
IV.3. Exécution de la méthode HEMP	36
V. Inférence bayésienne	37
VI. Conclusion	41

Chapitre III : Application de l'approche proposée à un système réel :

Entreprise COTITEX-Batna

Partie I : Etude de l'existant

I. Introduction.....	42
----------------------	----

II. Présentation du complexe TEXTILE	42
II.1. Description de la situation de COTITEX Batna	42
II.2. L'organigramme de l'entreprise	42
II.3. Les produits de COTITEX Batna	44
II.4. Description de processus	45
II.4.1. Atelier filature.....	45
II.4.2. Atelier tissage	46
II.4.3. Atelier finissage	47
III. Analyse de l'existant	48
III.1. Le taux de réalisation (TR)	49
III.2. Commentaire	51
III.2.1. Atelier filature	51
III.2.2. Atelier tissage	51
III.2.3. Atelier finissage	52
IV. Conclusion	52

Partie II : Application de l'approche Bayésien

I. Introduction.....	53
II. La modélisation bayésienne du système de production COTITEX.....	54
II.1. Etapes de HEMP	55
II.1.1. Identification des activités et des tâches de COTITEX.....	55
II.1.2. liste de risques liés à chaque activité	56
II.1.3. Evaluation de causes et conséquences des risques	56
II.2. Etape 1 : Identification des variables de modèle	59
II.3. Etape 2 : Définition de la structure graphique	60
II.4. Etape 3 : Définition des lois de probabilité	62
II.5. Inférence bayésienne	68
II.5. 1. Etablir l'état actuel du système de production de COTITEX.....	78

II.5. 2. Etablir l'état futur du système de production de COTITEX.....	81
II.5.3. Etablir un plan d'action pour le système de production de COTITEX .	82
III. Conclusion.....	84

Conclusion générale

Bibliographie

Annexe

Tables des figures

Figure 1. Les problèmes liés au système de production.....	1
Figure 2 : Les 3 éléments de la production	2
Figure 3 : Décomposition systémique	4
Figure 4 : Les différentes fonctions de l'entreprise et leurs liaisons avec la production.....	7
Figure 5. Exemple d'un réseau bayésien à deux variables.....	20
Figure 6. Indépendance conditionnelle (connexion divergente)	22
Figure 7. Boucle dans un réseau bayésien.....	22
Figure 8. Réseau Bayésien naïf	23
Figure 9. Réseau Bayésien Dynamique.....	24
Figure 10. Diagramme d'influence	25
Figure 11. Apprentissage et inférence dans les réseaux bayésiens	26
Figure 12. Étapes de construction d'un réseau bayésien.....	28
Figure 13 : Réseau Bayésien Mr. Holmes.....	31
Figure 14 : les étapes de la méthode HEMP	34
Figure. 15. Organigramme de l'entreprise COTITEX	43
Figure 16. Le processus de production COTITEXE Batna.....	45
Figure 17. Le processus de filature	46
Figure 18. Le processus de tissage	47
Figure 19. Le processus de finissage.....	48
Figure 20. L'évolution de la réalisation mensuelle "Filature" 2014 (KG).....	51
Figure 21. L'évolution de la réalisation mensuelle "Tissage" 2014 (ML).....	51
Figure 22. L'évolution de la réalisation mensuelle "Finissage" 2014 (ML).....	52
Figure 23. Apprentissage et inférence dans les réseaux Bayésiens.....	53
Figure 24. Analyse probabiliste par RB	54
Figure 25 : les étapes de la méthode HEMP	55
Figure 26. Structure graphique du modèle EG	61
Figure 37. Moralisation d'un graphe EG	70
Figure 38. Triangulation d'un graphe EG	71
Figure 39. Arbre de jonction	73
Figure 30. Illustration de l'algorithme d'inférence de Jensen.....	74
Figure 31. Tableau de probabilités conditionnelles, sur BayésiaLab.....	75

Figure 32. Réseaux Bayésien, avec BayésiaLab	76
Figure 33. Le plan de contrôle système de production de COTITEX par RB	77
Figure 34. Inférence avec BayésiaLab, pour l'état actuel du système de production de filature.	78
Figure 35. Inférence avec BayésiaLab, pour l'état actuel du système de production de tissage.	78
Figure 36. Inférence avec BayésiaLab, pour l'état actuel du système de production de finissage.....	79
Figure 37. Inférence avec BayésiaLab, pour l'état actuel du système de production textile	79
Figure 38. Force des arcs pour le système de production globale.....	80
Figure 39. Force des arcs pour la filature	80
Figure 40. Force des arcs pour le tissage	80
Figure 41. Probabilité de fonctionnement normal de système de production globale fixée à 75%.....	81
Figure 42. Probabilité de fonctionnement de système de production de tissage	82

Liste des tableaux :

Tableau 1. Système de production et fonction commerciale	7
Tableau 2. Tableau des probabilités à priori	32
Tableau 3. Tableau des probabilités conditionnelles pour J.....	32
Tableau 4. Tableau des probabilités conditionnelles pour	32
Tableau 5. Les activités, les tâches et les Capacité liés aux processus de l'entreprise .	36
Tableau 6. Famille des risques	37
Tableau 7. Evaluation des risques	37
Tableau 8. Algorithme de l'arbre de jonction (JT) pour l'inférence exacte.....	38
Tableau 9. Les différents types de produits au niveau de l'atelier filature	44
Tableau 10. Les différents types de produits au niveau de l'atelier tissage	44
Tableau 11. Les différents types de production au niveau de l'atelier finissage	45
Tableau 12. L'objectif et la réalisation "Filature" 2014 (KG)	49
Tableau 13. L'objectif et la réalisation "Tissage" 2014 (ML)	50
Tableau 14. L'objectif et la réalisation "Finissage" 2014 (ML).....	50
Tableau 15 : identification des activités et des tâches.....	55
Tableau 16. Listes de risques liés à chaque activité	56
Tableau 17. Evaluation des risques « Filature ».....	57
Tableau 18. Evaluation des risques « Tissage».....	57
Tableau 19. Evaluation des risques « Finissage »	58
Tableau 20. Variables sélectionnées pour le modèle filature.....	59
Tableau 21. Variables sélectionnées pour le modèle tissage	60
Tableau 22. Variables sélectionnées pour le modèle finissage	60
Tableau 23. Probabilités des variables d'entrée du nœud V_i de modèle filature	63
Tableau 24. Les probabilités conditionnelles du nœud R1	63
Tableau 25. les probabilités conditionnelles du nœud R2.....	64
Tableau 26. Table de probabilités conditionnelles du nœud E1.....	65
Tableau 27. Probabilités des variables d'entrée du nœud V_i de modèle tissage.....	65
Tableau 28. Table de probabilités conditionnelles du nœud R3	65
Tableau 29. Table de probabilités conditionnelles du nœud R4	66
Tableau 30. Table de probabilités conditionnelles du nœud E2.....	66
Tableau 31. Probabilités des variables d'entrée du nœud V_i de modèle finissage .	67
Tableau 32. Table de probabilités conditionnelles du nœud R5	67

Tableau 33. Table de probabilités conditionnelles du nœud R6	67
Tableau 34. Table de probabilités conditionnelles du nœud E3.....	68
Tableau 35. Table de probabilités conditionnelles du nœud EG.....	68
Tableau 32. Algorithme de l'arbre de jonction (JT) pour l'inférence	72
Tableau 32. Les nœuds contenus dans chaque clique	75
Tableau 34. Plan d'action pour le système de production de COTITEX.....	83

Introduction générale

Introduction générale :

En raison de l'ouverture des marchés le monde a connu de nombreuses mutations dues à un environnement plus concurrentiel, imposant ainsi à toute entreprise de se battre sur trois fronts en même temps : Coût, Délai et qualité. Cette situation a créée la nécessité pour toute entreprise de se doter l'entreprise d'un système de production plus flexible permettant de répondre à une demande de plus en plus fluctuante rythmée par l'apparition de produits nouveaux à des fréquences de plus en plus élevées. Cette phase a vu naître la notion de productique véritable levier qui concourt à l'amélioration de la productivité de l'entreprise.

Accroître la productivité en réduisant les coûts est, aujourd'hui, un objectif majeur dans toutes les entreprises, les systèmes de production sont caractérisés par leur dynamique et leur imprévision, les tâches souvent de caractère complexe et sont soumises à des contraintes de temps et d'exigence. Alors, le système de production se donne de nouveaux objectifs à atteindre.

À partir de l'ensemble des points décrits ci-dessus, la solution à développer devra être en mesure de répondre aux interrogations suivantes :

- Comment estimer l'état de fonctionnement d'un système de production ?
- Comment maîtriser les risques de mal fabriquer un produit et donc la baisse des rendements?

De manière à répondre à ces questions et de contribuer aussi à l'amélioration des performances de l'entreprise (limiter les coûts humains, matériels et financiers), il est généralement préconisé de développer des modèles à partir des données historiques et des connaissances expertes. De telles solutions doivent permettre d'appréhender, de manière prédictive, le comportement de système de production et d'améliorer ainsi leur efficacité.

L'objectif de notre travail est d'améliorer la rentabilité de fabrication du système de production et la maîtrise des risques au sein d'une entreprise de production sur la base d'une approche bayésienne.

Dans ce contexte, le mémoire comporte trois chapitres et organisé de la façon suivante :

Le premier chapitre regroupe une description générales des systèmes de production ; et l'importance de la modélisation d'un système de production dans l'entreprise.

Le second chapitre présente les outils utilisés dans le cadre de ce mémoire à savoir les réseaux bayésiens comme outil de modélisation du système de production et la méthode HEMP permettant de construire le modèle bayésien.

Le troisième chapitre est la validation de l'approche utilisée sur un système réel : l'entreprise COTITEX Batna. Ce chapitre est divisé en deux parties, la première partie contient une étude de l'existant de l'entreprise COTITEX Batna, la deuxième partie une description de l'application de l'approche bayésienne au sein de notre entreprise cible.

Nous terminons notre travail par une conclusion et des perspectives.

Chapitre I

*Notions sur la modélisation des
systèmes de production*

I. Introduction :

A tout système de production sont associés plusieurs problèmes représentés par la figure 1. Pour évaluer la performance d'un système de production il est important de connaître sa structure, sa composition, ses différentes fonctions, sa nature, ses conditions d'exploitation et son environnement.

Dans ce chapitre nous présentons des notions sur les systèmes de production, la modélisation d'un système de production dans l'industrie et les différents outils de modélisation dont l'objectif consiste à acquérir les connaissances de bases propre à la disposition technique et méthodologie permettant d'améliorer la maîtrise des risques dans le domaine industriel.

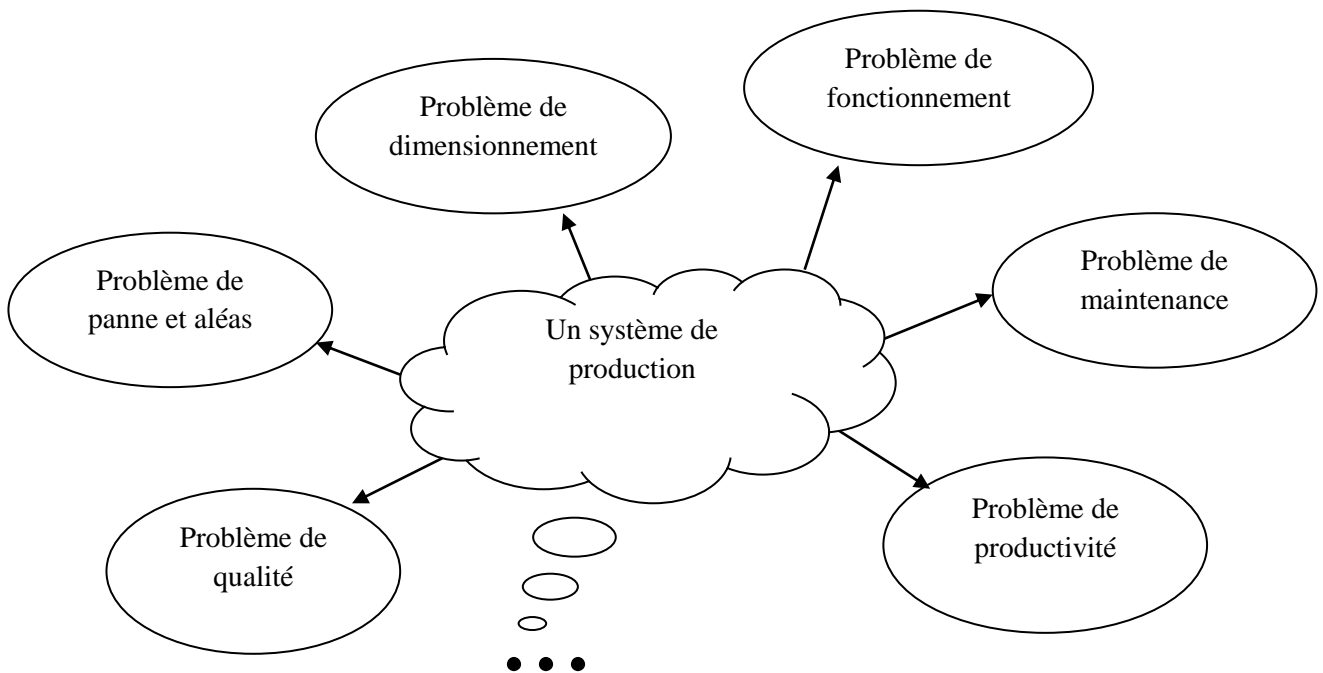


Figure 1. Les problèmes liés au système de production.

II. Le système de production dans l'entreprise :

L'objectif d'un système de production est de fournir aux clients des produits de bonne qualité, à un prix compétitif et en respectant les délais. L'entreprise doit chercher en permanence à améliorer ses produits et ses délais de livraison, elle doit en outre diminuer constamment le coût de production. [1]

II.1. Contexte général :

La production industrielle comporte trois éléments en interaction (Figure 2) :

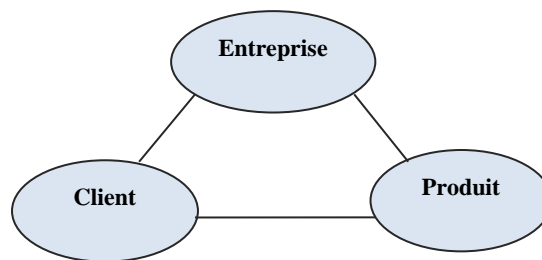


Figure 2 : Les trois éléments de la production.

Le client éprouve un besoin immédiat ou différé pour un produit réalisé par l'entreprise.

II.1.1. Définitions de base :

- ❖ **Entreprise** : l'entreprise est un "système dirigé et organisé en services dont la finalité est de générer de la valeur ajoutée"
- ❖ **Valeur ajoutée**: C'est la différence entre la valeur de la production et les consommations de biens et de services fournis par des tiers pour réaliser cette production. Elle peut s'exprimer par l'opération suivante :
$$\text{Valeur ajoutée} = \text{Ventes} - \text{Achats}$$

Les Ventes sont relatif aux produits et pièces détachées et les achats aux machines, matière première et salaires.
- ❖ **Client** : Personne ou entité pour qui le produit a été conçu.
- ❖ **Produit** : Est "ce qui est (ou sera) fourni à un client pour répondre à son besoin". Cette définition correspond donc au produit final commercialisé par l'entreprise. [1]
- ❖ **Production** : est une opération de transformation qui convertit des matières premières et/ou des composants que l'on peut qualifier de "bruts" (au sens le plus général) en produits finis plus élaborés et de valeur économique plus élevée. [1]

❖ **Les risques liés à l'activité de l'entreprise :**

« Les risques d'entreprise sont tous les évènements pouvant survenir et qui sont de nature à réduire sa rentabilité, voire à remettre en question son existence. Il peut s'agir de menaces qui se réalisent, d'erreurs de gestion ou de prévisions ou encore de la survenance d'aléas défavorables » [9]

II.2. Notion du système de production :

De la même manière, nous donnons quelques définitions du «système de production » citées dans la littérature :

- ❖ **Un système de production :** pour [1] est un ensemble de ressources qui permettent cette transformation. Dans cet ensemble, on distingue essentiellement quatre types de ressources: des équipements (machines, outils, moyens de transport, moyens informatiques, ...), des moyens humains qui permettent le bon déroulement du processus de transformation, des produits à différentes étapes de fabrication (matières premières, produits semi-finis, produits finis, ...), des entrepôts de matières ou des aires de stockage.

En ce qui concerne les équipements de production, on distingue trois sous-types: les machines de production, permettant d'effectuer des opérations de transformation, les machines de manutention, permettant de transporter des pièces dans l'atelier (robots, chariots mobiles, tapis roulant, transstockeurs, ...), et les machines de contrôle de qualité. Les deux dernières peuvent être considérées comme des machines de production spéciales ou fictives.

- ❖ **Un système de production :** pour [2] La diversité des éléments qui composent ces trois groupes et la multiplicité des relations et interactions qui existent entre ces éléments créent un univers d'une grande complexité. Le bon fonctionnement de l'entreprise dépend donc de la capacité des décideurs à parvenir à faire agir tous ces éléments de manière efficace et cohérente avec leurs objectifs.

II.3. Les composantes d'un système de production :

D'un point de vue systémique, il est classique de décomposer le système «entreprise » en trois systèmes qui coopèrent (figure 3-a) :

- le **système physique de fabrication** représentant le système opérant,
- le **système d'information** permettant l'acquisition, le traitement et la gestion des données du système et de son environnement,
- le **système de décision** qui pilote, identifie, analyse et corrige les dérives en proposant des actions correctives ou préventives au système physique. [4]

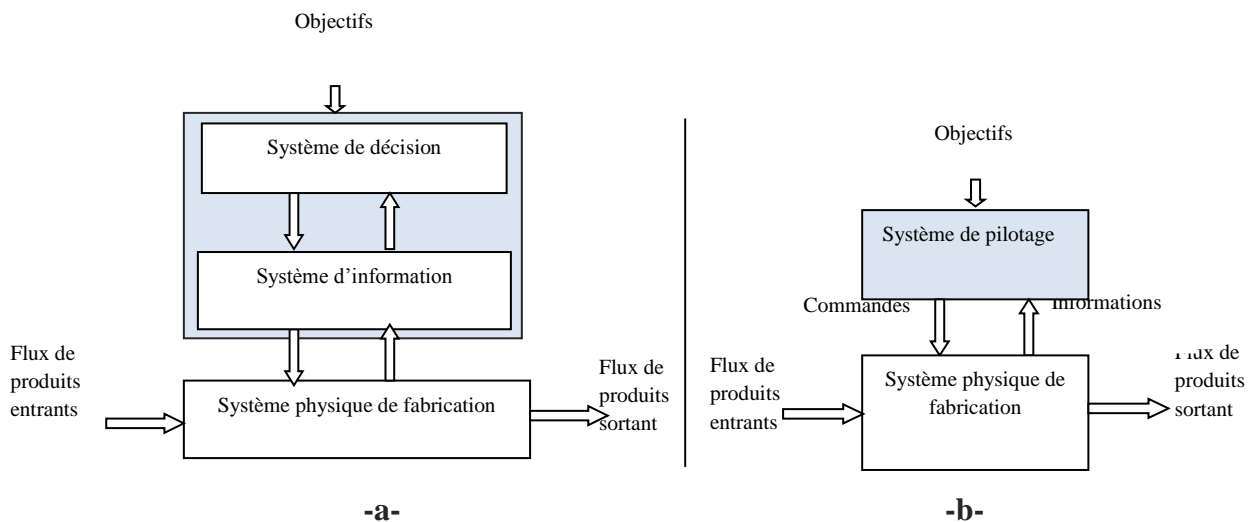


Figure 3 : Décomposition systémique : (a) système entreprise, (b) système de production.

Afin d'atteindre les objectifs et les performances planifiés pour une production, le système de décision contrôle le système physique de fabrication. Il coordonne et organise les activités en prenant des décisions basées sur les données transmises par le système d'informations. Ce dernier joue le rôle d'une passerelle entre le système physique et le système de décision.

Autrement dit, le rôle du système d'informations est de collecter, stocker, traiter et transmettre les informations du système nécessaires à son évaluation et à son pilotage par le système de décision. Si cette décomposition est valable pour le système « entreprise » et permet son analyse, elle est toutefois moins adaptée pour le système de production et sa modélisation.

Dans un système de production, les sous-systèmes d'informations et de décision n'ont pas d'existence propre indépendamment l'un de l'autre. Ils constituent ensemble ce que nous appelons le système de pilotage. Ainsi, il est plus conforme à la réalité de considérer le

système de production comme l'association d'un système physique de fabrication et d'un système de pilotage (figure 3.b). [5]

II.3.1. Le système de fabrication :

Le système de fabrication est composé de ressources et d'entités. Les ressources comprennent les machines, les stocks, les opérateurs, les moyens de transfert... et les entités comprennent les produits, les matières premières, les pièces, les lots...

L'analyse des composantes d'un système de fabrication montre que les ressources présentent simultanément un aspect « *machine* » et un aspect « *stock* ». En effet, une machine peut présenter un aspect « *stock* » dans des conditions de blocage. Les stocks et les moyens de transfert présentent un aspect « *machine* » si le temps de transit n'est pas nul. Selon ce point de vue, un système de fabrication est un ensemble de ressources qui effectuent des opérations de transformation sur les entités.

Les ressources peuvent être identifiées par deux types :

- les **ressources principales** (machines, robots, moyens de transfert, stocks,...) qui sont *actives* et qui ont une certaine autonomie vis-à-vis du reste du système. Elles peuvent évoluer dans certaines limites, indépendamment du reste du système ;
- les **ressources auxiliaires** (outils, palettes,...) qui sont *passives* et qui permettent à des ressources principales d'accomplir une opération.

Dans certains cas, les opérateurs humains peuvent être considérés comme ressources principales (opération de contrôle, de pesage, d'emballage,...) et dans d'autres cas comme ressources auxiliaires (réglage d'une machine). [4]

II.3.2. Le système de pilotage :

Il est le siège de l'activité décisionnelle et de contrôle. Son rôle consiste à :

- fixer les objectifs ;
- contrôler l'activité du système de fabrication (connaître le niveau de stock) ;
- faire évoluer l'organisation (délocaliser ? Faire appel à la sous-traitance). [6]

Le **pilotage** a pour but d'assurer la cohérence des décisions entre des ordres issus de la gestion prévisionnelle et les actions exécutées au niveau Système de Production (SdP).

Le système de pilotage peut être composé :

- de points de captage (les capteurs) pour la récupération de l'information,
- d'un *processus de décision* pour l'analyse, le traitement de l'information, l'évaluation et la génération de décisions,
- de *points d'actions* qui constituent les points de passage des ordres ou des actions vers le système de fabrication.

La réactivité du SdP dépend en premier lieu de la capacité de réaction de son système de pilotage. Cette capacité dépend de la qualité et de la quantité des points de captage et des points d'action, d'une part, et de l'efficacité du processus de décision, d'autre part. [4]

II.4. Caractéristiques des systèmes de production :

Le système de production peuvent être caractérisé par :

- un grand nombre de processus (fabrication, transport, stockage...)
- une forte interaction entre éléments (employés, ressources, stocks...)
- un manque d'information pour la gestion (marché, fournisseurs, concurrence...)
- des phénomènes aléatoires (pannes, arrivée des approvisionnements...)
- une nature incertaine des décisions à prendre (pas de règle unique et claire)
- une grande variété et hétérogénéité des critères d'appréciation [7]

II.5. Caractéristiques de la performance d'un système de production :

Dans l'environnement concurrentiel et fluctuant de l'entreprise, quelques critères permettent de caractériser la performance d'un système de production. Ils sont :

- La **productivité**, à savoir la quantité de produits par unité de temps, par ressource utilisée ;
- La **flexibilité**, qui caractérise la capacité du système de production à changer de configuration en fonction de la demande ;
- La **qualité**, qui mesure l'aptitude du produit à satisfaire les besoins du client. [2]

II.6. La fonction de production dans l'entreprise :

Une entreprise peut être décomposée en un ensemble de fonctions formant un réseau, dont les éléments de liaison sont des flux de matières, d'informations, de décisions et de finances.

Suivant la taille et les principes de gestion de l'entreprise, ce découpage en fonctions et en services peut être différent. Mais dans tous les cas, comme l'indique la Figure 4, les relations entre ces différentes fonctions entraînent une forte connexion de la fonction production avec les autres fonctions de l'entreprise, ainsi qu'avec son environnement. [2]

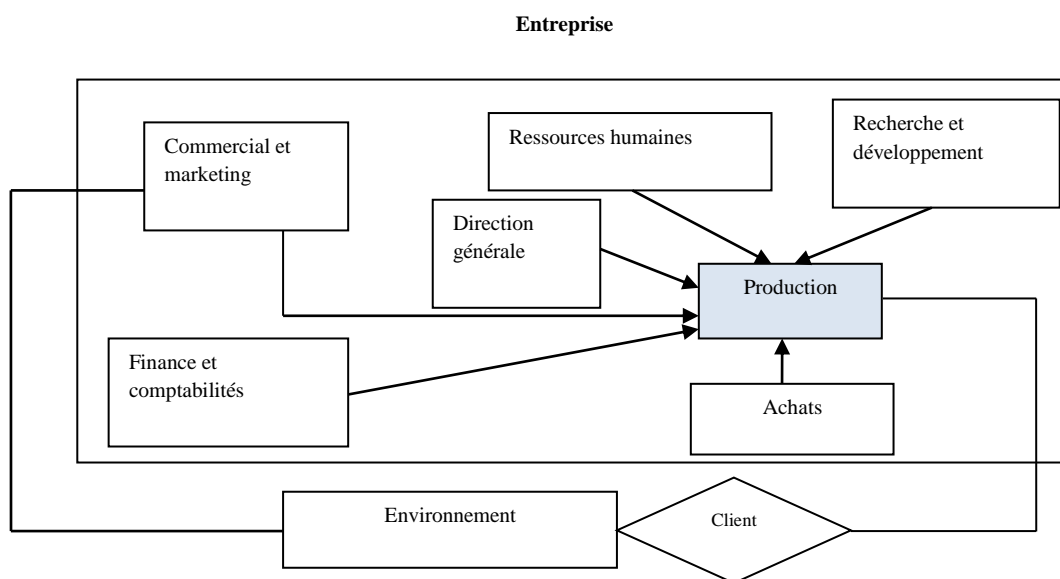


Figure 4 : Les différentes fonctions de l'entreprise et leurs liaisons avec la production

De plus, les objectifs des services avec lesquels la fonction production est en relation, sont en général contradictoires avec les siens. On peut, par exemple, noter que les besoins de la fonction production d'une entreprise, en terme du classique triptyque coût, qualité, délai, sont contradictoires avec ceux de la fonction commerciale (et donc de ceux du client) (Tableau 1). [2]

	Fonction production	Fonction commerciale
Temps	Posséder un système de production le plus stable possible.	Délai de réaction le plus court possible
Qualité	Il est plus difficile de produire un produit de qualité	Il est plus facile de vendre un produit de qualité
Coûts	Les contraintes de couts sont difficiles à tenir en production	Un produit est plus facile à vendre s'il est bien positionne sur son marche

Tableau 1: Système de production et fonction commerciale. [2]

Le fait que ces deux fonctions aient des objectifs opposé rajoute une difficulté supplémentaire à la compréhension du système de production. En effet, afin d'avoir un système de production performant, il est nécessaire que ces deux fonctions essaient de collaborer, afin d'aller vers un compromis permettant de satisfaire au mieux les objectifs de chacun et donc de travailler dans « le même sens », plutôt que de s'opposer. [2]

II.7. La maîtrise des systèmes de production :

La maîtrise du SdP est une tâche ardue et difficilement réalisable pour des raisons de natures différentes (technologique, organisationnelle, décisionnelle, dynamique...). De ce fait, la maîtrise du système est conditionnée par plusieurs paramètres et dépend généralement de différents aspects :

- les paramètres qui conditionnent un SdP sont très nombreux. Il y a des paramètres physiques liés aux ressources et produits, des paramètres organisationnels, des paramètres décisionnels, des paramètres de gestion... ;
- la dynamique du SdP n'est ni linéaire ni permanente. Le système est soumis continuellement à des risques et des incertitudes qui surviennent de tout bord (clients, prévisions, pannes, absentéisme, délais, qualité...)
- le SdP est un système de type distribué où des tâches multiples sont réalisées simultanément, des opérations de synchronisation ;

- les objectifs des différentes fonctions du système sont souvent antagonistes. La satisfaction d'objectifs élémentaires ne s'inscrit pas nécessairement dans la satisfaction d'objectifs globaux.

Tout ceci rend le SdP difficilement appréhensible, dont la tâche de maîtrise est complexe, nécessitant des méthodes et d'outils hautement sophistiqués. Dans ce sens, pour maîtriser les flux de production, des approches et des techniques ; de modélisation, de pilotage, d'aide à la décision, de planification, d'évaluation des performances... sont développées et mises en place. [4]

III. Modélisation des systèmes de production :

L'étude d'un SdP en vue de l'évaluation de ses performances conduit à la notion de modèle et de processus de modélisation.

III.1. Modélisation d'un système de production :

D'une manière générale, la modélisation d'un système de production est un problème complexe. Disposer d'un « bon » modèle pour un système donné apporte une aide indispensable aux concepteurs (systèmes en cours de conception) ainsi qu'aux utilisateurs finaux (systèmes en exploitation). Ce modèle va leur permettre, selon l'objectif visé, de faire de la simulation, de l'évaluation des performances, d'optimiser le fonctionnement et de tester différentes politiques et architectures de pilotage.

Si théoriquement il est toujours possible de trouver un modèle capable de représenter la dynamique d'un système de production, en pratique cette représentation est souvent une tâche très difficile. En effet, la majorité des méthodes existantes sont restreintes à des classes particulières de systèmes. De plus, nombreuses sont les méthodes décrites dans la littérature qui, quoique bien formalisées mathématiquement, restent très difficiles à implanter pratiquement. Dans ce cadre, afin de faciliter l'étude des systèmes de production, de nombreuses hypothèses concernant la structure du système, sa dynamique et son environnement (les aléas pouvant survenir) sont souvent posées.

D'un point de vue pratique, il est important d'insister sur le fait qu'un modèle ne peut pas représenter de façon exacte le comportement d'un système réel. En effet, bien qu'il s'adapte à un aspect particulier du système, le modèle ne peut pas le représenter dans sa

globalité. De ce fait, le choix de l'outil de modélisation ou de représentation doit dépendre des propriétés du système qu'on désire exhiber dans le modèle. [5]

III.1.1. Définitions :

III.1.1.1. La modélisation :

La modélisation est l'action d'élaboration et de construction intentionnelle, par composition de symbole, de modèles susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu complexe, et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intervention délibérée au sein du phénomène ; raisonnement visant notamment à anticiper les conséquences de ces projets d'actions possibles, [10].

III.1.1.2. Un modèle : Il existe une multitude de définitions du terme 'modèle'. Par modèles, on peut entendre :

- ❖ **Un modèle** constitue une représentation simplifiée d'un système, élaborée en vue d'un certain objectif : prévision, compréhension, manipulation, etc. [11]
- ❖ **Un modèle** est une représentation utile d'un certain sujet. C'est l'abstraction (plus au moins formelle) d'une réalité (ou univers du discours) exprimée à l'aide de formalisme (ou langage) défini par des concepts de modélisation selon les besoins de l'utilisateur.

Il s'agit de décrire l'organisation et les processus opérationnels d'une entreprise soit dans le but de simuler ces processus pour comparer divers scénarii, soit dans le but de les analyser et de les restructurer pour améliorer les performances de l'entreprise, [10].

- ❖ **Modèle :** Un modèle est une image simplifiée de la réalité qui nous sert à comprendre le fonctionnement d'un système en fonction d'une question. Tout modèle est constitué d'une part de la description de la structure du système, qui incorpore les spécifications sémantiques intégrées (nomenclature et règles d'affectation du sens pour une source, étendue et profondeur du consensus social donnant du sens dans le cas d'une représentation à dire d'acteurs) et d'autre part de la description des fonctionnements réguliers (ou non) et des dynamiques qui modifient cette structure au cours du temps. Ainsi, un modèle :

- Doit avoir un caractère de ressemblance avec le système réel,
- Doit aider à la compréhension du système réel. [3]

Généralement on peut dire que ces définitions mettent l'accent sur le fait que le modèle doit permettre l'apprentissage du système modélisé. En effet, la construction d'un modèle est un

processus d'apprentissage qui va nous permettre d'identifier les limites de notre connaissance sur le système. [12]

III.2. Choix de modélisation :

En vue d'une modélisation, tout système doit être appréhendé selon une vue externe et une vue interne. La vue externe décrit l'environnement du système ainsi que la finalité (les fonctions) du système dans cet environnement (ce pour quoi il a été conçu). La vue interne décrit tous les constituants du système et leurs interactions.

Nous retiendrons que pour modéliser un système, il est nécessaire de définir:

- Les limites du système avec son environnement, c'est-à-dire l'identification des éléments n'appartenant pas au système. Le choix de la frontière du système, qui permet de le distinguer de son environnement, dépend du point de vue de l'observateur. Celui-ci la choisit en fonction de son besoin de modéliser la réalité;
- Les finalités du système dans son environnement, qui « expriment sa raison d'être en termes économiques, éthiques et sociologiques. Elles reflètent l'idée qu'un groupe humain se fait des missions d'un système, en ce sens qu'elles ne sont pas directement opératoires »; [8]
- Les interactions du système avec son environnement, à savoir le type de relations et les influences de ces relations sur le système ;
- La vue interne fonctionnelle du système qui présente les processus mis en œuvre au sein du système ;
- La vue interne organique du système qui décrit les éléments composant le système, et les relations entre ces composants ;
- La dynamique d'évolution du système, en rapport avec l'évolution de l'environnement. [8]

III.2.1. Modélisation externe des systèmes de production :

La vue externe met en évidence, pour un système donné, son rôle et ses interactions vis-à-vis de son environnement. Il s'agit des buts « de mission », qui caractérisent les sorties du système, attendues par son environnement.

Les paramètres composant l'environnement d'une entreprise sont nombreux. Tous sont variables au cours du temps et influent sur le fonctionnement de l'entreprise, avec un impact plus ou moins important. Parmi ces facteurs on peut citer :

- Les facteurs financiers et économiques (inflation, croissance économique, ...), qui ont une incidence sur la politique de l'entreprise ;
- Les facteurs de marché, qui caractérisent l'environnement commercial de l'entreprise : ses fournisseurs, ses clients, ses sous-traitants, mais aussi ses concurrents. En amont, il s'agit du poids commercial des fournisseurs et plus généralement de l'évolution du prix des matières premières. En aval, il s'agit du marché des clients de l'entreprise, qui caractérise la demande.
- Les facteurs technologiques, qui permettent aux entreprises d'espérer des avantages concurrentiels (irruption de nouveaux matériaux, intégration de nouveaux procédés, ...)
- Les facteurs juridiques, institutionnels et normatifs, qui déterminent les règles et normes à respecter par tout acteur industriel ;
- Les facteurs géographiques, qui peuvent avoir une influence sur la stratégie logistique des entreprises (infrastructures de transport) ;
- Les facteurs socioculturels et démographiques, qui conditionnent le marché de l'emploi ;
- etc.

Notons que la vue externe du système de production fait totale abstraction de la constitution de celui-ci, pour n'en retenir que ses rapports avec l'environnement. Il s'agit donc d'une représentation purement fonctionnelle du rôle d'acteur industriel de l'entreprise. [8]

III.2.2. Modélisation interne des systèmes de production :

III.2.2.1. Modélisation fonctionnelle :

La vue fonctionnelle d'un système décrit les fonctions internes permettant à celui-ci d'exercer les fonctions externes mentionnées au paragraphe précédent, sans présomption de l'organisation elle-même. [8]

III.2.2.2. Modélisation organique :

La modélisation organique d'un système décrit l'organisation des ressources rendant le système opérant. Il s'agit donc de rendre compte de la manière dont les fonctionnalités du système sont réalisées. En conséquence, la modélisation organique d'un système décrit une réalisation. Elle procure une description des ressources utilisées (ateliers, machines, stocks), et de la dynamique des flux matériels et informationnels entre ces ressources. [8]

III.3. Buts de la modélisation :

L'objectif de la modélisation, dans son sens le plus général, permet :

- Une meilleure compréhension du système ;
- Une mesure de performance du système ;
- Un dimensionnement/optimisation de systèmes de production (avant/après réalisation) ;
- Une identification des facteurs critiques ;
- Une réponse aux questions « Que se passe-t-il...si ...? »
- Un outil d'aide à la décision en « temps réel » (durant exploitation)
- Un outil de formation du personnel (simulateurs de vol, simulateurs de choix...) [7]

IV. Outils pour la modélisation des systèmes de production :

Dans ce qui suit, nous présentons quelques outils de modélisation mathématique et informatique, souvent citée dans les travaux de modélisation:

IV.1. Outils de modélisation mathématique :

Les fondements des méthodes analytiques sont à la base d'outils assez pratiques, fréquemment utilisés dans l'évaluation des performances des SdPs. Ces méthodes exigent qu'un modèle mathématique soit d'abord trouvé pour représenter le système étudié et que l'on dispose des outils mathématiques qui permettent d'étudier ce modèle. Une démarche analytique se décompose en trois étapes :

- recherche d'une approche analytique adéquate (modèle mathématique qui s'adapte au cas étudié),
- développement du modèle (émission des hypothèses adaptatives du système réel à la théorie adoptée et déduction du modèle),

- implémentation, utilisation et exploitation du modèle. [4]

Les techniques permettant d'étudier de manière analytique un SdP sont nombreuses on peut citer :

- **les chaînes de Markov** sont utilisées dans la modélisation des systèmes stochastiques et dans lesquelles on définit l'état d'un système par un comportement entièrement probabiliste, [4]
- **Les réseaux de Petri** : Les réseaux de Petri, sont une des nombreuses représentations mathématiques d'un système. Un réseau de Pétri décrit graphiquement la structure d'un système distribué comme un graphe direct biparti avec annotations [3].
- **Les réseaux files d'attente** : la théorie des files d'attente consiste à représenter le système sous forme d'un réseau de serveurs, de zones d'attente et de clients [4].

La théorie des files d'attente fut développée pour fournir des modèles permettant de prévoir le comportement de systèmes répondant à des demandes aléatoires. La théorie des files d'attente a de nombreuses applications dans:

- La gestion de trafic (réseaux de communication, compagnies aériennes, embouteillages, ...).
 - La planification (opérations sur des machines de production, programmes sur des ordinateurs, ...).
 - Le dimensionnement d'infrastructures (usines, ...). [13]
- **Les réseaux Bayésien** : Les réseaux bayésiens [14], sont des modèles graphiques interprétés à partir de systèmes experts probabilistes pour représenter des relations qualitatives et quantitatives entre plusieurs variables au travers de dépendances et de probabilités conditionnelles. Ils sont encore peu connus et utilisés en fiabilité mais tendent à émerger pour répondre à des problématiques d'optimisation des politiques de maintenance.

IV.2. Outils de modélisation informatique :

- **Le modèle entité / association** : Le modèle Entité/Association a été proposé par *Chen*, en 1976 pour la modélisation des données et des liens existant entre elles, avec des concepts simples et efficaces. C'est une représentation naturelle du monde réel du système à étudier. Il est bâti autour de trois concepts : Entité, Association et Propriétés et permet une description graphique.

- **Le modèle relationnel** : Ce modèle permet une description tabulaire de données, c'est-à-dire, les données sont structurées en tables (relations). De plus, l'algèbre relationnelle permet la manipulation de ces données en s'appuyant sur la théorie des ensembles. Le succès du modèle relationnel auprès des chercheurs, concepteurs et utilisateurs est dû à la puissance et à la simplicité de ses concepts donc facile à comprendre par les utilisateurs. La méthode d'analyse MERISE s'appuie sur la combinaison des concepts entité/association et modèle relationnel.
- **Le modèle orienté objet** : Le modèle orienté objet considère le système comme une collection d'objets dissociés, identifiés et possédant des caractéristiques. Une caractéristique est soit un attribut (une donnée caractérisant l'état de l'objet ou attribut), soit une entité comportementale de l'objet (une fonction ou méthode). La fonctionnalité du système émerge alors de l'interaction entre les différents objets qui le constituent. L'une des particularités de cette approche est qu'elle rapproche les données et leurs traitements associés au sein d'un unique objet. La méthode UML qui se veut actuellement un standard dans les méthodologies orientées objet tire toute sa puissance de ce concept.
- **Le modèle orienté agents** : Depuis quelques années, les besoins en terme de méthodes de représentation, de conception et de logiciels ont évolué. La tendance est à la puissance dans la représentation et dans les traitements pour faire face aux grandes masses d'informations, la plupart du temps hétérogènes et distribuées. Ceci nécessite des outils puissants qui s'adaptent aux différentes situations sans toujours nécessiter une intervention externe (du programmeur). Il faut des moyens avec une certaine '*intelligence*', capable de '*raisonner*', de '*prendre de l'initiative*' et qui soient '*apte d'interagir*' dans des '*environnements*'. Un nouveau paradigme de programmation émerge pour pallier les manques des approches traditionnelles : la programmation orientée agent. L'approche orientée agents offre une façon beaucoup plus naturelle de concevoir les systèmes. Elle s'intéresse à la manière de diviser un problème en un ensemble d'entités distribuées et coopérants et à la manière de partager la connaissance du problème afin d'en obtenir la solution. Ce domaine est apparu initialement pour résoudre les problèmes d'intelligence distribuée. [3]

V. Conclusion :

A partir de cette présentation on peut conclure que la modélisation des systèmes de production est difficile en raison du nombre et de la diversité des paramètres à prendre en compte et de la complexité des relations entre ces paramètres, et pour la phase d'analyse et d'évaluation d'un système de production utilisent habituellement des indicateurs de performance capables d'évaluer la pertinence du modèle utilisé par rapport au système de production.

Dans ce chapitre, nous avons donné une brève présentation sur la modélisation des systèmes de production : définition, l'objectif et les différents outils de modélisation dont l'objectif consiste à acquérir les connaissances de bases propres à la dispositions technique et méthodologie permettant d'améliorer la maitrise des risques dans le domaine industriel

Parmi les défèrent outils de modélisation nous avons utilisé une approche probabiliste par réseaux bayésiens fait l'objet de chapitre suivant.

Chapitre II

Les réseaux bayésiens

I. Introduction :

Dans le chapitre précédent, nous avons présenté une notion générale sur des systèmes de production. Nous avons également présenté quelques outils de modélisation mathématique et informatique, souvent citée dans les travaux de modélisation. Dans ce cas nous avons choisi les réseaux bayésiens, possèdent un fort potentiel puisqu'ils sont capables de combiner l'aspect statistique, probabiliste, avec des aspects décisionnels, et des aspects de gestion de connaissances.

Ce chapitre est une synthèse sur les réseaux bayésiens : il présente les principales définitions et les principaux théorèmes formant la base de ce domaine. Et en plus la représentation de la méthode HEMP permettant de construire le modèle Bayésien.

II. Etat de l'art :

La recherche bibliographique entreprise pour dresser l'état de l'art a mis en évidence un nombre important de publications scientifiques, proposant des approches à base de réseaux bayésiens pour l'analyse des risques, la sûreté de fonctionnement des systèmes, le diagnostic ou la maintenance.

P WEBER, M SUHNER [16] se sont intéressés à l'utilisation des Réseaux Bayésiens Orientés Objet (RBOO) pour la modélisation de processus industriels, Cette communication propose une méthode de construction d'un modèle d'aide à la décision à partir des analyses SADT et AMDEC afin d'aider l'utilisateur à décrire le modèle, à remplir les TPC et à exploiter les résultats, dont le but est l'évaluation de la performance globale d'un processus manufacturier dès sa mise en œuvre et au cours de son exploitation.

T AGGAB [15], il s'agit de l'évaluation prévisionnelle de la sûreté de fonctionnement d'un système industriel utilisé dans un contexte de maintenance dynamique.

M HOUHOU [17], a utilisé les réseaux Bayésien pour modéliser un système mécanique. Il s'appuie sur un arbre de défaillance facile à construire pour exploiter la masse de données existantes. Ce qui permet d'évaluer à partir de la connaissance d'un état présent un état avenir.

L BOUCHAALA et S JARBOUI [18]: Application des Réseaux Bayésiens à la Modélisation et la Planification des Réseaux ; Le travail présente un outil de planification des réseaux de communications longues distances basé sur les performances des réseaux bayésiens.

G MEDINA-OLIVA, P WEBER et B IUNG [19] se sont intéressés à l'utilisation à la modélisation, à base de Réseaux Bayésiens, d'un système de maintenance industriel et de son environnement pour l'évaluation de ses stratégies de maintenance.

A PASANISI et E PARENT [20] se sont intéressés à la Modélisation bayésienne du vieillissement des compteurs d'eau par mélange de classes d'appareils de différents états de dégradation.

Dans le domaine du diagnostic, on retrouve beaucoup d'étude avec de approches par réseaux Bayésiens. Ainsi S VERRON [21], dans sa thèse a étudié les différentes méthodologies proposées dans la littérature dans le contexte du diagnostic, ce qui lui a permis

de faire un classement selon trois catégories, à savoir : défauts de capteurs, exploitation des données de fautes, exploitation des données de fonctionnement normal. C'est l'intégration de la possibilité d'avoir plusieurs modalités par les réseaux Bayésiens.

L'utilisation des réseaux bayésiens dans une approche statiques et dynamiques dans le domaine de la localisation des défaillances (diagnostic) et de l'anticipation ou de la prédiction des éventuelles dégradations pouvant affecter un système dynamique K MEDJAHHER, A MECHRAOUI et N ZERHONI [22].

M.-F BOUAZIZ, E ZAMAÏ et S HUBAC [23] leurs contribution réside dans la proposition d'une méthodologie progressive permettant de développer un modèle de prédiction de l'état de santé d'un équipement de fabrication dans des contextes complexes et incertains, basée sur une approche probabiliste par réseaux Bayésiens.

A BOUCHIBA [24] propose une approche bayésienne pour l'évaluation de dysfonctionnement des systèmes complexes « cas du système ferroviaire ».

III. Les réseaux bayésiens :

III.1. Généralités :

Les approches fondées sur le conditionnement et la formule d'inversion de Bayes sont appelées approches bayésiennes. Le nom de Réseaux Bayésiens est donné par cohérence avec cette appellation. D'autres noms existent également pour ces modèles : *les réseaux de croyance* (belief networks), *les modèles graphiques probabilistes orientés* (probabilistic oriented graphical models), *les réseaux probabilistes* (probabilistic networks), ou encore *les réseaux d'indépendances probabilistes* [24].

Ce réseau a été initié tout d'abord dans le domaine de l'intelligence artificielle, puis élargi dans les autres domaines scientifiques, en particulier dans le domaine de sûreté de fonctionnement pour la gestion des événements incertains, la détection et le diagnostic des défaillances des systèmes de procédés, etc.

Les recherches et développements apportés aux Réseaux Bayésiens au cours de ces dernières années, portent principalement sur trois points essentiels : les algorithmes

d'inférence, l'apprentissage de la structure du réseau et l'apprentissage des paramètres du réseau [24].

En dehors de toute considération théorique, les aspects suivants des réseaux Bayésiens les rendent, dans de nombreux cas préférables :

a) Acquisition des connaissances :

Possibilité de rassembler et de fusionner des connaissances de diverses natures dans un même modèle : Retour d'expérience (données historiques ou empirique), expertise (règles logiques de statistiques ou de probabilités), ou tout simplement d'observations.

b) Représentation des connaissances :

La représentation graphique d'un réseau Bayésien est explicite, intuitive et compréhensible par un non spécialiste.

c) Utilisation des connaissances :

Un réseau est polyvalent, on peut se servir du même modèle pour évaluer, prévoir, diagnostiquer ou optimiser des décisions.

d) Diversité de l'offre en matière de logiciels :

Aujourd'hui il existe de nombreux logiciels sur le marché pour traiter les réseaux Bayésiens. Ces logiciels présentent différentes fonctionnalités :

- Apprentissage des probabilités.
- Apprentissage de la structure ;
- Possibilité d'intégrer des variables continus.

[14]

III.2. Définition du Réseau Bayésien (RB) :

Un réseau bayésien est un outil complet permettant la visualisation de variables et de leurs dépendances (ou indépendances). Il permet également de décrire quantitativement le fonctionnement d'un système grâce aux différents calculs de probabilités concernant les variables du système. Généralement, on modélise les variables aléatoires comme étant des nœuds. On peut alors dresser un arc entre certaines variables du système. Les arcs tracés peuvent rendre compte d'un phénomène de causalité entre les variables reliées (réseaux causaux).

Le fait d'indiquer un arc entre deux variables implique une dépendance directe entre ces deux variables : l'une est le parent, et l'autre l'enfant. Il faut fournir le comportement de la variable enfant au vu du comportement de son ou ses (s'il y en a plusieurs) parents.

Pour cela, chaque nœud du réseau possède une table de probabilités conditionnelles. Une table de probabilités conditionnelles associée à un nœud permet de quantifier l'effet du ou des nœuds parents sur ce nœud : elle décrit les probabilités associées aux nœuds enfants suivant les différentes valeurs des nœuds parents. Pour les nœuds racines (sans parents), la table de probabilité n'est plus conditionnelle et fixe alors des probabilités a priori concernant les valeurs de la variable.

Les réseaux bayésiens interdisent les dépendances enfant vers parents. Ainsi, l'ensemble de variables et des arcs vont former un graphe dirigé (les arcs possèdent un sens), et acyclique (pas de cycle dans le graphe) [21].

De manière formelle, un réseau bayésien est défini par :

- un graphe acyclique orienté G (DAG : Direction acyclic graph), $G = (V, E)$, où V est l'ensemble des nœuds de G , et E est l'ensemble des arcs de G , ainsi $G = (V, E)$. V symbolise un ensemble de variables aléatoires X , $X = \{X_1, X_2\}$.
- sa composante quantitative μ représentée par des tables de probabilités (TP) pour les noeuds parents et des tables de probabilités conditionnelles (TPC) pour les nœuds descendants, $\mu = \{\mu_i\} = \{P(X_i/\text{Parents}(X_i))\}$. [14]

La figure 5 présente un exemple ordinaire d'un réseau bayésien à deux variables.

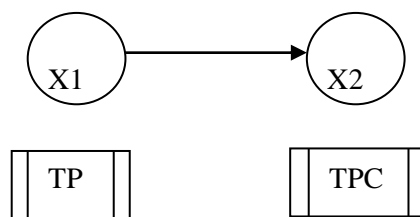


Figure .5. Exemple d'un réseau Bayésien à deux variables.

Les réseaux bayésiens sont donc une représentation à la fois qualitative et quantitative des relations entre les variables. Ces variables peuvent être discrètes (TP , TPC)

ou continues, observables ou non observables et peuvent prendre différents états (vrai/faux, une échelle de probabilité) [23]

Le calcul dans un réseau bayésien s'appuie sur le théorème de Bayes. Soit deux variables aléatoires $X1$ et $X2$, la probabilité conditionnelle de $X2$ sachant $X1$ est déterminée par la formule suivante : [14]

$$P(X2/X1) = \frac{P(X1/X2) P(X2)}{P(X1)} \quad (1)$$

- $P(X1)$ est la probabilité a priori (ou marginale) de $X1$.
- $P(X2/X1)$ est la probabilité a posteriori de $X2$ sachant $X1$.
- $P(X1/X2)$ est la fonction de vraisemblance de $X1$ connaissant $X2$.

Dans le cas général, où $X = \{X1, X2, \dots, Xn\}$, la fonction de distribution de probabilités jointe $P(X)$ s'écrit comme suit :

$$P(X) = \prod_{i=1}^n P(Xi/\text{parents}(Xi)) \quad (2)$$

III.3. Les avantages des Réseaux Bayésiens :

Nous listons leurs principaux avantages ci-après :

- les *RB* peuvent être utilisés pour apprendre des dépendances causales et pour modéliser des phénomènes aléatoires,
- un *RB* est une représentation graphique compacte et synthétique avec une facilité d'acquisition et d'utilisation de la connaissance,
- les *RB* peuvent combiner plusieurs aspects à la fois, des statistiques, des probabilités, de l'aide à la décision et le management des connaissances,
- pour l'utilisation, leur flexibilité permet d'interroger le même modèle graphique pour des objectifs différents, tels que la prédiction ou le diagnostic,
- de surcroît, ils permettent de modéliser la connaissance par une attribution des probabilités même si les données sont de nature incertaine,

- les algorithmes dédiés au calcul offrent un outil puissant pour la fusion des données incomplètes avec prise en compte des jugements des experts,
- pour les applications industrielles, la qualité de l'offre en matière d'outils rend les RB de plus en plus séduisants... [25]

III.4. Propriétés du Réseau Bayésien :

Dans la théorie des graphes, les propriétés des modèles se présentent comme des outils théoriques permettant leur développement. Nous allons à présent étudier quelques propriétés des réseaux Bayésiens : [14]

III.4.1. Indépendance conditionnelle :

Soit X, Y et Z trois variables aléatoires, X est indépendante conditionnellement de Y sachant Z, si et seulement si $P(X|Y,Z) = P(X|Z)$. Cette propriété se traduit par le fait que sachant l'état Z, l'état de Y n'influence pas l'état de X (figure 6). Ce résultat est fondamental dans l'utilisation des réseaux Bayésiens, il est très utile dans la recherche des structures graphiques d'un réseau et permet de limiter les calculs de probabilités dans un graphe causal. Un graphe représentant des indépendances conditionnelles détient davantage de propriétés, comme celles de Markov [14].

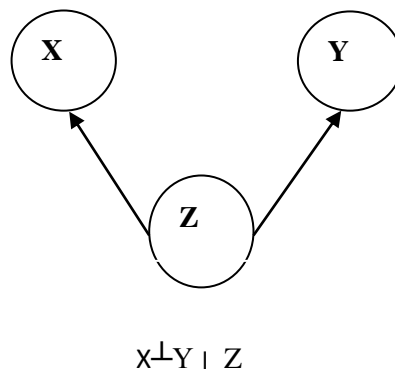


Figure 6. Indépendance conditionnelle (connexion divergente).

III.4.2. Boucle dans un réseau bayésien :

La structure d'un réseau bayésien ne doit pas contenir de circuits orientés (figure 7).

Cependant, l'un des résultats théoriques montrant la puissance de modélisation par *RB* indique qu'il existe toujours une représentation par *RB* des lois conjointes quelles que soient les dépendances stochastiques entre les variables aléatoires.

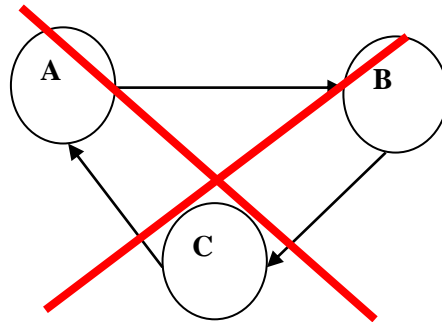


Figure. 7. Boucle dans un réseau bayésien. [14]

III.5. Extention des réseaux bayésiens :

III.5.1. Réseau bayésien naïf :

Une première variante des RB est appelée réseaux bayésiens naïfs. Pour les problèmes de classification, cette variante est largement utilisée et elle a donné de très bons résultats, la terminologie classifieur Bayésien est souvent employée. Un RB naïf se compose d'un graphe à deux niveaux, un nœud parent discret pour le premier niveau (nommé nœud de classe *C*) et des nœuds enfants (ou feuilles notés X_i) pour le second. Les n modalités du nœud de classe *C* représentent le nombre de classe du problème (C_1, C_2, \dots, C_n). Notons, pour cette structure simple, l'hypothèse très forte d'indépendance des feuilles (enfants) conditionnellement au parent. En tenant compte de cette hypothèse « naïve » d'indépendance entre les variables X_i , la probabilité jointe peut être exprimée par la formule :

$$P(C, x_1, x_2, \dots, x_n) = P(C) \prod_{i=1}^n P(X_i/C) \quad (3)$$

Où *C* est la variable de classe recherchée. [23]

La figure 8 présente un *RB* naïf avec ses deux niveaux. La tâche de classification consiste à reconnaître, après quantification de la structure graphique, la classe *C* d'une instanciation X_i .

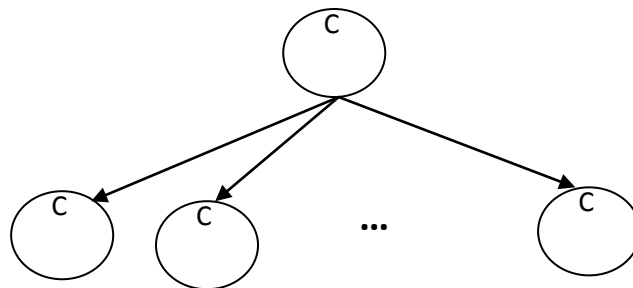


Figure .8. Réseau Bayésien naïf.

III.5.2. Réseau bayésien dynamique (ou temporel) :

Dans un processus réel, l'une des variables les plus importantes est le temps. Pour un réseau bayésien statique (classique) chaque variable est décrite par un seul nœud et le réseau sous-jacent ne permet pas de prendre en compte des besoins d'application évoluant dans le temps. Les réseaux bayésiens dynamiques (RBD) sont définis en tant qu'une extension des RB, où une variable peut être décrite par plusieurs nœuds modélisant son comportement à plusieurs instants. La structure de la figure 9 présente un modèle par RBD, elle peut être considérée comme une duplication d'un RB à chaque pas de temps. Dans ce cas, la distribution de probabilité peut changer en fonction du temps comme dans les chaînes de Markov et elle est calculée pour une variable X_i à l'instant t connaissant ses états aux instants $t-1$, $t-2$, etc. Une variable X_i dans un RB dynamique peut influencer donc sa valeur à l'instant d'après. [15]

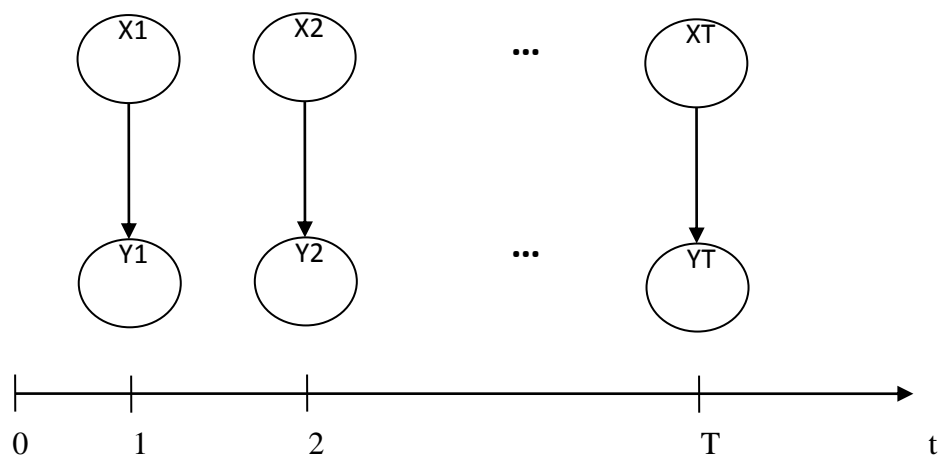


Figure 9. Réseau Bayésien Dynamique.

III.5.3. Réseau bayésien orienté objet :

Pour certains types d'application, rendre le formalisme bayésien plus générique va simplifier considérablement la tâche de modélisation. En effet, pour un système complexe la modélisation par un réseau bayésien induit des modèles de taille importante et difficilement abordables. C'est la raison pour laquelle, des chercheurs ont proposé l'utilisation de réseaux bayésiens orientés objets OOBN (Object Oriented Bayesian Networks). Dans ces modèles, un objet regroupe une partie du réseau bayésien. L'objet peut être réutilisé plusieurs fois permettant ainsi de simplifier la représentation graphique et avoir un modèle avec différents niveaux d'abstraction. Il semble que les OOBN soient bien adaptés aux problèmes de modélisation des processus industriels dans le cadre de la maintenance et de la sûreté de fonctionnement. Cependant, l'inférence dans de telle structure reste délicate, une nouvelle génération de modèle probabiliste est proposée afin de gagner en efficacité [19].

III.5.4. Réseau bayésien étendu à un diagramme d'influence :

Pour des problèmes liés au domaine de l'aide à la décision, une extension des réseaux bayésiens (statique et dynamique) est envisageable. Il s'agit du concept des Diagrammes d'Influence (DI) qui sont une généralisation de la méthode des arbres de décision. Pour cette structure, la nouveauté dans la démarche de modélisation réside dans l'ajout de deux nouveaux types de nœuds à la structure initiale du réseau Bayésien comme le montre la figure 10. Au final, un diagramme d'influence comporte trois types de nœuds, les nœuds de probabilité du RB initial, les nœuds de décision permettent de représenter une action sur le système et enfin les nœuds d'utilité pour modéliser le coût associé à une variable du modèle ou une action sur le système. [16]

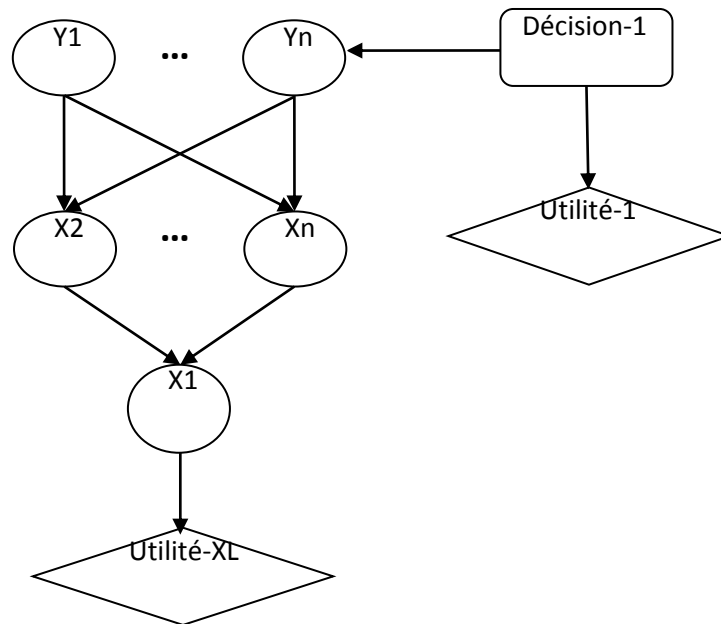


Figure .10. Diagramme d'influence.

III.6. Méthodes algorithmiques :

Pour construire et utiliser un réseau bayésien, nous devons introduire les deux concepts d'apprentissage et d'inférence, ce sont les deux principaux problèmes dans le raisonnement probabiliste bayésien : [23]

III.6.1. L'apprentissage :

L'apprentissage dans un réseau bayésien est une approche inductive. Nous distinguons deux types d'apprentissage : paramétrique et structurel. Le premier permet d'estimer les lois de probabilités conditionnelles (paramètres) étant donnée une structure de *RB*, quant au second, il vise à déterminer une structure graphique optimale du modèle à partir d'un ensemble de données observées. Il convient de noter que le nombre de structures graphiques apprises croît de manière super-exponentielle en fonction du nombre de variables du réseau (par exemple, pour dix nœuds le nombre de graphes possibles est environ 4×10^{18}).

Notons aussi que les deux apprentissages peuvent être complémentaires pour un problème donné et qu'une structure peut être définie à partir des avis des experts, de même

pour l'estimation des distributions de probabilités. L'apprentissage trouve son intérêt lorsque les jugements de l'expert présentent leurs limites ou quand la taille de données et le nombre de nœuds sont importants, [23]

III.6.2. L'inférence :

L'inférence dans un réseau bayésien est une approche déductive, l'objectif de l'inférence est de calculer (ou de mettre à jour) n'importe quelle probabilité conditionnelle d'une variable du modèle à partir de la structure causale (arbre causes à effets) et les distributions de probabilités associées. Le théorème de Bayes et les lois de probabilités conditionnelles sont au cœur de ce calcul. Selon la complexité du réseau, nous distinguons deux types d'inférences : exacte et approchée. [23]

La figure 11 résume les principales familles d'apprentissage et d'inférence dans les réseaux bayésiens.

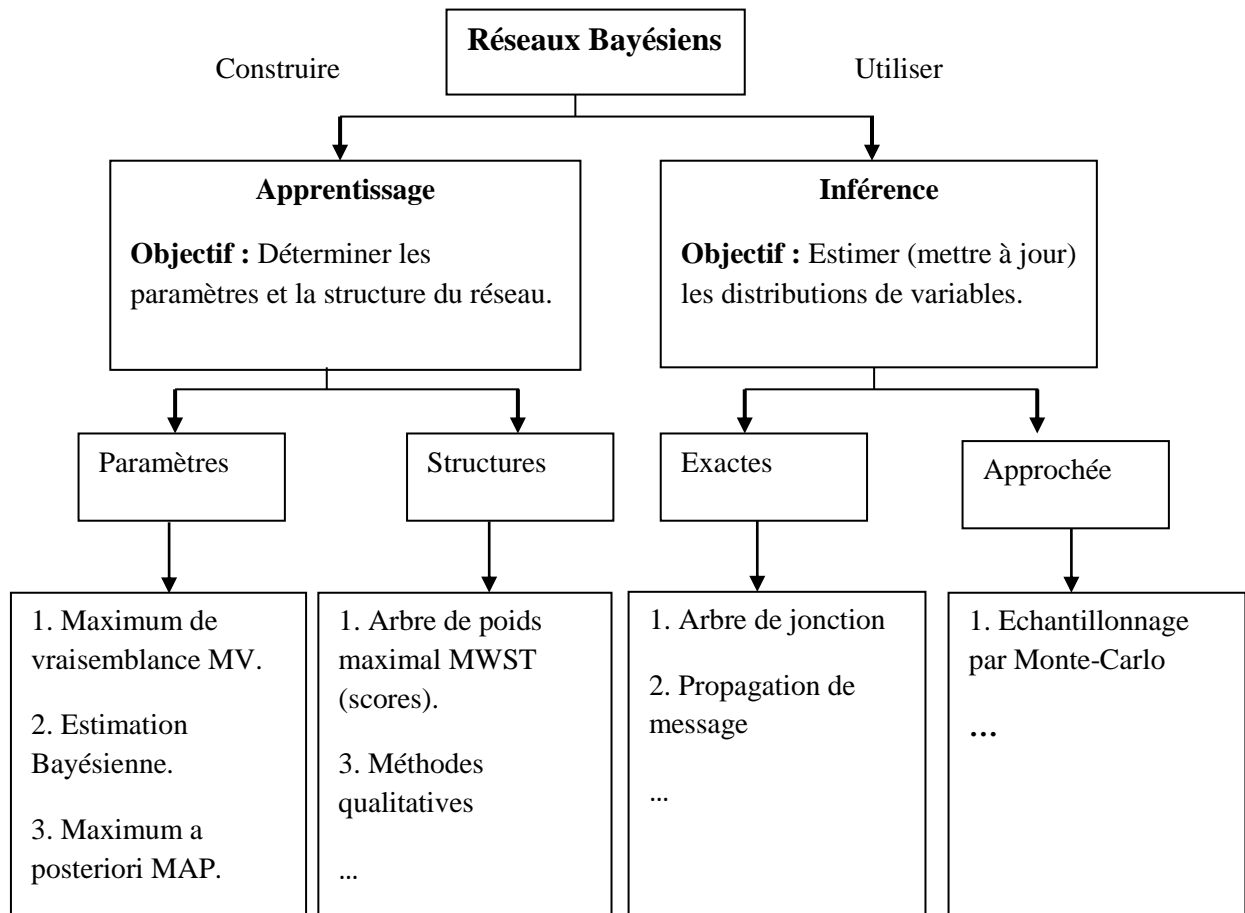


Figure 11. Apprentissage et inférence dans les réseaux Bayésiens.

III.7. Difficultés dans l'utilisation des réseaux bayésiens :

L'utilisation essentielle des réseaux bayésiens est de calculer des probabilités conditionnelles d'événements reliés les uns aux autres par des relations de cause à effet. Cette utilisation s'appelle l'inférence.

La correspondance qui existe entre la structure graphique et la structure probabiliste associée va permettre de ramener l'ensemble des problèmes de l'inférence à des problèmes de théorie des graphes.

Cependant, ces problèmes restent relativement complexes, et donnent lieu à de nombreuses recherches.

Une difficulté essentielle des réseaux Bayésiens se situe précisément dans l'opération de transposition du graphe causal à une représentation probabiliste. Même si les seules tables de probabilités nécessaires pour définir entièrement la distribution de probabilité sont celles d'un nœud conditionné par rapport à ses parents. Il reste que la définition de ces tables n'est pas toujours facile pour un expert [17].

III.8. Quand utilise-t-on les réseaux bayésiens ?

Dans quels cas utilise-t-on les réseaux bayésiens (RB) ? Les RB sont des modèles probabilistes qui permettent de décrire des phénomènes complexes qui ne peuvent pas être modélisés analytiquement. L'utilisation des RB est recommandée lorsqu'il s'agit de résoudre un problème où il y a des dépendances entre variables incertaines, et particulièrement quand ces dépendances sont elles mêmes incertaines.

Les réseaux bayésiens permettent :

- de modéliser et de capitaliser des connaissances (connaissances d'experts, exploitation de bases de données de retour d'expérience, de marketing, de détection de fraudes,...),
- d'étudier la dépendance entre variables (applications en sûreté de fonctionnement),
- d'établir des diagnostics (applications en médecine, et en maintenance),
- de mener des études prospectives (analyse globale du risque),
- de modéliser et de simuler des systèmes complexes (réseaux bayésiens dynamiques),
- d'aider à la prise de décision (gestion des risques). [25]

L'utilisation des réseaux bayésiens est généralement privilégiée sur les critères de facilité d'acquisition, de représentation, et d'utilisation de la connaissance. En ce qui concerne la programmation des algorithmes, il existe de nombreuses bibliothèques traitant les réseaux bayésiens (*BNT Matlab, BNJava, JavaBayes, PNL...*) et la qualité d'offre en matière de logiciels (*BayesiaLab, Netica, Hugin, Elvira...*) favorise encore davantage leur utilisation. [23]

III.9. Construction d'un réseau bayésien :

Le réseau bayésien peut être construit :

- par expertise,
- par analyse fonctionnelle,
- par apprentissage, en exploitant une base de données (ce procédé est encore au stade de recherche et développement).

La construction d'un réseau bayésien s'effectue en trois étapes essentielles, qui sont présentées sur la figure 12.

Chacune des trois étapes peut impliquer un recueil d'expertise, au moyen de questionnaires écrits, d'entretiens individuels ou encore de séances de *brainstorming*. [14]

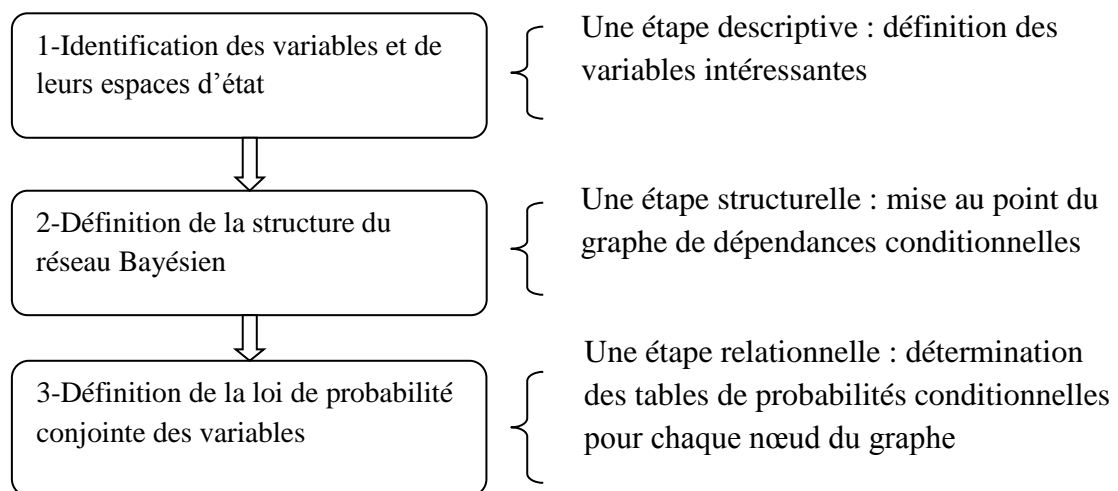


Figure 12. Étapes de construction d'un réseau bayésien.

III.9.1 Identification des variables et de leurs espaces d'états :

La première étape de construction du réseau bayésien est la seule pour laquelle l'intervention humaine est absolument indispensable. Il s'agit de déterminer l'ensemble des variables X_i , catégorielles ou numériques, qui caractérisent le système. Comme dans tout travail de modélisation, un compromis entre la précision de la représentation et la maniabilité du modèle doit être trouvé, au moyen d'une discussion entre les experts et le modélisateur.

Lorsque les variables sont identifiées, il est ensuite nécessaire de préciser l'*espace d'états* de chaque variable X_i , c'est-à-dire l'ensemble de ses valeurs possibles [14].

Lors de cette étape, il s'agit de définir :

- les variables aléatoires pertinentes pour le problème à résoudre,
- les états associés à chaque variable aléatoire (les modalités) [25].

La majorité des logiciels de réseaux bayésiens ne traite que des modèles à variables discrètes, ayant un nombre fini de valeurs possibles. Si tel est le cas, il est impératif de discrétiser les plages de variation des variables continues. Cette limitation est parfois gênante en pratique, car des discrétisations trop fines peuvent conduire à des tables de probabilités de grande taille, de nature à saturer la mémoire de l'ordinateur [14].

III.9.2 Définition de la structure du réseau bayésien :

Une fois les variables aléatoires identifiées, il faut définir les dépendances (les influences) qui les relient.

Chaque variable :

- **influence** d'autres variables,
- **est influencée par** d'autres variables.

On peut aussi définir la force de ces influences : faible, moyenne, forte. [25]

En d'autre terme la deuxième étape consiste à identifier les liens entre variables, c'est-à-dire à répondre à la question : pour quels couples (i, j) la variable X_i influence-t-elle la variable X_j ?

Dans la plupart des applications, cette étape s'effectue par l'interrogation d'experts. Dans ce cas, des itérations sont souvent nécessaires pour aboutir à une description

consensuelle des interactions entre les variables X_i . L'expérience montre cependant que la représentation graphique du réseau bayésien est dans cette étape un support de dialogue extrêmement précieux [14].

III.9.3. Loi de probabilité conjointe des variables :

La dernière étape de construction du réseau bayésien consiste à renseigner les tables de probabilités associées aux différentes variables [14].

Ceci permet de décrire de manière plus précise la relation de cause à effet entre les variables liées [25].

Dans un premier temps, la connaissance des experts concernant les lois de probabilité des variables est intégrée au modèle. Concrètement, deux cas se présentent selon la position d'une variable X_i dans le réseau bayésien :

- La variable X_i n'a pas de variable parente : les experts doivent préciser la loi de probabilité marginale de X_i .
- La variable X_i possède des variables parentes : les experts doivent exprimer la dépendance de X_i en fonction des variables parentes, soit au moyen de probabilités conditionnelles, soit par une équation déterministe (que le logiciel convertira ensuite en probabilités).

Le recueil de lois de probabilités auprès d'experts est une étape délicate du processus de construction du réseau bayésien. Typiquement, les experts se montrent réticents à chiffrer la plausibilité d'un événement qu'ils n'ont jamais observé.

Cependant, une discussion approfondie avec les experts, aboutissant parfois à une reformulation plus précise des variables, permet dans de nombreux cas l'obtention d'appréciations qualitatives. Ainsi, lorsqu'un événement est clairement défini, les experts sont généralement mieux à même d'exprimer si celui-ci est probable, peu probable, hautement improbable, etc.

Le cas d'absence totale d'information concernant la loi de probabilité d'une variable X_i peut être rencontré. La solution pragmatique consiste alors à affecter à X_i une loi de probabilité arbitraire, par exemple une loi uniforme [14].

Cette étape relationnelle peut également être réalisée par apprentissage sur la base d'un échantillon d'individus observés (données de retour d'expérience), l'apprentissage peut

calculer les différentes probabilités conditionnelles. Ainsi, l'apprentissage permet de chercher le meilleur jeu de paramètres pour rendre compte des données observées. Cet apprentissage peut être réalisé, par exemple, par le logiciel Netica qui utilise la méthode de propagation de probabilités par arbres de jonction. BayesiaLab a réalisé également des travaux importants sur l'apprentissage [25].

La quasi-totalité des logiciels commerciaux de réseaux bayésiens permet l'apprentissage automatique des tables de probabilités à partir de données. Par conséquent, dans un second temps, les éventuelles observations des X_i peuvent être incorporées au modèle, afin d'affiner les probabilités introduites par les experts [14].

Une fois la construction du réseau terminée, on peut :

- donnée les probabilités a priori,
- déterminer les probabilités a posteriori des différentes variables aléatoires,
- identifier les facteurs les plus influents et particulièrement ceux sur lesquels on peut agir,
- imaginer des actions sur ces facteurs importants sur lesquels on peut agir,
- et quantifier l'impact de ces actions sur les variables de sortie. [25]

III.10. Un exemple simple de réseau bayésien :

Pour illustrer les réseaux bayésiens, on va reprendre un exemple (figure.13), extrêmement classique dans la littérature sur les réseaux bayésiens. Nous allons d'abord faire les calculs analytiques.

Problématique :

Ce matin-là, alors que le temps est clair et sec, M. Holmes sort de sa maison. Il s'aperçoit que la pelouse de son jardin est humide. Il se demande alors (1) s'il a plu pendant la nuit, ou s'il a simplement oublié de débrancher son arroseur automatique. Il jette alors un coup d'œil à la pelouse de son voisin, M. Watson, et s'aperçoit qu'elle est humide. Il en déduit alors qu'il a probablement plu (2), et il décide de partir au travail sans vérifier son arroseur.

Nous avons alors quatre variables (qui sont les événements) qui peuvent prendre chacune la valeur « vrai » ou « faux » :

A : M. Holmes a oublié de débrancher son arroseur.

P : Il a plu durant la nuit.

J : L'herbe de son jardin est humide.

W : L'herbe du jardin de M. Watson est humide.

Construction d'un réseau Bayésien :

Résonnement intuitive

Si M. Holmes a oublié de débrancher son arroseur, son jardin est forcément humide : d'où la liaison A-J.

Cela est aussi vrai s'il a plu : liaison P-J.

S'il a plu, même le jardin du voisin Mr. Watson est forcément mouillé : liaison P-W

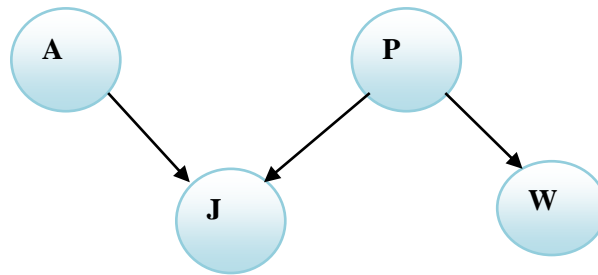


Figure.13 : Réseau Bayésien Mr. Holmes

A partir de nos connaissances subjectives, nous pouvons évaluer les probabilités de certain événement. Nous pouvons également traduire le fait qu'il n'y a aucun lien a priori entre le fait qu'il ait plu cette nuit, et le fait que M. Holmes ait oublié de débrancher son arroseur automatique. Ainsi le tableau 2 nous donne des probabilités à priori.

Événement	Probabilité	Commentaire
A = vrai	0.40	Mr Holmes oublie assez souvent de débrancher son arroseur.
A = faux	0.60	
P = vrai	0.40	La région est relativement pluvieuse dans cette période.
P = faux	0.60	

Tableau 2. Tableau des probabilités à priori

Tableau des probabilités conditionnelles pour J (tableau 3) :

	A = vrai		A = faux	
	P = vrai	P = faux	P = vrai	P = faux
J = vrai	1	1	1	0
J = faux	0	0	0	1

Tableau 3. Tableau des probabilités conditionnelles pour J

Tableau des probabilités conditionnelles pour W (tableau 4) :

	P = vrai	P = faux
W = vrai	1	0
W = faux	0	1

Tableau 4. Tableau des probabilités conditionnelles pour W

Calcul probabiliste analytique :

M. Holmes sort de sa maison. Il s'aperçoit que la pelouse de son jardin est humide, il se pose alors une première question :

1/ Il se demande alors s'il a plu pendant la nuit, ou s'il a simplement oublié de débrancher son arroseur automatique. Pour répondre à cette question cela revient à calculer et comparer :

$P(A = \text{vrai} / J = \text{vrai})$ et $P(P = \text{vrai} / J = \text{vrai})$.

Pour cela on utilise le théorème de Bayes :

$$p(A/B) = \frac{p(A \cap B)}{p(B)} = \frac{p(B/A) \cdot p(A)}{p(B)}$$

Soit :

$$p(A = \text{vrai} / J = \text{vrai}) = \frac{p(J = \text{vrai} / A = \text{vrai})p(A = \text{vrai})}{p(J = \text{vrai})}$$

De même :

$$p(A = V / J = V) = \frac{p(J = V / A = V)p(A = V)}{p(J = V)}$$

Et

$$p(P = A / J = V) = \frac{p(J = V / P = V)p(P = V)}{p(J = V)}$$

On peut aussi calculer les prévisionnelles conditionnelles, par la propriété d'inversion de Bayes :

$$p(J=V) = p(J=V/A=V, P=V) \cdot p(A=V) \cdot p(P=V) + p(J=V/A=V, P=F) \cdot p(A=V) \cdot p(P=F) + p(J=V/A=F, P=V) \cdot p(A=F) \cdot p(P=V) + p(J=V/A=F, P=F) \cdot p(A=F) \cdot p(P=F)$$

Application numérique:

$$p(J=V) = 1 * 0.40 * 0.40 + 1 * 0.40 * 0.60 + 1 * 0.60 * 0.40 + 0 * 0.60 * 0.60$$

$$= 0.16 + 0.24 + 0.24 = 0.64$$

D'où

$$p(P = V / J = V) = \frac{1 * 0.40}{0.64} = 0.625$$

De la même manière on retrouve $p(A=V/J=V) = 0.625$

Nous retrouvons ici numériquement le résultat intuitif vu plus haut, à savoir que :

- La croyance en chacune des deux causes (P) et (J) est renforcée de 0.40 à 0.625.
- Il n'est pas possible de privilégier l'une des deux causes avec cette seule information.

Dans la seconde partie (2) de son raisonnement, M. Holmes est alors amené à comparer $p(A=V/J=V,W=V)$ avec $p(P=V/J=V,W=V)$

On retrouve facilement que :

$$P(P=V/J=V, W=V) = 1$$

Mr Holmes est alors certain (100%), que si la pelouse de son voisin est mouillée (W), il a plu cette nuit et va au travail sans vérifier son arroseur (A).

De même :

$$P(A=V/J=V,W=V) = p(A=V) = 0.40 \text{ (indépendance entre W et A)}$$

Interprétation :

Mr Holmes a la certitude qu'il a plu (100%), il n'a donc aucune raison de modifier sa croyance à priori, puisque la probabilité que l'arroseur est resté branché est plus faible (40%).

Pour la construction du modèle bayésien dans notre cas pratique nous avons utilisé la méthode HEMP que nous présentons dans ce qui suit.

IV. La méthode HEMP :

La méthode HEMP est l'acronyme de Hazards and Effects Management Process, aussi également connu sous le nom de PGRE (le procédé de gestion des risques et effets). [26]

IV.1. définition:

Le procédé de gestion des risques et effets ; est une approche systématique d'identification et de traitement des risques.

En général, la méthode exige.

- L'identification des risques associés.

- L'évaluation de l'implantation relative du risque pour contrôler, ces risques et leurs rétablissements en cas d'échec de contrôle.
- La spécification des contrôles est exigée pour gérer les risques en dessous des niveaux de tolérances.
- Le développement des mesures de rétablissement nécessaires pour atténuer les risques et réduire au minimum les conséquences des contrôles échoués ou s'avérant insatisfaisants. [26]

IV.2. Les étapes de la méthode HEMP :

Les étapes de la méthode HEMP sont les suivant (figure 14):

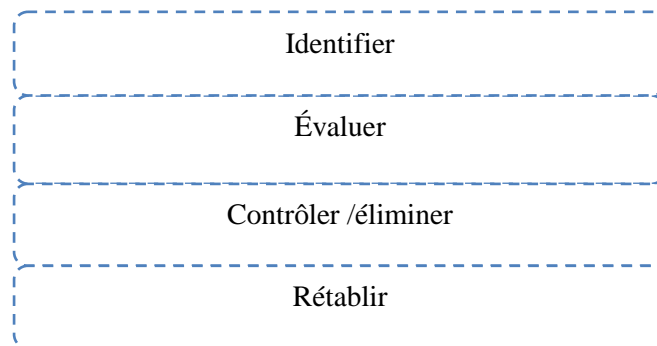


Figure 14 : les étapes de la méthode HEMP.

1) **Identifier** : quels sont les risques?

L'identification des risques se réalise essentiellement par les mécanismes suivant :

- ❖ Les vérifications opérationnelles quotidiennes ou vérification avant –travail/ après travail ;
- ❖ Audits de contrôle ; conséquence d'accidents ou incidents.
- ❖ Quelque soit le mécanisme de leur découverte, les dangers doit être signalés et, si possible, la situation doit être sécurisée avant de reprendre les opérations.
- ❖ Tous les rapports des dangers devront être introduits dans le registre des dangers.

2) **Evaluer :**

Les dangers sont évalués en fonction de leurs aspects sanitaires, environnementaux, et leur réputation tout en considérant leurs conséquences potentielles et la probabilité de leur survenue (matrice d'évaluation de risque). Les dangers et les mesures de leur contrôle doivent être réévalués périodiquement et chaque fois qu'un changement significatif le justifie.

Les outils aidant à évaluer les risques comportent :

- La matrice d'évaluation de risques (RAM) ;
- Etude de danger et d'opérabilité (HAZOP) ;
- Evaluation de risque de qualité (QRA) ;
- Evaluation de risque sanitaire(HRA) ;
- Evaluation d'impacte sur l'environnement(EIA).

3) **Contrôler / éliminer :** comment vous contrôlez ces risques?

Le but principal de HEMP est d'éliminer ou contrôler les risques. Une fois le risque est identifié, les menaces générées par ces risques doivent également être identifiées. De cette façon, des barrières et des contrôles appropriés peuvent être mise en place contre le déclenchement d'un danger.

4) **Rétablir/limiter :** qu'advient il si le risque persiste?

En cas des échecs des contrôles des mesures d'atténuation et de rétablissement devront être prises. Ces mesure d'atténuation et de rétablissement sont planifiées et documentées avant le déclenchement d'un danger. Cette étape peut comporter:

- Les plans de réponse d'urgence ou bien d'intervention.
- Plan de réponse en cas de déversement accidentel.
- Accord d'aide mutuelle.
- Plan de continuité de travail.

IV.3. Exécution de la méthode HEMP:

Pour faciliter la mise en œuvre de la méthode HEMP nous avons suivi les étapes comme suit :

IV.3.1. Détermination des activités, les tâches et les Capacité liés aux processus de l'entreprise : (tableau 5)

Activité	Tâches	Capacité
Activité 1	Tâche 1 Tâche 2 ...	
Activité 2 . . .		
Activité n		

Tableau 5. Les activités, les tâches et les Capacité liés aux processus de l'entreprise.

- **Famille des risques :**

La classification des risques par famille est présentée selon le tableau 6.

Famille des risques	Risques spécifique
Activité 1	
Activité 2	
Activité 3	
Activité 4	
Activité : : :	
Activité n	

Tableau 6 : famille des risques

IV.3.2. Evaluation des risques : (Tableau 7)

Risque	Causes et sources	Conséquences

Tableau 7 : Evaluation des risques

V. Inférence Bayésienne :

Pour calculer l'inférence dans notre cas, nous avons utilisé le logiciel BayesiaLab basé sur l'algorithme de jonction.

Pourquoi utiliser le BayesiaLab :

- le BayesiaLab, permet de prendre dès aujourd'hui les bonnes décisions de demain ;
- il est facile à exploiter ;
- évolutif.

BayesiaLab est un logiciel d'édition et d'apprentissage automatique de réseaux bayésiens permettant de représenter la connaissance des experts et de découvrir celle enfouie sous une masse de données.

Le point important dans l'algorithme de jonction (JLO) est la phase de propagation qui basé sur la propagation de messages (*message passing*), l'idée consiste à passer une nouvelle information (message) d'un ensemble de variable (une clique) à ses voisins dans l'arbre de jonction, et de mettre à jour les voisins et les séparateurs avec cette information locale. [14]

Nous présentons sur le tableau 8 les différentes étapes de l'algorithme de l'arbre de jonction.

N	Étapes
1	Transformation du graphe : construire un arbre de jonction à partir du graphe original acyclique et diriger ;
2	Moralisation de l'arbre : Relier les parents entre eux s'ils ont des enfants communs ;
3	Triangulation de l'arbre : Ajouter des arcs pour obtenir un graphe triangulé à partir d'un graphe non dirigé ;
4	Obtention de l'arbre de jonction : Identifier les cliques, puis les connecter pour construire un arbre ;
5	Propagation et mise à jour de la distribution ;
6	Fin.

Tableau. 8. Algorithme de l'arbre de jonction (JT) pour l'inférence exacte.

L'algorithme se comporte de la façon suivante :

- **la phase de construction** : elle nécessite un ensemble de sous-étapes permettant de transformer le graphe initial en un arbre de jonction, dont les nœuds sont des clusters (regroupement) de nœuds du graphe initial. Cette transformation est nécessaire, d'une part pour éliminer les boucles du graphe, et d'autre part, pour obtenir un graphe plus efficace quant au temps de calcul nécessaire à l'inférence, mais qui reste équivalent au niveau de la distribution de probabilité représentée. Cette transformation se fait en trois étapes :

- 1- Moralisation du graphe
- 2- Triangulation du graphe
- 3- Création d'un arbre couvrant minimal (arbre de jonction)

4- Création d'un arbre couvrant minimal (arbre de jonction) :

La construction de l'arbre de jonction est la dernière partie avant de procéder à l'inférence proprement dite. Nous rappelons que pour un réseau bayésien donné, l'arbre de

jonction est construit une et une seule fois. Cette méthode a une complexité, en temps et en mémoire, exponentielle et en la largeur d'arbre.

Les calculs probabilistes auront lieu dans l'arbre de jonction autant de fois que nécessaire. Cependant, pour un réseau bayésien donné, il existe plusieurs arbres de jonction possibles : ils sont fonction de l'algorithme de triangulation et de l'algorithme de construction utilisé.

Il apparaît clairement que pour toute clique C_i , il existe une clique C_j telle que $C_i \cap C_j \neq \emptyset$, $C_i \cap C_j = S$. Cette propriété est intéressante et permettra la construction de l'arbre de jonction.

Où C est l'ensemble des cliques du graphe et S l'ensemble des séparateurs de l'arbre de jonction.

- **La phase de propagation** : il s'agit de la phase de calcul probabiliste à proprement parler où les nouvelles informations concernant une ou plusieurs variables sont propagées à l'ensemble du réseau, de manière à mettre à jour l'ensemble des distributions de probabilités du réseau. Ceci se fait en passant des messages contenant une information de mise à jour entre les nœuds de l'arbre de jonction précédemment construit. A la fin de cette phase, l'arbre de jonction contiendra la distribution de probabilité sachant les nouvelles informations, c'est-à-dire $P(V | \varepsilon)$ où V représente l'ensemble des variables du réseau bayésien et ε l'ensemble des nouvelles informations sur les dites variables. ε peut, par exemple, être vu comme un ensemble d'observations faites à partir de capteurs.

La propagation suit le principe suivant :

• **Initialisation** :

$\forall C_i \in C$, énumérées dans l'ordre de la propriété courante,

$$\Psi_{C_i}^0 = \prod_{X \in C_i, X \notin C_j, j < i} P(X/Pa(X)) \quad (4)$$

$\forall S \in S$, $\Psi_S^0 = 1$ (fonction constante).

$\Psi(S)$: potentiels des séparateurs.

$\Psi(C)$: potentiels des cliques.

• **Collecte** : soit une clique C_i dont toutes les cliques adjacentes C_k sauf une unique C_j ont calculé leurs $\Psi^1_{C_k}$. Alors on met à jour successivement les potentiels du séparateur S_{ij} puis de la clique C_j de la façon suivante :

$$\Psi^1_{S_{ij}}(s) = \sum_{C_i \setminus S_{ij}} \Psi^1_{C_i}(c) \quad (5)$$

$$\Psi^1_{C_j} = \Psi^0_{C_j} \frac{\Psi^1_{S_{ij}}}{\Psi^0_{S_{ij}}} \quad (6)$$

On itère cette étape tant qu'il existe une telle clique (noter que les nœuds pendants de l'arbre de jonction initient cette propagation).

• **Distribution** : le dernier nœud de l'étape précédente, racine de la propagation, distribue vers tous ses voisins (qui feront de même) en utilisant exactement les mêmes formules que ci-après.

$$\Psi^2_{S_{ij}}(s) = \sum_{C_i \setminus S_{ij}} \Psi^2_{C_i}(c) \quad (7)$$

$$\Psi^2_{C_j} = \Psi^1_{C_j} \frac{\Psi^2_{S_{ij}}}{\Psi^1_{S_{ij}}} \quad (8)$$

$\lambda = \frac{\Psi^2_{S_{ij}}}{\Psi^1_{S_{ij}}}$: le facteur de mise à jour

Il est à noter que la cohérence (calcul de la probabilité marginale d'un nœud X identique dans chaque clique contenant X) n'est atteinte qu'à la fin de la propagation ou plus précisément, lorsque Ψ^2 a été calculé dans chaque clique contenant la variable X . [14]

VI. Conclusion :

La modélisation à l'aide de RB présente de nombreux avantages. Pour l'utilisation, leur flexibilité permet d'interroger le même modèle graphique pour des objectifs différents tels que la prédiction ou le diagnostic.

Avec l'exemple précédent, on remarque combien il devient difficile de manipuler les réseaux bayésiens pour les grands réseaux, par ailleurs la quasi-totalité des logiciels commerciaux de réseaux bayésiens permet l'apprentissage automatique des tables de probabilités à partir de données.

Dans ce chapitre, nous avons présenté d'une part le réseau bayésien. Et d'autre part la méthode choisie, à savoir HEMP, permettant de construire le modèle bayésien.

L'application de l'approche bayésien et la mise en œuvre de HEMP à un cas réel (entreprise COTITEX Batna) fait l'objet du troisième chapitre qui conduit à l'amélioration continue de la rentabilité de fabrication du système de production et la maîtrise des risques au sein de l'entreprise COTITEX Batna

Chapitre III

*Application de l'approche proposée à
un système réel : Entreprise
COTITEX-Batna*

Partie I

Etude de l'existant

Partie I : Etude de l'existant

I. Introduction:

Comme il a été évoqué en introduction générale l'objectif de notre travail est d'améliorer la rentabilité de fabrication du système de production et la maîtrise des risques au sein d'un système industriel. Ainsi l'approche proposée est validé sur un système réel l'entreprise COTITEX de Batna sur la base d'une approche bayésienne, pour cela nous allons faire d'abord une présentation de l'entreprise et une description du processus de production.

II. Présentation du complexe TEXTILE :

II.1. Description de la situation de COTITEX Batna:

La cotonnière de Batna est une entreprise textile spécialisée dans la fabrication des articles textiles pour vêtement à base de coton et de fibre chimique polyester.

Le complexe textile de Batna est situé à environ 2 Km à l'ouest de la ville de Batna, avec une superficie 204 520 m² dont 81 184 m² couverte.

II.2. L'organigramme de l'entreprise :

L'organigramme du complexe COTITEX est donné par la figure 15.

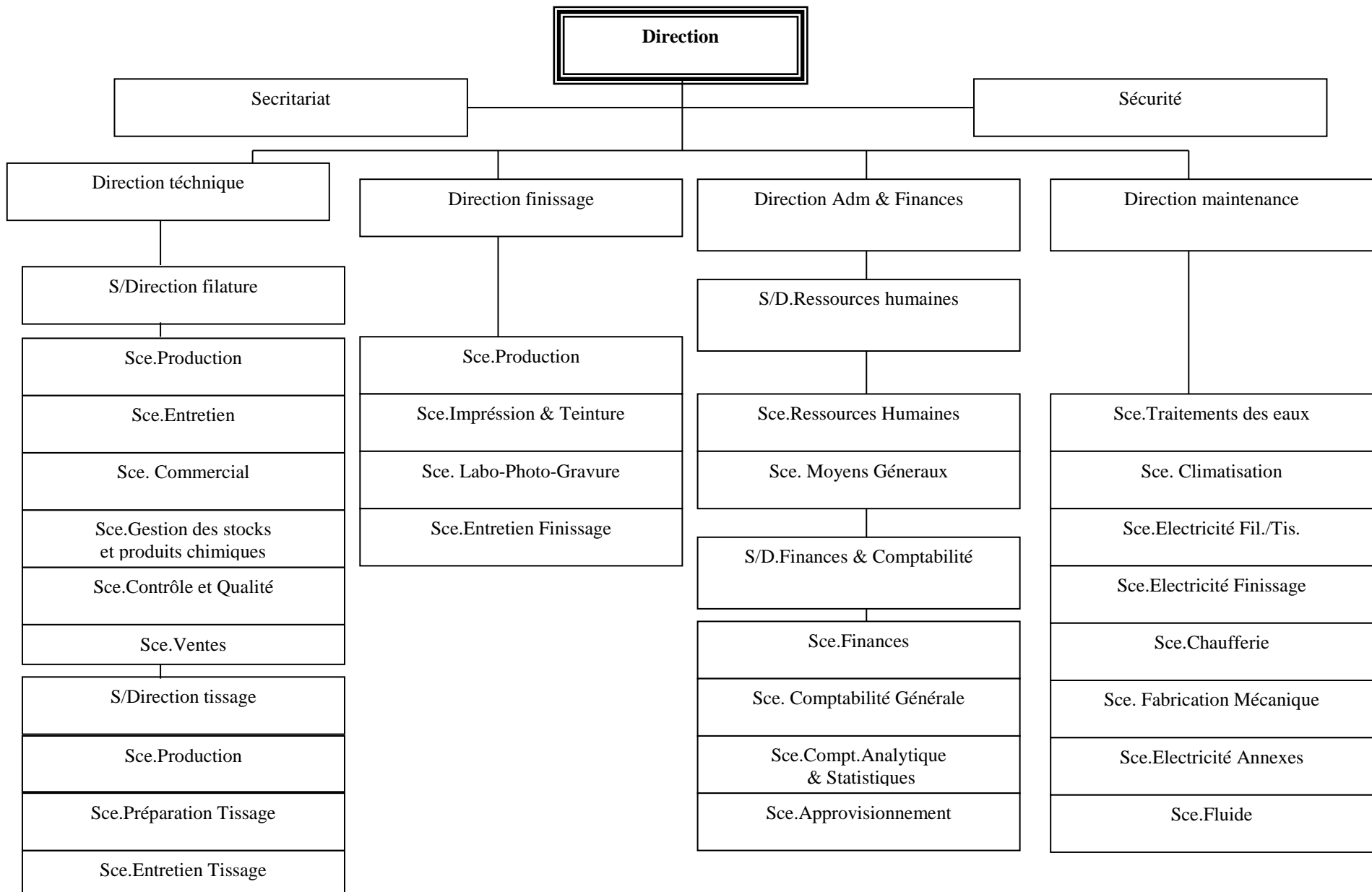


Figure. 15. Organigramme de l'entreprise COTITEX

II.3. Les produits de COTITEX Batna :

La cotonnière de Batna est une entreprise intégrée qui utilise la matière première (fibres) des fils à différentes masses linéiques pour la fabrication des tissus écrus qui vont être finis avant d'être commercialisés. Ainsi, les trois armures principales de tissage de COTITEX Batna sont : La **Cretonne** (100% coton), le **Satin** (coton + polyester) et la **Toile 310g/m²** (100% coton).

Les différents types de produits de la cotonnière de Batna sont présentés dans les tableaux 9, 10 et 11.

Le client principal de l'entreprise COTITEX Batna est **ANP-EHC** (Armée Nationale populaire - Etablissement d'habillement et couchage).

Produits (les fils) (Nm)	Destination
Trame 20 (TR 20)	Satin 270
Chaîne 28 (CH 28)	Cretonne
Trame 24 (TR 24)	Cretonne
Chaîne 14 (CH 14)	Toile 310 g/m ²

Tableau 9. Les différents types de produits au niveau de l'atelier filature

Produits (les tissus)	Destination
Satin 270 C.D	EHC
Cretonne Blanc	EHC
Toile 310 g/m ²	EHC
Toile de travail	CIVIL
Parka	EHC

Tableau 10. Les différents types de produits au niveau de l'atelier tissage.

Produits (les tissus)	Désignation
Satin 270 C.D	EHC
Cretonne B/B	EHC
Cretonne V.LCS	EHC
Drap de lit	CIVIL
Portaise	EHC
Gabardine	EHC
Satin urbain	EHC
Bâche	CIVIL
Toile 310 g	EHC
Satin para sud	EHC
Satin para nord	EHC

Tableau 11. Les différents types de production au niveau de l'atelier finissage.

II.4. Description de processus :

Le processus de production au niveau de la cotonnière de Batna se compose de trois ateliers : filature, tissage, finissage, le processus de production se résume dans la figure. 16.

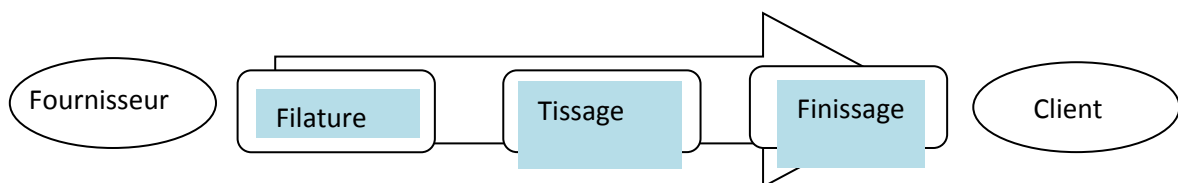
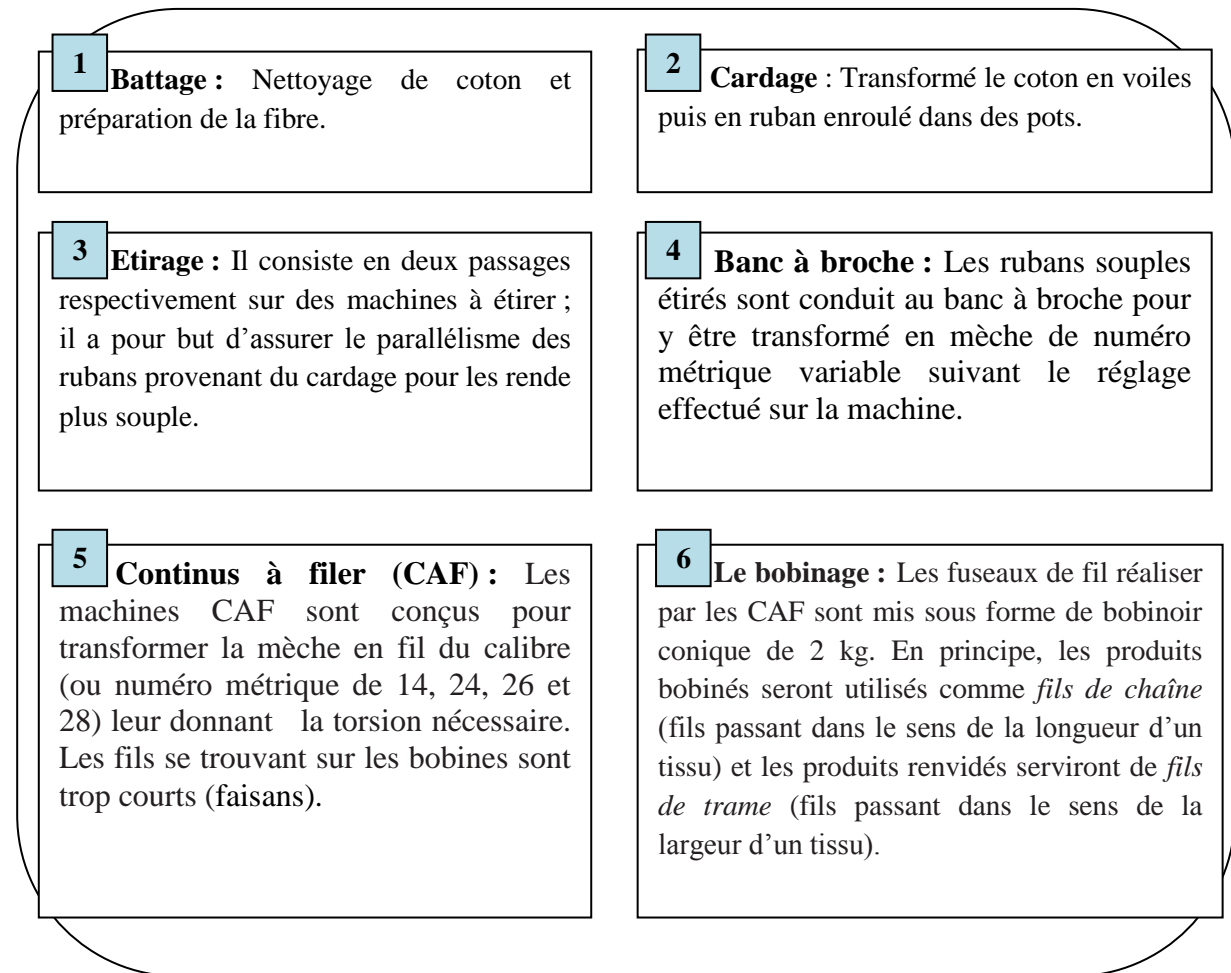


Figure 16. Le processus de production COTITEXE Batna.

II.4.1. Atelier filature :

La filature est l'étape de transformation du coton brut en fil. Elle se déroule selon la figure 17. (Plus de détaille sur cet atelier est donné en annexe 1)



II.4.2. Atelier tissage :

Le tissage est l'étape de transformation du fil en tissu. Il se déroule selon la figure 18. (Annexe 2)

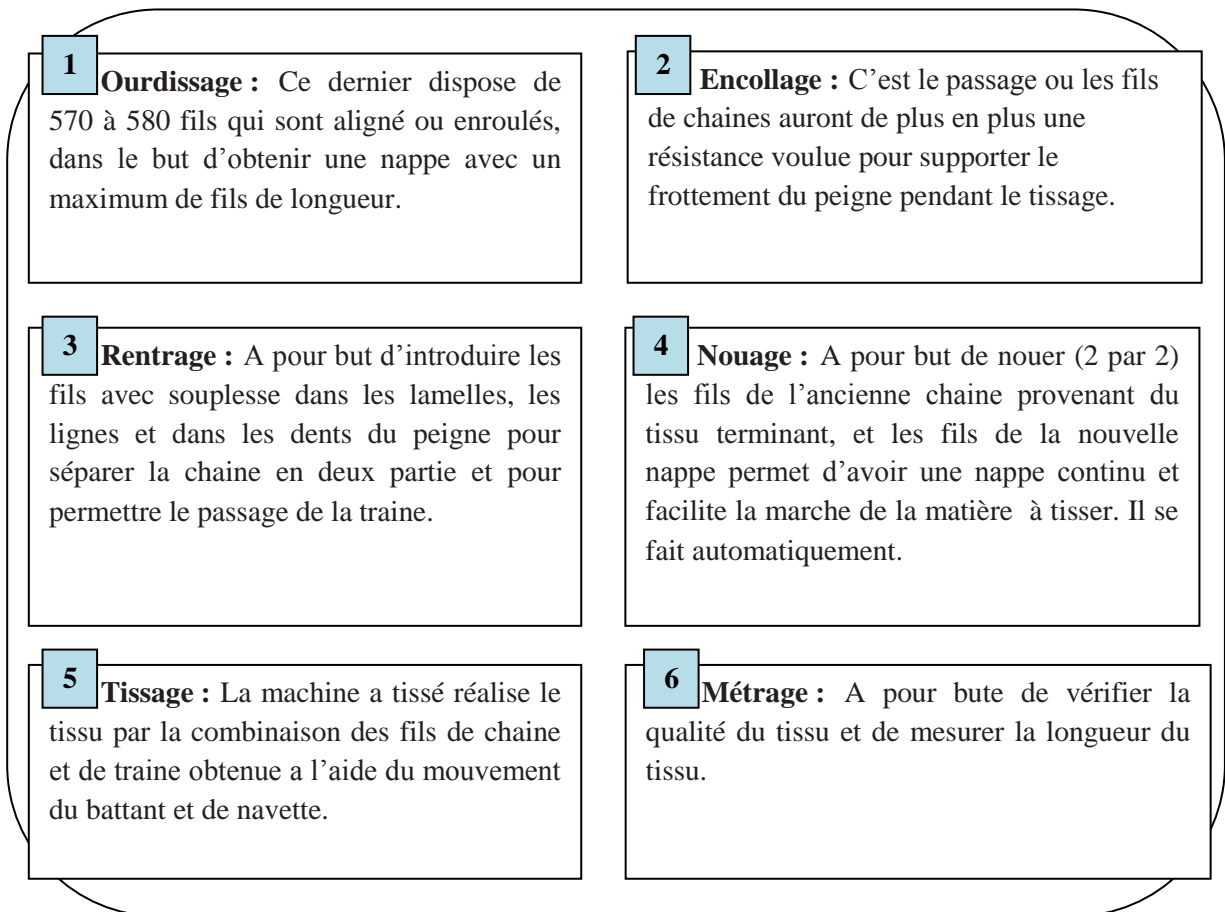


Figure 18. Le processus de tissage.

II.4.3. Atelier finissage :

Le finissage est l'étape de transformation le tissu brut en tissu fini. Il se déroule selon la figure 19. (Annexe 3)

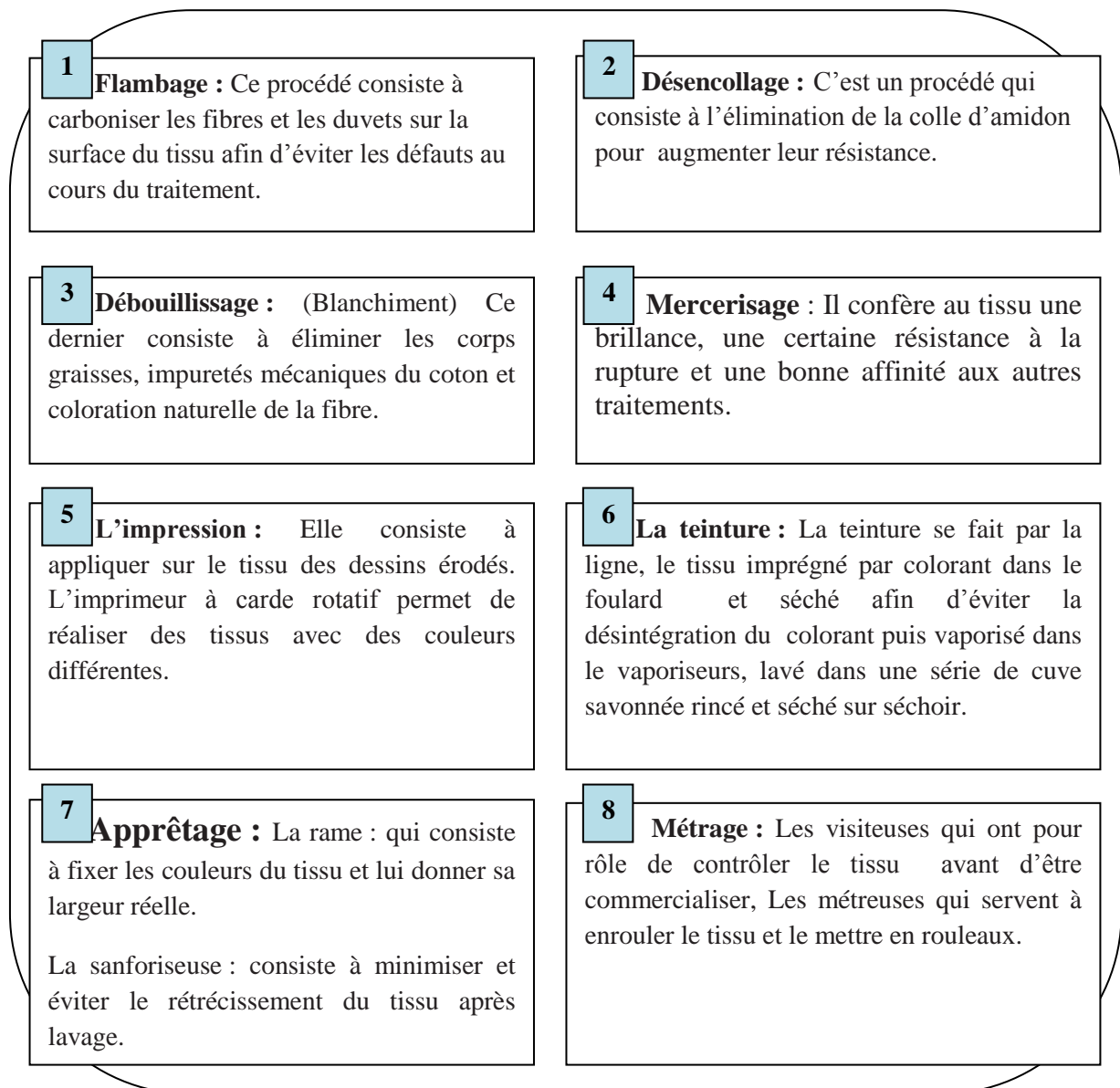


Figure 19. Le processus de finissage.

III. Analyse de l'existant :

L'objectif de notre travail est d'identifier et de modéliser les paramètres nécessaires à la proposition d'une méthodologie permettant d'améliorer la productivité dans le domaine industriel au niveau de l'entreprise COTITEX Batna, pour cela durant notre stage nous avons récupéré le maximum d'informations relatives aux réalisations mensuelles de filature de tissage et de finissage. Puis nous avons calculé le taux de réalisation (TR) de production de l'année 2014 pour ces trois ateliers.

Le TR mesure la performance d'un moyen de production. Il permet d'identifier les pertes, il représente un excellent outil d'investigation. Il est la "température" du moyen de production. Le TR est considéré comme un indicateur représentant l'évolution de la réalisation du système de production.

III.1. Le taux de réalisation (TR) :

Le taux de réalisation est défini par :
$$TR = \frac{\text{réalisation}}{\text{objectif}} \text{ (Du même mois).}$$

Les résultats obtenus sont consignés dans les tableaux 12, 13, et 14 pour les trois ateliers considérés:

Mois	Réalisation mens 2014		
	objectif	Réal	TR (%)
Janvier	88 723	60 231	67,88
Février	88 723	63 159	71,18
Mars	97 594	61 326	62,83
Avril	97 594	56 796	58,19
Mai	88 722	50 772	57,22
Juin	97 594	46 842	48
Juillet	100 691	34 067	33,83
Août	0	0	0
Septembre	91 936	60 045	65,31
Octobre	91 936	53 949	58,68
Novembre	96 313	55 874	58,01
Décembre	96 313	61 983	64,36
Totale	935 448	570 977	61,03

Tableau 12. Valeur du TR pour l'atelier "Filature" pour l'année 2014 (KG).

Mois	Réalisation mens 2014		
	Objectif	Réal	TR (%)
Janvier	294 801	211 895	71,87
Février	294 801	221 224	75,04
Mars	324 282	234 461	72,3
Avril	324 282	216 074	66,63
Mai	294 802	199 104	67,53
Juin	324 282	205 666	63,42
Juillet	289 817	105 041	36,24
Août	0	0	0
Septembre	264 615	188 554	71,26
Octobre	264 615	197 335	74,57
Novembre	277 216	200 514	72,33
Décembre	277 216	233 412	84,2
Totale	2 940 912	2 108 239	71,68

Tableau 13. Valeur du TR pour l'atelier "Tissage" pour l'année 2014 (ML).

Mois	Réalisation mens 2014		
	Objectif	Réal	TR (%)
Janvier	489 566	283 331	57,87
Février	489 566	336 289	68,69
Mars	538 522	317 776	59
Avril	538 522	329 340	61,16
Mai	489 565	315 237	64,39
Juin	538 522	267 815	49,73
Juillet	406 000	191 250	47,1
Août	0	0	0
Septembre	370 696	304 269	82,08
Octobre	370 696	271 024	73,11
Novembre	338 348	231 843	68,52
Décembre	338 348	223 932	66,18
Totale	4 502 351	2 880 856	63,98

Tableau 14. Valeur du TR pour l'atelier "Finissage" pour l'année 2014 (ML).

III.2. Commentaire :

III.2.1. Atelier filature : il a été réalisé une quantité de « 570 977 Kgs », sur un objectif de « 935 448 Kgs », ce qui représente un taux de « 61,03% » (figure 20).

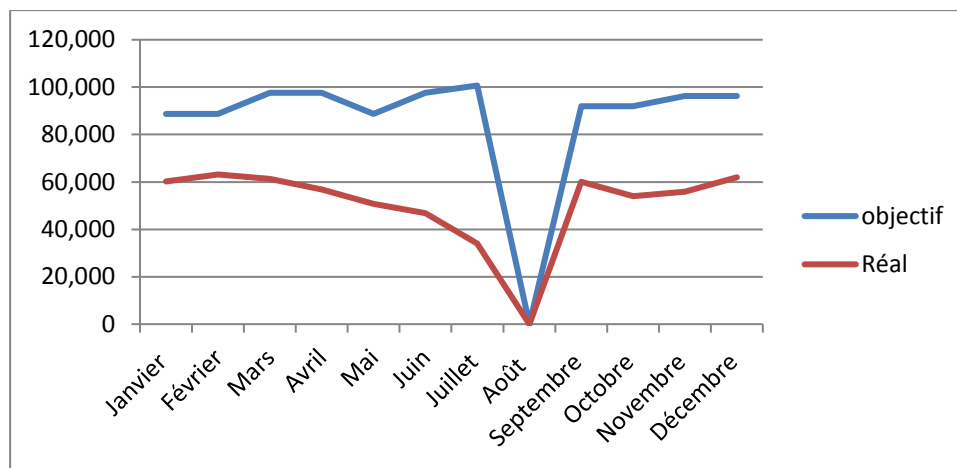


Figure. 20. L'évolution de la réalisation mensuelle "Filature" 2014 (KG)

III.2.2. Atelier tissage : pour l'atelier de tissage également, nous constatons un manque à réaliser représenté par la figure 21 :

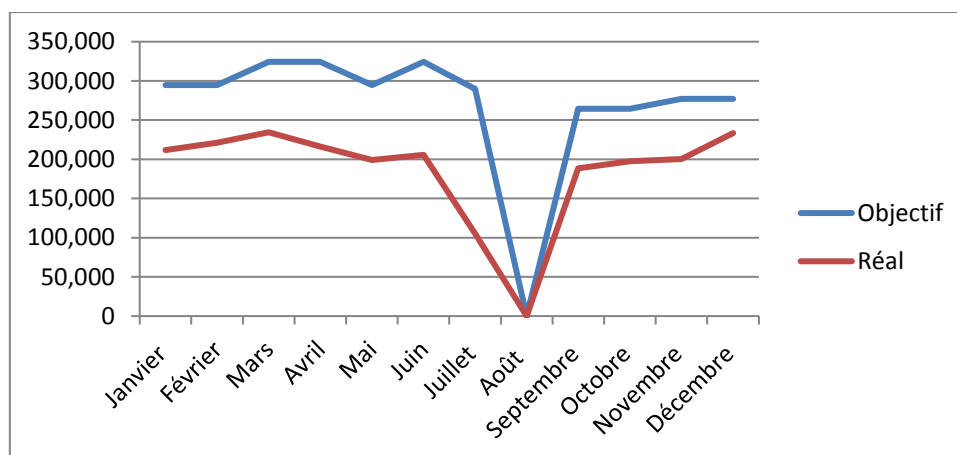


Figure. 21. L'évolution de la réalisation mensuelle "Tissage" 2014 (ML)

III.2.3. Atelier finissage : La quantité réalisée est de « 2 880 856 ML » qui représente un taux de « 63,98% » par rapport à l'objectif retenu initialement. Ces évolutions sont illustrées par la figure 22.

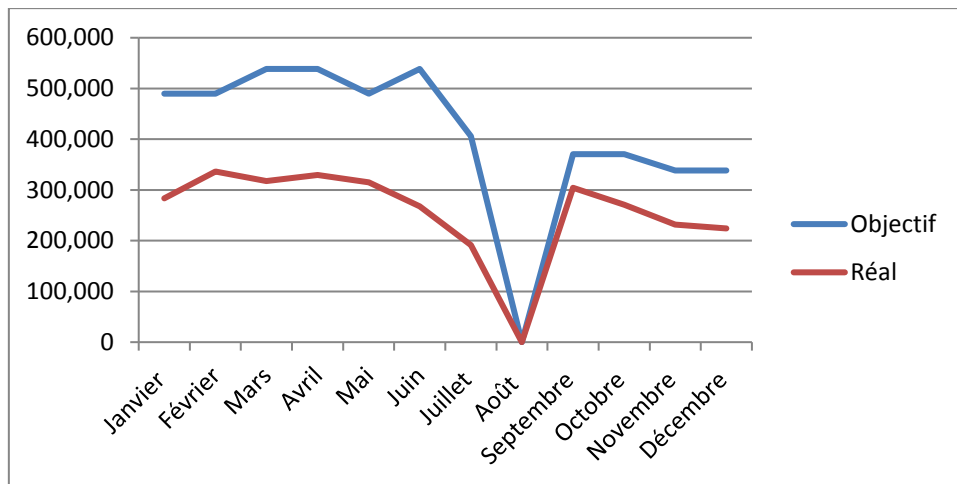


Figure 22. L'évolution de la réalisation mensuelle "Finissage" 2014 (ML)

IV. Conclusion :

Dans cette première partie on a présenté l'entreprise d'une manière générale, la description de la situation de l'entreprise, description du processus et les produits fabriqué, et en suite on a mis en exergue les sous réalisations.

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés aux systèmes de production, dans l'objectif d'évaluer l'impact d'un mécanisme de manque à réaliser et d'améliorer leur rentabilité de fabrication, pour cela on a utilisé l'approche bayésien et c'est l'objectif de la partie suivant.

Partie II

Application de l'approche Bayésien

Partie II : Application de l'approche Bayésien :

I. Introduction :

Pour la construction du réseau Bayésien (figure 23), nous avons choisi parmi les méthodes qualitatives la méthode HEMP et pour déterminer les paramètres nous avons opté pour la méthode d'estimation statistique aussi appelée maximum de vraisemblance (MV) et les données historiques. L'utilisation du réseau bayésien s'appuie sur l'inférence c'est-à-dire les calculs probabiliste pour estimer (mettre à jour) les distributions de variables, dans notre cas nous avons utilisé le logiciel BayesiaLab basé sur l'algorithme de jonction (méthode exacte).

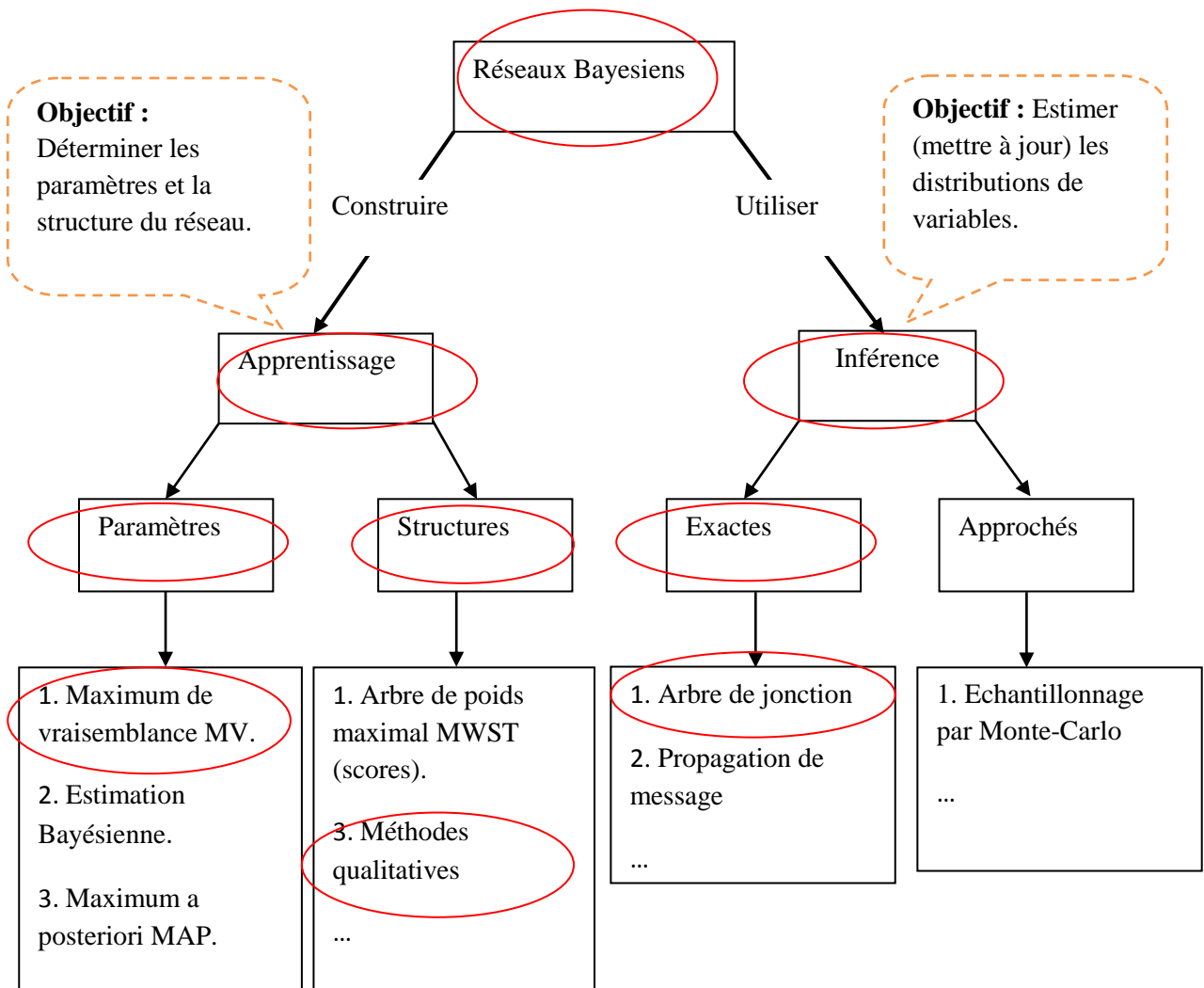


Figure 23. Apprentissage et inférence dans les réseaux Bayésiens.

II. La modélisation bayésienne du système de production COTITEX:

La modélisation bayésienne est réalisée par trois étapes élémentaires (figure 24) : 1- *identification des variables*, 2- *définition de la structure graphique* et 3- *définition des lois de probabilité*. En effet, la première et la deuxième étape sont réalisées par les données historiques et la méthode HEMP (à partir des tableaux de HEMP). Ensuite, la troisième étape est réalisée par la méthode d'estimation statistique (MV) qui permet de définir les lois de probabilité des différentes variables. Enfin, l'utilisation de réseau bayésien basé sur l'inférence permet de tester le modèle, ce dernier est mis à jour à travers de nouvelles données. Pour l'inférence nous avons utilisé le logiciel BayesiaLab.

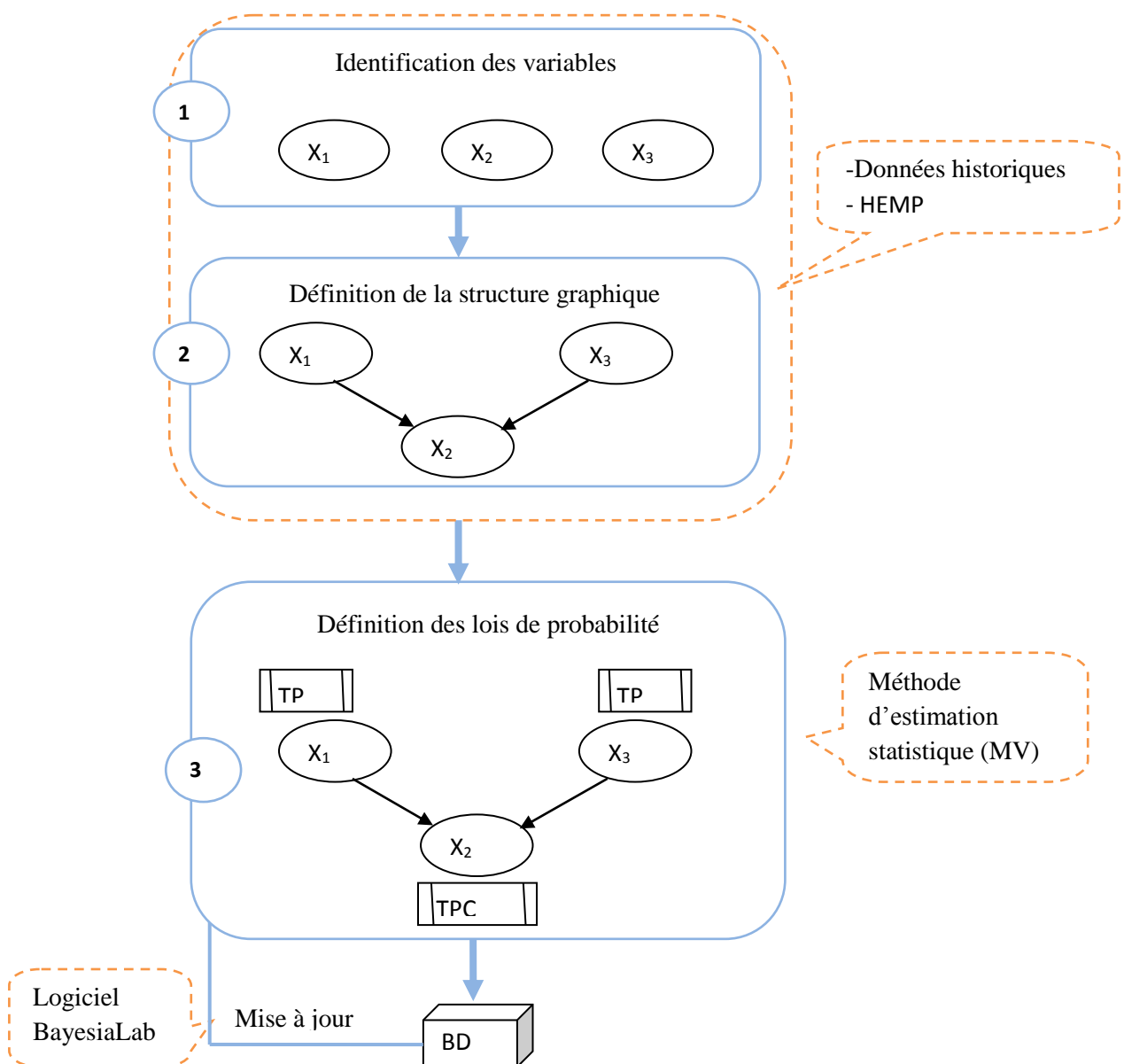


Figure 24. Analyse probabiliste par RB.

II.1. Etapes de HEMP :

Le HEMP peut être décomposé en quatre éléments distincts comme suit : (figure 25).

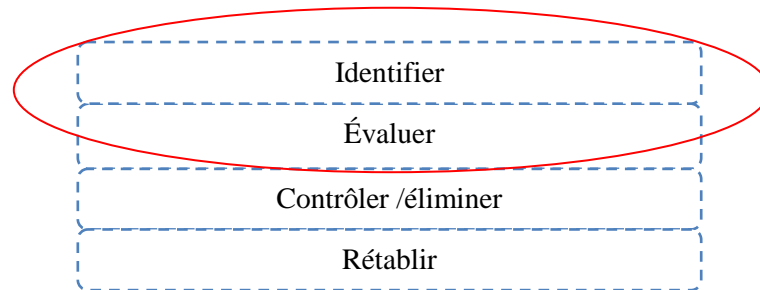


Figure 25 : les étapes de la méthode HEMP

Dans notre cas on a utilisé que les deux premières étapes de la méthode HEMP ce qui est largement suffisante pour l'identification des variables et la construction du modèle bayésien.

II.1.1. Identification des activités et des tâches de COTITEX :

La première étape de l'application HEMP consiste à réaliser une identification des activités, et des tâches, pour le cas de la COTITEX Batna, nous représentons les tâches et activités dans le tableau 15:

Activité	Tâches	Capacité
Filature	Battage, Cardage Etirage 1 ^{er} et 2 ^{ème} passage Banc à broche, Continu à filer Bobinage	2781kg/jours
Tissage	Ourdissage, Encollage Rentrage, Nouage, Canetière, Tissage, Métrage	9000ML/jours
Finissage	Flambage, Désencollage Débouillissage, Mercerisage L'impression, La teinture Apprêtage, Métrage	30000ML/jours

Tableau 15 : Identification des activités et des tâches

II.1.2. listes des risques liés à chaque activité :

Suivant l'approche réseau bayésien, nous devons identifier les états de risque relatifs à chaque activité. Le tableau 16 présente cette liste.

Activité	Risques
Filature	-Etat de pannes -Etat d'arrêt « l'arrêt des machines » - L'état de fil « mauvaise qualité » il faut respecter le numéro métrique
Tissage	-Etat de pannes -Etat d'arrêt « l'arrêt des machines » - l'état du tissu écri -Manque des pièces de rechange * -Manque à produire
Finissage	-Etat de pannes -Etat d'arrêt « l'arrêt des machines » -Retour de produits -Stock des tissus finis « stock mort » -Réduction de la demande « risque client »

Tableau 16. Listes de risques liés à chaque activité.

* Nous prenons en considération ce type de risque uniquement pour l'atelier de tissage vu l'importance de ce risque pour cet atelier par rapport aux deux autres ateliers.

II.1.3. Evaluation de causes et conséquences des risques:

1. Filature :

Suivant l'approche de la méthode HEMP, l'évaluation des risques consiste à la détermination

- Des causes des risques ;

- Des conséquences des risques et leur évaluation. Dans le cadre de ce travail nous utilisons la méthode HEMP uniquement pour les causes et conséquence des risques. Pour ce qui est de l'évaluation elle est prise en charge par les RB. (tableau 17)

Risque	Causes et sources	Conséquences
- Etat de pannes	- Panne mécanique -Panne électrique	-Arrêt du système de production -Baisse de rendement
- Etat d'arrêt « l'arrêt des machines »	-coupures d'énergie - manque personnel - déchargement et retard de déchargement -attente de MSF - attache de fil -incendié -l'entretien -condition de climatisation	-Arrêt du système de production -Baisse de rendement - surcharge de travail induisant stress et fatigue -perturbation à la production
- L'état de fil « mauvaise qualité » il faut respecter le numéro métrique	- condition de climatisation -manque de formation -vieillissement des machines « variateur en panne, problème mécanique 'torsion'... »	- Influée sur la cadence de la production -Influée sur la performance de la chaîne de production au niveau de bobinoir et de tissage -Baisse de rendement -influée sur la qualité de tissu

Tableau 17. Evaluation des risques « Filature ».

2. Tissage :

D'une manière analogue tableau 18 représente les risques, causes et conséquences pour l'atelier de tissage.

Risque	Causes et sources	Conséquences
- Etat de pannes	-Panne mécanique -Panne électrique	-Arrêt du système de production -Baisse de rendement
- Etat d'arrêt « l'arrêt des machines »	-Changement article -coupures d'énergie - manque personnel - nouage -rafle chaîne et trame - Manque des pièces de rechange -l'entretien - condition de climatisation	-Baisse de rendement -perturbation à la production -Arrêt du système de production
- l'état du tissu écri	-manque de formation -manque d'information - départ en retraite de la majorité d'effectifs compétant (les tisserands).	- le non qualité du travail. - l'arrêt de machines - augmenter le déchet « stock des tissus écrius défectueux », prend un espace -perte d'argent
- Manque à produire	- départ en retraite de la majorité d'effectifs compétant (les tisserands). -vieillessement des machines -manque des machines à tissu	-la diminution de la production - perte de la clientèle

Tableau 18. Evaluation des risques « Tissage».

3. Finissage

Le tableau 19 représente les causes et conséquences des risques pour l'atelier finissage.

Risque	Causes et sources	Conséquences
- Etat de panne	-Panne mécanique -Panne électrique	-Arrêt du système de production -Baisse de rendement -perturbation à la production
- Etat d'arrêt « l'arrêt des machines »	-Changement article -coupures d'énergie - manque produits chimiques -manque colorants. -vieillessement des machines - Condition climatisation	-perturbation à la production -Arrêt du système de production -Baisse de rendement
- Retour de produits	- la qualité	-perte l'image de l'entreprise -perturbation à la vente -l'influence direct sur le consommateur
- Stock des tissus finis « stock mort »	-concurrence étranger (la chine) -l'absence de gestion de stock -absence de nouvel investissement	-Prend un espace -perte d'argent -80% stock mort -Immobilisation d'argents
- Réduction de la demande « risque client »	-concurrence étranger (la chine) -retard de livraison	-diminution de la demande -perte des clients

Tableau 19. Evaluation des risques « Finissage ».

Dans notre travail, nous nous sommes intéressés aux risques relatif aux arrêts du système de production textile non planifier « **EG** : Etat d'un système de production globale de l'entreprise» (temps d'arrêts), dans l'objectif d'évaluer l'impact d'un mécanisme sur le manque à réaliser.

II.2. Etape 1 : Identification des variables du modèle :

A partir des tableaux de HEMP, nous avons pu identifier trois catégories de variables distinctes: 1- Etat du système de production, 2- les risques (ex : état de panne) et 3- les causes (ex : condition de climatisation), nous allons sélectionnées les variables critique du système de production de chaque atelier (tableaux 20, 21 et 22) chaque variable possède une modalité binaire (ex. observée ou non observée, bonne ou mauvaise).

a) Filature :

Nœud	Variable	Etats (modalités)
E1	Etat du système de production de filature	[Fonctionnement normale ; Fonctionnement anormale]
R1	Etat de pannes	[Observable ; N observable]
R2	Etat d'arrêt « l'arrêt des machines »	[Observable ; N observable]
V1	Panne mécanique	[Observable ; N observable]
V2	Panne électrique	[Observable ; N observable]
V3	Condition de climatisation	[Bonne ; Mauvaise]
V4	manque de personnel	[Oui ; Non]
V5	déchargement et retard de déchargement	[Oui ; Non]
V6	attache de fil	[Oui ; Non]
V7	coupures d'énergie électrique	[Oui ; Non]

Tableau. 20. Variables sélectionnées pour le modèle filature.

b) Tissage :

Nœud	Variable	Etats
E2	Etat du système de production de tissage	[Fonctionnement normale ; Fonctionnement anormale]
R3	Etat de pannes	[Observable ; N observable]
R4	Etat d'arrêt « l'arrêt des machines »	[Observable ; N observable]
V8	Panne mécanique	[Observable ; N observable]
V9	Panne électrique	[Observable ; N observable]
V10	Changement article	[Oui ; Non]
V7	coupures d'énergie électrique	[Oui ; Non]
V11	manque personnel	[Oui ; Non]
V12	rafle chaîne et trame	[Oui ; Non]

Tableau. 21. Variables sélectionnées pour le modèle tissage.

c) Finissage :

Nœud	Variable	Etats
E3	Etat du système de production de finissage	[Fonctionnement normale ; Fonctionnement anormale]
R5	Etat de pannes	[Observable ; N observable]
R6	Etat d'arrêt « l'arrêt des machines »	[Observable ; N observable]
V13	Panne mécanique	[Observable; N observable]
V14	Panne électrique	[Observable ; N observable]
V15	Changement article	[Oui ; Non]
V7	coupures d'énergie électrique	[Oui ; Non]
V16	manque produits chimiques et colorants	[Oui ; Non]
V17	Condition climatisation	[Bonne ; Mauvaise]

Tableau. 22. Variables sélectionnées pour le modèle finissage.

II.3. Etape 2 : Définition de la structure graphique

A partir des tableaux de HEMP, on construit alors le réseau bayésien de chaque activité.

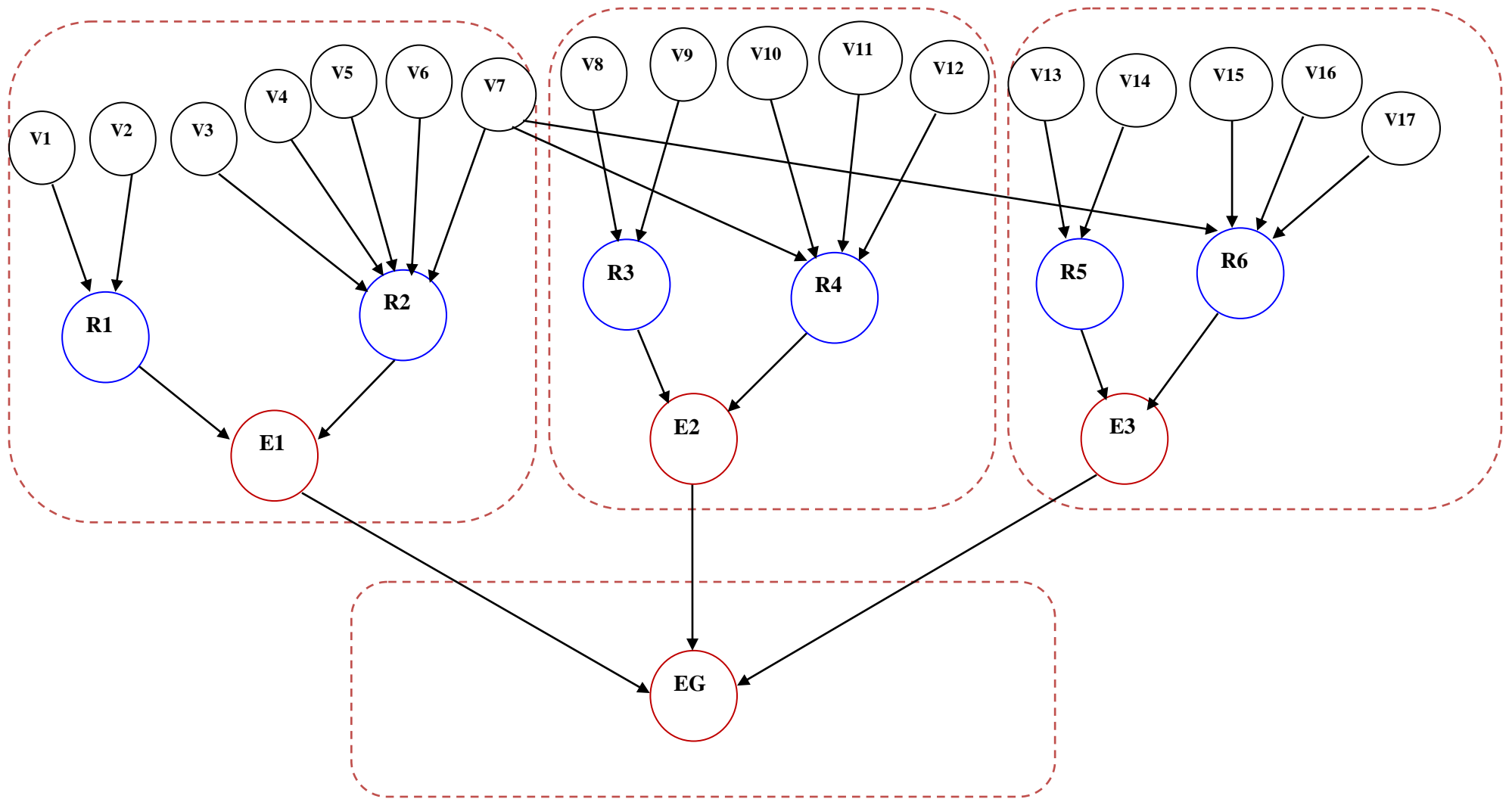


Figure 26. Structure graphique du modèle **EG**.

II.4. Etape 3 : Définition des lois de probabilité

Une fois le réseau construit, on passe à l'étape d'apprentissage de variables des probabilités sur chaque nœud. Cet apprentissage peut se faire soit par un expert soit par une méthode. Dans le cas de notre application nous avons utilisé le maximum de vraisemblance pour faire cet apprentissage. Pour ce qui est des risques et des états nous utilisons l'analyse logique.

La méthode d'estimation statistique qui consiste à estimer la probabilité d'un événement par la fréquence d'apparition de l'événement dans le jeu de données. Cette approche appelée *maximum de vraisemblance* (MV), nous donne alors :

$$P(X_i = x_k / \text{par}(X_i) = X_j) = \theta_{i,j,k}^{MV} = \frac{N_{i,j,k}}{\sum_k N_{i,j,k}} \quad (9)$$

$N_{i,j,k}$ est le nombre d'occurrences où la variable X_i prend l'état x_k et les parents de X_i prennent l'état x_j .

Dans notre cas :

La probabilité des variables est calculer par :

$$P(\text{variables}) = \theta_{i,j,k}^{MV} = \frac{\text{temps d'arrêt}}{\sum \text{temps de marche}} \quad (10)$$

Pour remplir les tableaux des probabilités conditionnelles des risques et des états nous utilisons l'analyse logique, alors la probabilité des risques et des états sont calculer par la loi de probabilité totale qui s'appelle aussi la propriété d'inversion de Bayes.

$$p(A) = \sum_{i \in I} p(A|Bi)p(Bi) \quad (11)$$

II.4.1. Filature :

Le tableau 23 définit les probabilités des variables $p(V_i)$ d'entrées des différents nœuds de l'atelier de filature et 24, 25 et 26 ceux des probabilités conditionnelles.

Nœud		Probabilité $p(V_i)$	Nœud		Probabilité $p(V_i)$
V1	Observable (V1)	0.14	V5	Oui	0.25
	N observable (<u>V1</u>)	0.86		Non	0.75
V2	Observable	0.17	V6	Oui	0.11
	N observable	0.83		Non	0.89
V3	Bonne	0.18	V7	Oui	0.10
	Mauvaise	0.82		Non	0.90
V4	Oui	0.24			
	Non	0.76			

Tableau. 23. Probabilités des variables d'entrée du nœud V_i de modèle filature.

V1	V2	R1	<u>R1</u>
	V2	1	0
V1	<u>V2</u>	1	0
	V2	1	0
<u>V1</u>	<u>V2</u>	0	1

Tableau. 24. les probabilités conditionnelles du nœud R1.

V3	V4	V5	V6	V7	R2	<u>R2</u>
V3	V4	V5	V6	V7	1	0
				<u>V7</u>	1	0
			<u>V6</u>	V7	1	0
				<u>V7</u>	1	0
		<u>V5</u>	V6	V7	1	0
				<u>V7</u>	1	0
			<u>V6</u>	V7	1	0
				<u>V7</u>	1	0
	<u>V4</u>	V5	V6	V7	1	0
				<u>V7</u>	1	0
			<u>V6</u>	V7	1	0
				<u>V7</u>	1	0
		<u>V5</u>	V6	V7	1	0
				<u>V7</u>	1	0
			<u>V6</u>	V7	1	0
				<u>V7</u>	1	0
V4	V5	V6	V7	1	0	
			<u>V7</u>	1	0	
	<u>V6</u>	V7	1	0		
		<u>V7</u>	1	0		

<u>V3</u>		<u>V5</u>	<u>V6</u>	V7	1	0
				<u>V7</u>	1	0
	<u>V4</u>	V5	V6	V7	1	0
				<u>V7</u>	1	0
<u>V3</u>	<u>V4</u>	V5	<u>V6</u>	V7	1	0
				<u>V7</u>	1	0
			V6	V7	1	0
				<u>V7</u>	1	0
		<u>V5</u>	<u>V6</u>	V7	1	0
				<u>V7</u>	0	1

Tableau. 25. les probabilités conditionnelles du nœud R2.

R1	R2	E1	<u>E1</u>
R1	R2	0	1
	<u>R2</u>	0	1
<u>R1</u>	R2	0	1
	<u>R2</u>	1	0

Tableau. 26. Table de probabilités conditionnelles du nœud E1.

II.4.2. Tissage : Le tableau 27 définit les probabilités des variables d'entrées des différents nœuds de l'atelier de tissage et 28, 29 et 30 ceux des probabilités conditionnelles.

Nœud		Probabilité $p(V_i)$
V8	Observable	0.23
	N observable	0.77
V9	Observable	0.11
	N observable	0.89
V10	Oui	0.33
	Non	0.67
V11	Oui	0.11
	Non	0.89
V12	Oui	0.41
	Non	0.59

Tableau. 27. Probabilités des variables d'entrée du nœud V_i de modèle tissage.

V8	V9	R3	<u>R3</u>
	V9	1	0
V8	<u>V9</u>	1	0
	V9	1	0
<u>V8</u>	<u>V9</u>	0	1

Tableau. 28. Table de probabilités conditionnelles du nœud R3.

V7	V10	V11	V12	R4	<u>R4</u>
V7	V10	V11	V12	1	0
			<u>V12</u>	1	0
		<u>V11</u>	V12	1	0
			<u>V12</u>	1	0
	<u>V10</u>	V11	V12	1	0
			<u>V12</u>	1	0
		<u>V11</u>	V12	1	0
			<u>V12</u>	1	0
<u>V7</u>	V10	V11	V12	1	0
			<u>V12</u>	1	0
		<u>V11</u>	V12	1	0
			<u>V12</u>	1	0
	<u>V10</u>	V11	V12	1	0
			<u>V12</u>	1	0
		<u>V11</u>	V12	1	0
			<u>V12</u>	0	1

Tableau 29. Table de probabilités conditionnelles du nœud R4.

R3	R4	E2	<u>E2</u>
R3	R4	0	1
	<u>R4</u>	0	1
<u>R3</u>	R4	0	1
	<u>R4</u>	1	0

Tableau 30. Table de probabilités conditionnelles du nœud E2.

II.4.3. Finissage : Le tableau 31 définit les probabilités des variables d'entrées des différents nœuds de l'atelier de filateur et 32, 33 et 34 ceux des probabilités conditionnelles.

Nœud		Probabilité p(Vi)
V13	Observable(V1)	0.15
	N observable (<u>V1</u>)	0.85
V14	Observable	0.11
	N observable	0.89
V15	Oui	0.16
	Non	0.84
V16	Oui	0.20
	Non	0.80
V17	Oui	0.11
	Non	0.89

Tableau 31. Probabilités des variables d'entrée du nœud Vi de modèle finissage.

V13	V14	R5	<u>R5</u>
	V14	1	0
V13	<u>V14</u>	1	0
	V14	1	0
<u>V13</u>	<u>V14</u>	0	1

Tableau 32. Table de probabilités conditionnelles du nœud R5.

V7	V15	V16	V17	R6	<u>R6</u>
V7	V15	V11	V17	1	0
			<u>V17</u>	1	0
		<u>V11</u>	V17	1	0
			<u>V17</u>	1	0
	<u>V15</u>	V11	V17	1	0
			<u>V17</u>	1	0
		<u>V11</u>	V17	1	0
			<u>V17</u>	1	0
<u>V7</u>	V15	V11	V17	1	0
			<u>V17</u>	1	0
<u>V7</u>	V15	<u>V11</u>	V17	1	0
			<u>V17</u>	1	0
		V11	V17	1	0
			<u>V17</u>	1	0

	<u>V15</u>		V17	1	0
		<u>V11</u>	<u>V17</u>	0	1

Tableau 33. Table de probabilités conditionnelles du nœud R6.

R5	R6	E3	<u>E3</u>
R5	R6	0	1
	<u>R6</u>	0	1
<u>R5</u>	R6	0	1
	<u>R6</u>	1	0

Tableau 34. Table de probabilités conditionnelles du nœud E3.

E1	E2	E3	EG	<u>EG</u>
E1	E2	E3	1	0
		<u>E3</u>	0	1
	<u>E2</u>	E3	0	1
		<u>E3</u>	0	1
<u>E1</u>	E2	E3	0	1
		<u>E3</u>	0	1
	<u>E2</u>	E3	0	1
		<u>E3</u>	0	1

Tableau 35. Table de probabilités conditionnelles du nœud EG.

II.5. Inférence bayésienne :

L'aspect quantitatif de la modélisation étant achevé, il est maintenant possible de poser différentes questions. Il s'agit d'utiliser les moteurs d'inférence afin d'interroger le modèle ; cette inférence permet de propager toute probabilité à priori sur la probabilité des autres nœuds, on obtient un nouveau tableau des probabilités sur chaque nœud, une sorte de nouvel état des lieux. Dans notre cas, on vient de réaliser un modèle de comportement probabiliste par les réseaux bayésiens sur le système de production au niveau de l'entreprise COTITEX Batna.

Pour calculer l'inférence dans notre cas, nous avons opté pour le moteur d'inférence basé sur l'algorithme de jonction qui passe par deux phases :

- 1) **La phase de construction** : c'est la transformation du graphe initial en un arbre de jonction. Cette transformation se fait par les étapes suivant :
 - 5- Moralisation du graphe (figure 27)
 - 6- Triangulation du graphe (figure 28)
 - 7- Création d'un arbre couvrant minimal (arbre de jonction) (figure 29)
- 2) **La phase de propagation** : il s'agit de la phase de calcul probabiliste. (figure 30)

1- Moralisation du graphe :

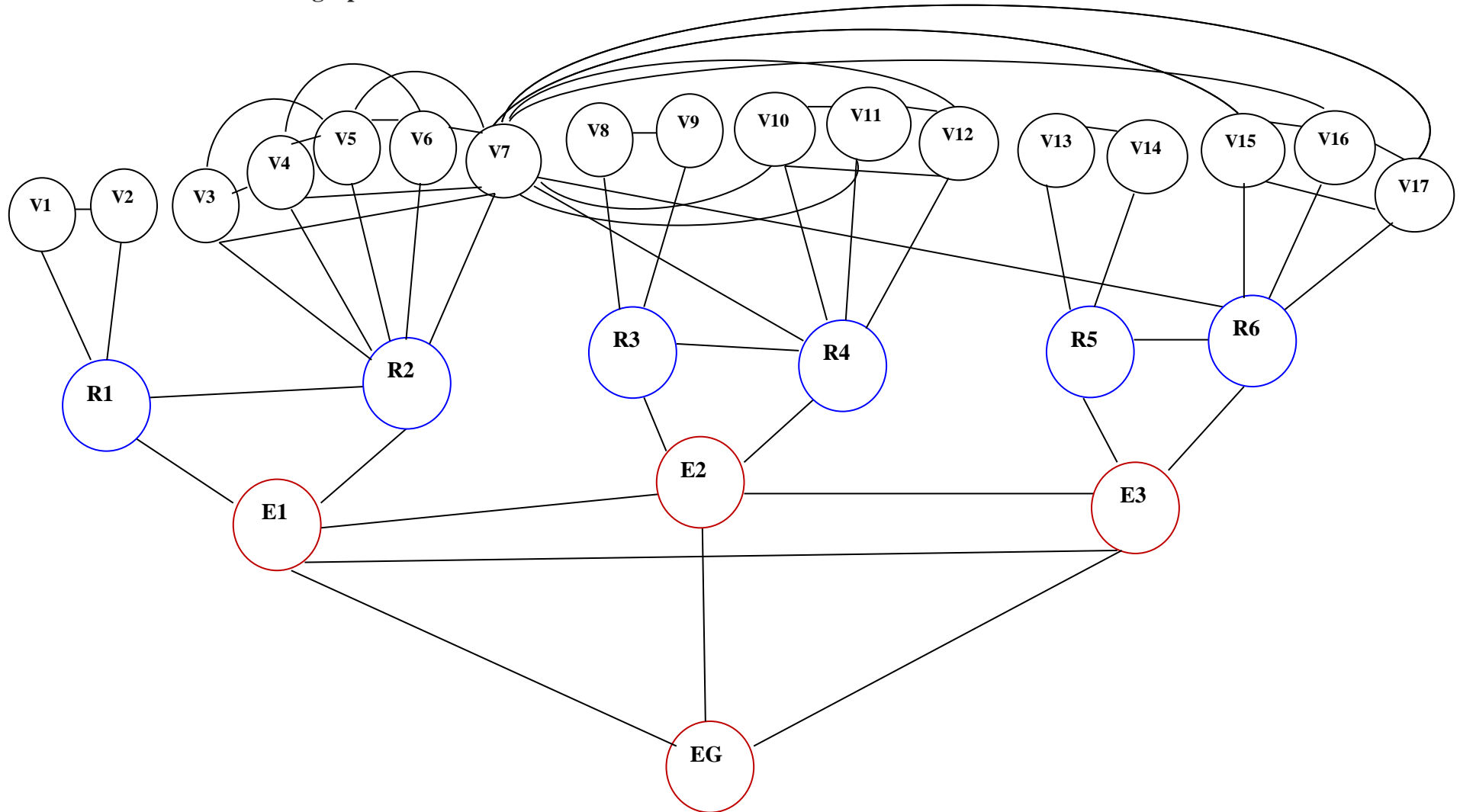


Figure 27. Moralisation d'un graphe EG

2- Triangulation du graphe :

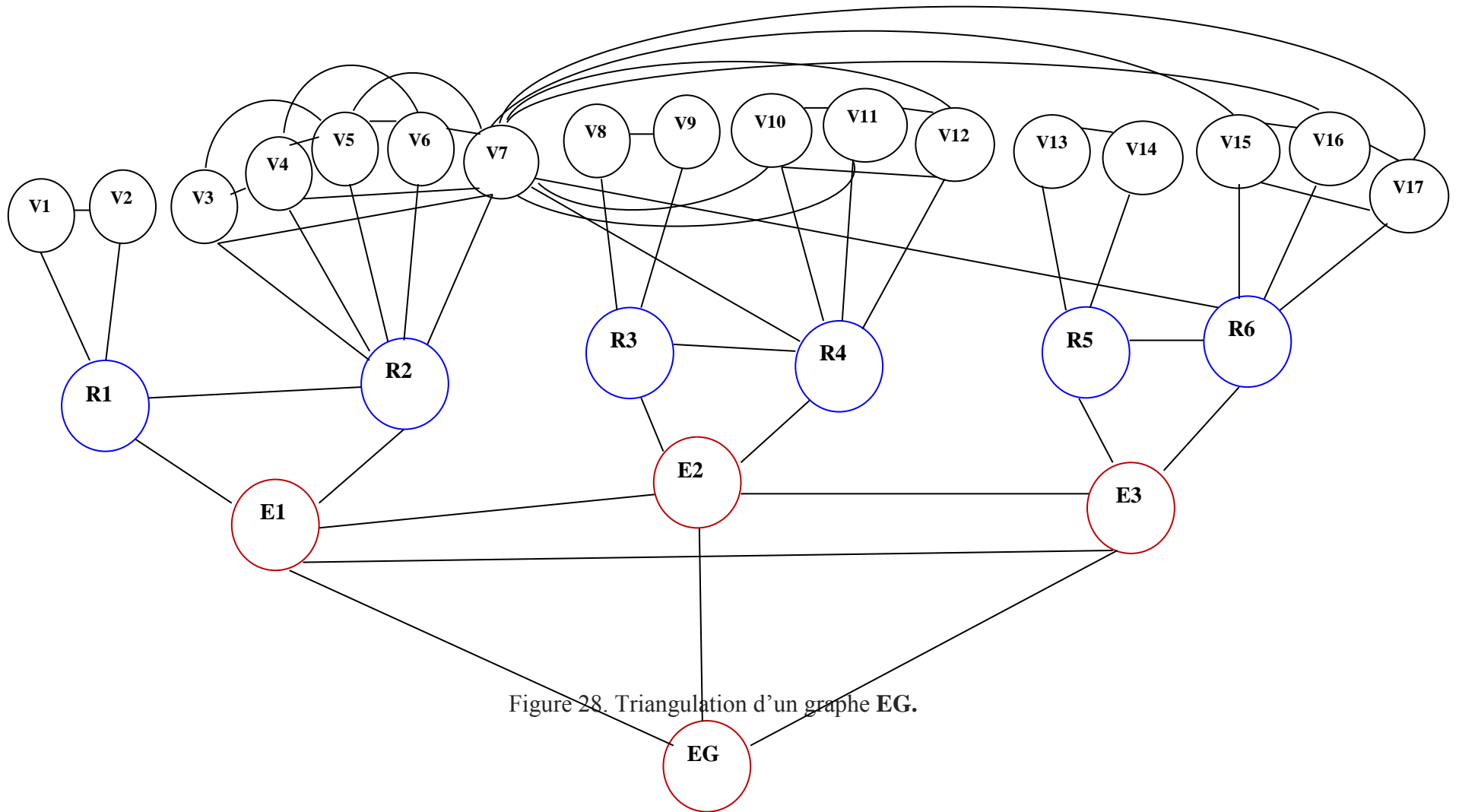


Figure 28. Triangulation d'un graphe EG.

3- Création d'un arbre couvrant minimal (arbre de jonction) :

Nous avons identifié les cliques qui sont représentés dans le tableau 32 :

Clique	Les nœuds
C1	V1, V2, R1
C2	V3, V4, V5, R2
C3	V5 V6 V7 R2
C4	V8 V9 R3
C5	V7 V10 R4
C6	V10 V11 V12 R4
C7	V13 V14 R5
C8	V7 V15 R6
C9	V15 V16 V17 R6
C10	R1 R2 E1
C11	R3 R4 E2
C12	R5 R6 E3
C13	E1 E2 E3 EG

Tableau 32. Les nœuds contenus dans chaque clique.

Après l'identification des cliques, puis les connecter on obtient l'arbre de jonction suivant :
(figure 29)

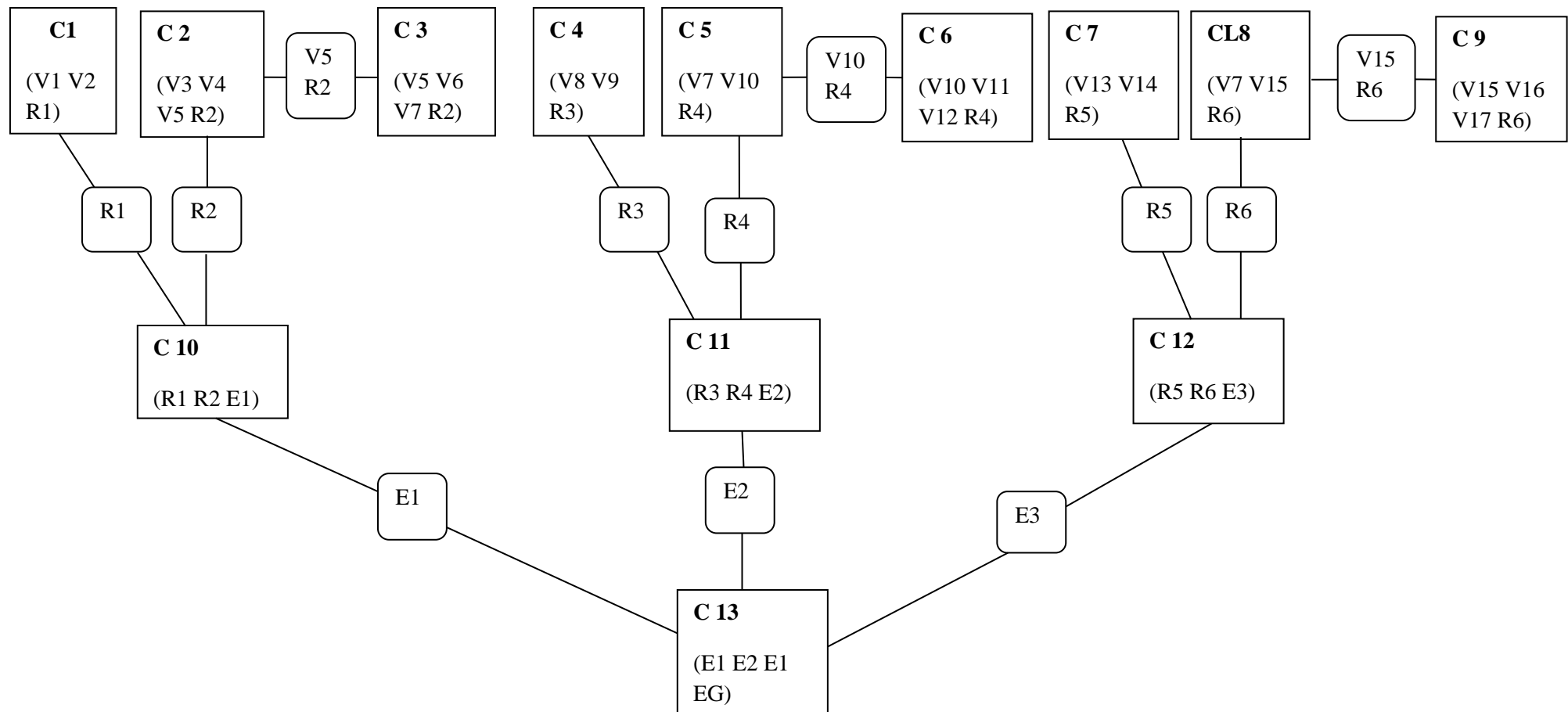


Figure 29. Arbre de jonction

Propagation dans l'arbre de jonction

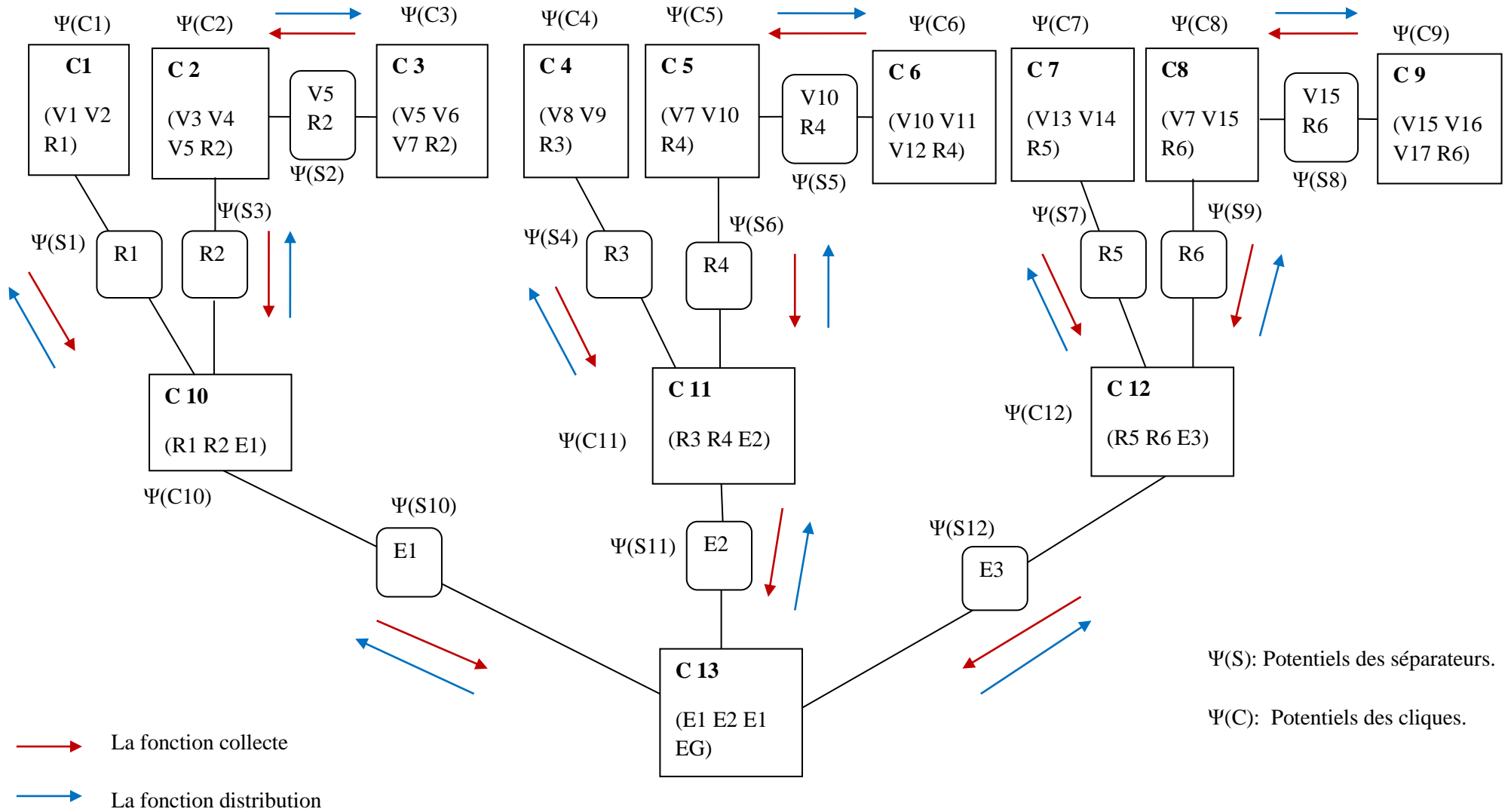


Figure 30. Illustration de l'algorithme d'inférence de Jensen

Pour étudier le problème d'inférence, la phase de propagation dans l'algorithme de l'arbre de jonction « *Jonction Tree* » qui est basé sur la propagation de messages (*message passing*) est difficile à manipuler pour les grands réseaux, pour ce la nous avons utilisé le logiciel BayésiaLab qui permet l'apprentissage automatique des tables de probabilités à partir des données. Le réseau bayésien d'état du système de production COTITEX « EG » avec BayésienLab est représenté sur la figure 32.

Les tables de probabilités a priori étant données, on remplit les tables de probabilités conditionnelles par analyse logique. Par exemple on a l'état d'arrêt des machines « R4 » au niveau de l'atelier de tissage n'est pas observée uniquement si les événements « rafle chaîne et trame, changement d'article, coupure d'énergie électrique, manque personnels » n'observent pas. (figure 31)

Valeurs	Nom de modalités	Modalité de référence	Modalité filtrée	Commentaire
Modalités	Distribution de probabilités		Propriétés	Classes
Probabiliste	Déterministe	Arbre	Équation	
V10	V11	V12	V7	Non obser... Observable
Non	Non	Non	Non	100,000 0,000
		Oui	Non	0,000 100,000
		Non	Oui	0,000 100,000
		Oui	Oui	0,000 100,000
	Oui	Non	Non	0,000 100,000
		Oui	Non	0,000 100,000
		Oui	Oui	0,000 100,000
		Oui	Oui	0,000 100,000
Oui	Non	Non	Non	0,000 100,000
		Oui	Non	0,000 100,000
		Non	Oui	0,000 100,000
		Oui	Oui	0,000 100,000
	Oui	Non	Non	0,000 100,000
		Oui	Non	0,000 100,000
		Oui	Oui	0,000 100,000
		Oui	Oui	0,000 100,000

Figure 31. Tableau de probabilités conditionnelles, sur BayésiaLab.

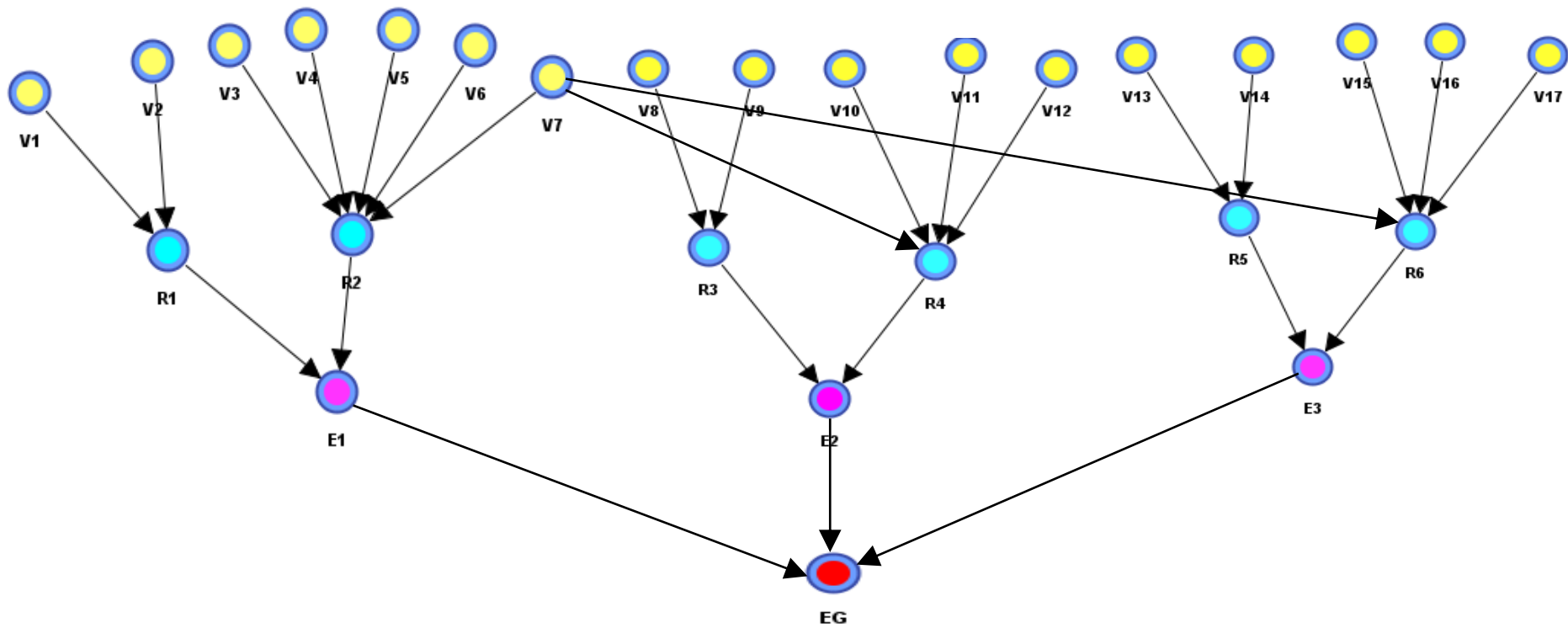


Figure 32. Réseaux bayésien, avec BayésiaLab.

Dans notre travail nous avons évalué l'impact d'un mécanisme de manque à réalisé, par l'utilisation de réseau bayésien. A l'aide de l'inférence bayésien avec BayesiaLab nous avons pu établir un plan d'action qui faciliter cette évaluation et réduire les risques relatif au système de production de l'entreprise COTITEX. (Figure 33)

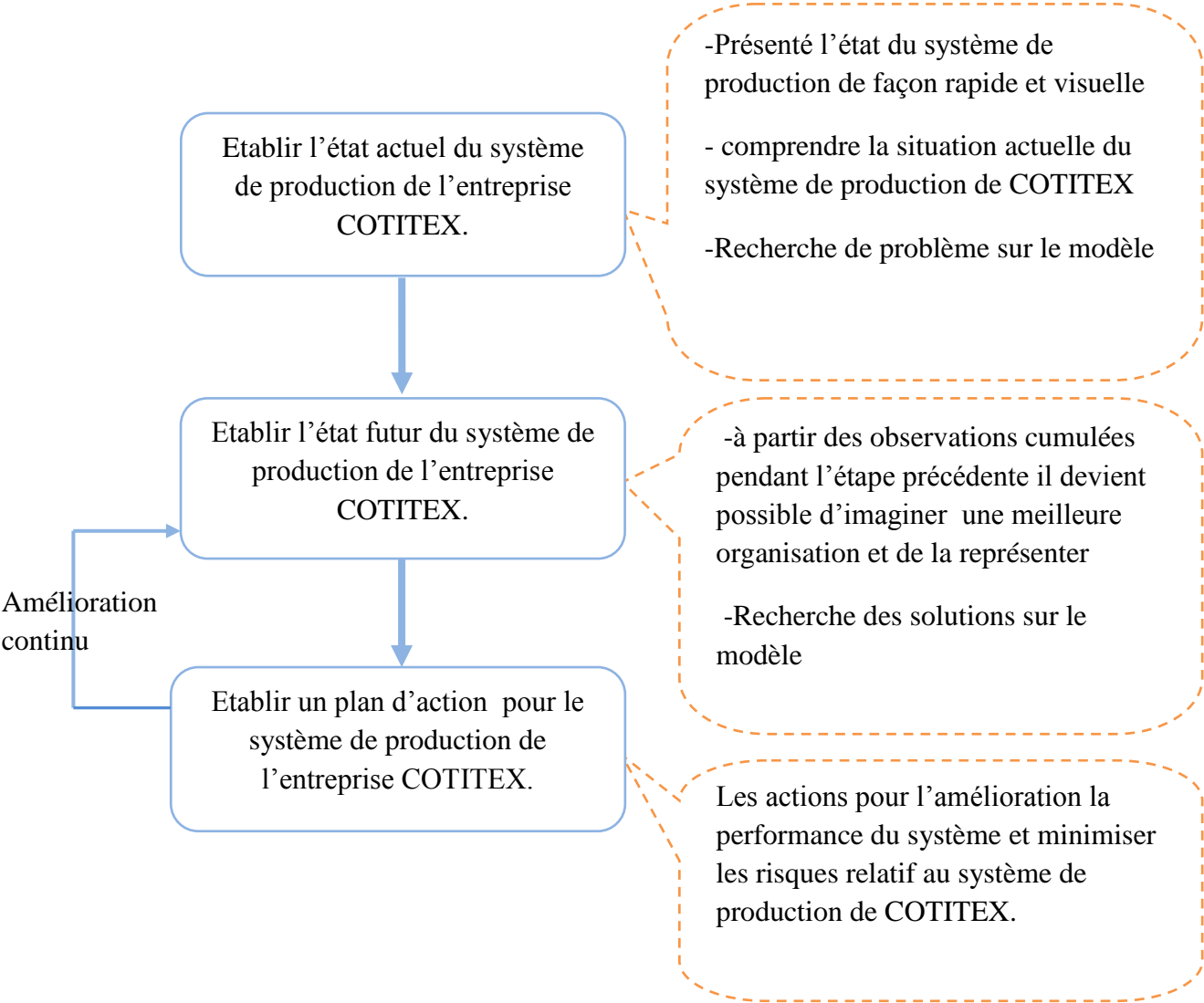


Figure 33. Le plan de contrôle système de production de COTITEX par RB.

II.5. 1. Etablir l'état actuel du système de production de COTITEX:

On procède alors à une première inférence avec le logiciel BayésiaLab, on peut présenter l'état actuel de système de production COTITEX de façon raide et visuelle. (figure 34, 35, 36,37)

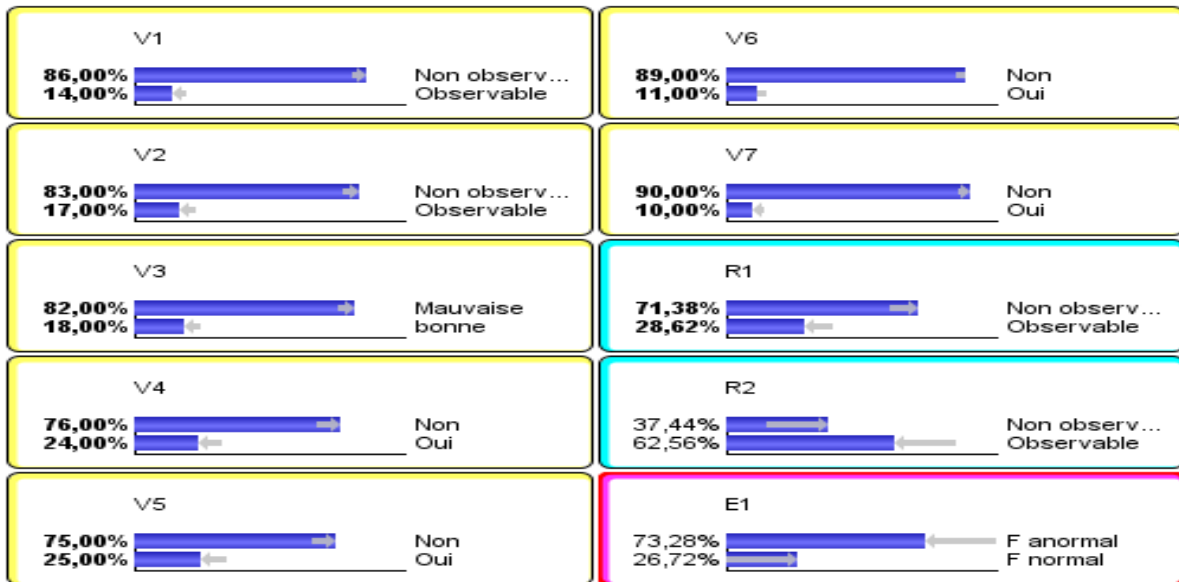


Figure 34. Inférence avec BayésiaLab, pour l'état actuel du système de production de filature.

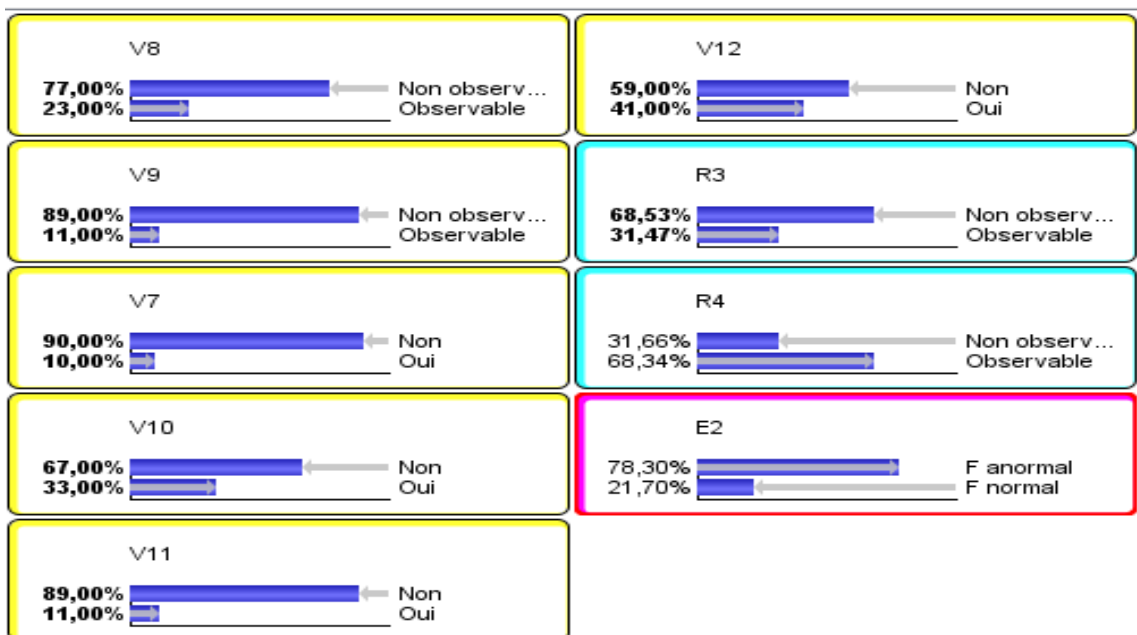


Figure 35. Inférence avec BayésiaLab, pour l'état actuel du système de production de tissage.

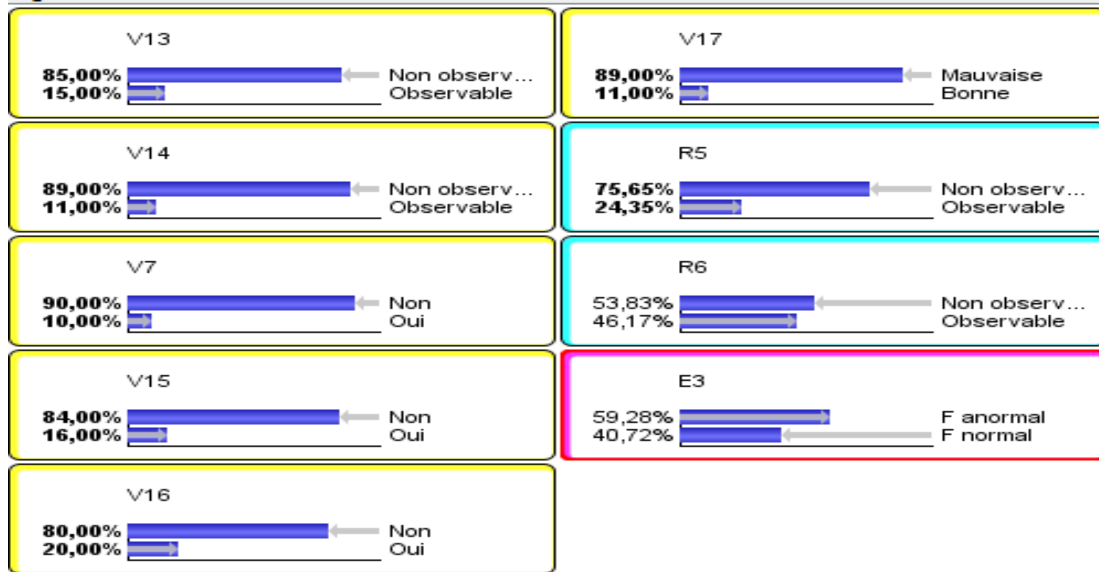


Figure 36. Inférence avec BayésiaLab, pour l'état actuel du système de production de finissage.

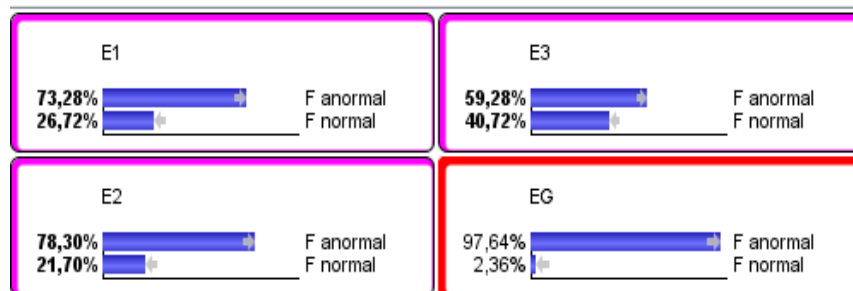


Figure 37. Inférence avec BayésiaLab, pour l'état actuel du système de production textile.

Analyse :

Après cette première inférence, on obtient alors la probabilité d'occurrence des événements recalculés par le théorème de Bayés, c'est-à-dire la productivité du système de production de filature, tissage et finissage s'exprime directement sur les nœuds par la modalité de fonctionnement normal. On obtient ainsi la productivité approximatives respectives de 27 ; 22 et 41%.

La probabilité de fonctionnement normal du système de production globale est très faible. Les éléments les plus influents sur cet état sont les états du système de production de tissage, filature. On retrouve cette analyse sur le graphe suivant représentant la force des arcs.

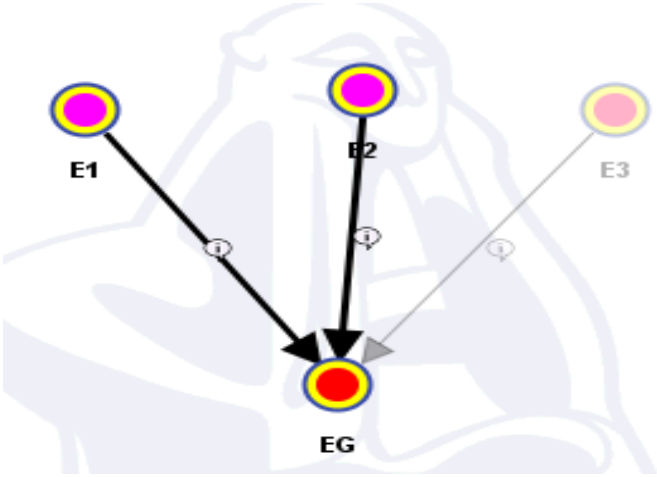


Figure 38. Force des arcs pour le système de production globale.

Avec force des arcs, on retrouve aussi les éléments influents sur les systèmes de production de filature et de tissage représentés dans les figures 39 et 40.

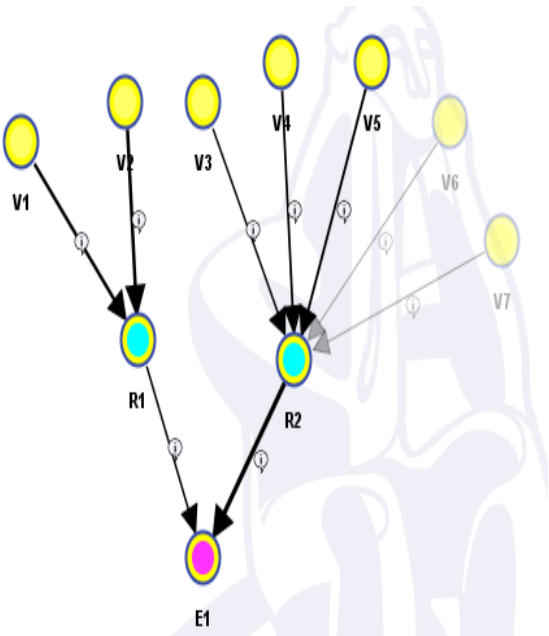


Figure 39. Force des arcs pour la filature.

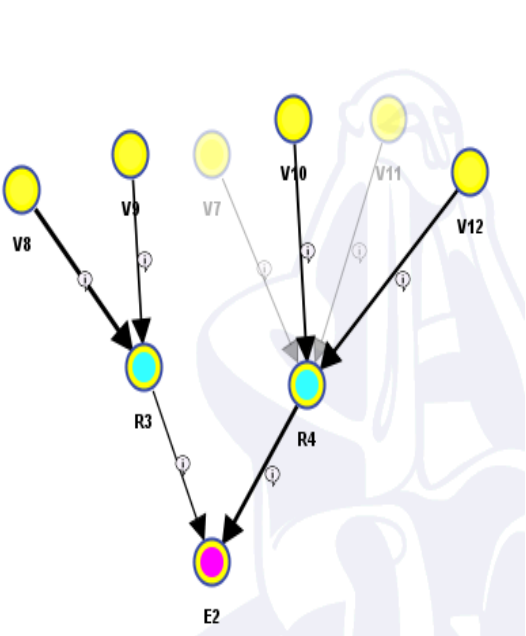


Figure 40. Force des arcs pour le tissage

On a alors la probabilité de fonctionnement normal, donc la productivité du système de production de filature est faible de l'ordre de 27 %. Les éléments les plus influents sur cet état sont : les pannes (mécanique et électrique) et les arrêts de machines a cause (V3 : condition de climatisation, V4: manque personnel et V5 : déchargement et retard de déchargement).

La productivité du système de production de tissage est faible de l'ordre de 22 %. Les éléments les plus influents sur cet état sont : les pannes (mécanique et électrique) et les arrêts de machines a cause (V10 : manque personnel et V12 : rafle chaine et trame).

II.5. 2. Etablir l'état futur du système de production de COTITEX:

A partir des idées et des observations cumulées pendant l'état précédent, on ne peut pas éliminer les éléments les plus influents sur le système de production, puisque le zéro risque n'existe pas alors il faut minimiser ces risques, et pour améliorer la productivité de système de production globale il faut améliorer la productivité de système de production de filature et de tissage. Le meilleur moyen pour éviter les pertes de production c'est-à-dire minimiser le temps d'arrêt du système de production. Il s'agit de fixer une productivité seuil d'un système, donc une probabilité de bon fonctionnement pour le nœud correspondant, puis de renvoyer cette nouvelle donnée sur le réseau bayésien.

Application :

Pour minimiser les risques on met alors la probabilité de fonctionnement anormal du système de production globale de l'entreprise de 98% à 25%. Et par inférence voyons comment se propage cette donnée sur les comportements du système. On retrouve cette analyse sur la figure 41.

On obtient les probabilités de fonctionnement anormal approximatives de filature, tissage et finissage respectives de 18 ; 20 et 15%, le système de production de tissage est l'élément le plus influent sur la productivité du système.

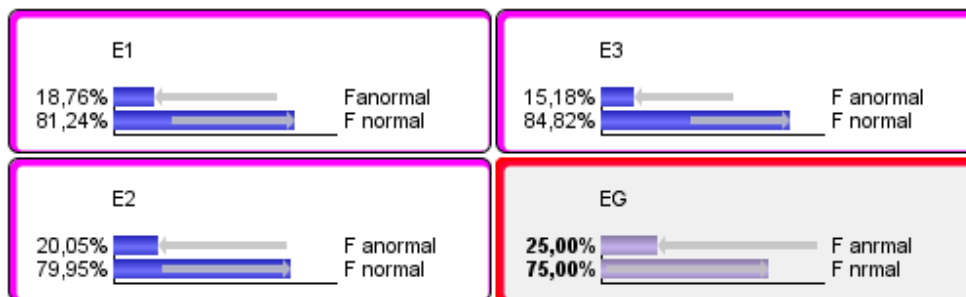


Figure 41. Probabilité de fonctionnement normal de système de production globale fixée à 75%.

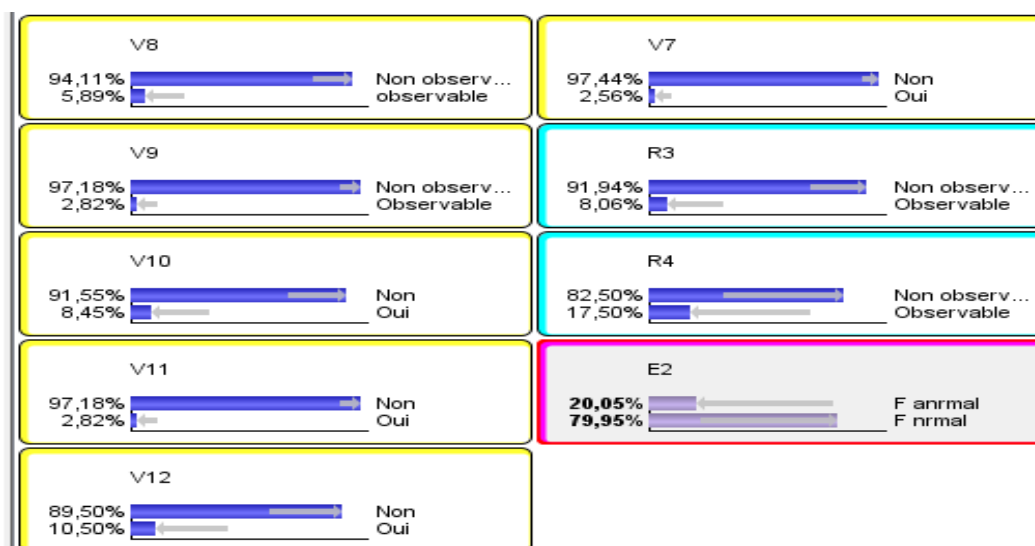


Figure 42. Probabilité de fonctionnement de système de production de tissage.

Pour augmenter la productivité du système de production de tissage à 80% il faut minimiser la probabilité des éléments les plus influents sur cet état, alors il faut minimiser les pannes (mécanique et électrique) et les arrêts de machines a cause (V10 : manque personnel et V12 : rafle chaine et trame).

II.5.3. Etablir un plan d'action pour le système de production de COTITEX :

On peut classer les pertes liées au système de production de COTITEX en trois classes :

1. les pertes dues à l'équipement :

- les pannes (défaillance propre à la machine)
- les arrêts : - Réglages (ajustement des paramètres, ect...)
 - Changement d'outils
 - Démarrage (mise température, ect...)
 - Arrêt programmés (maintenance préventive)
 - Rebuts et retouches

2. les pertes liées aux personnels : Management.

3. Autre catégorie de pertes : Energie (livraison, qualité...)

les pertes liées au système de production		Action de redressement
Les pertes dues à l'équipement	Les pannes	<ul style="list-style-type: none"> - Faire une alternance entre les chaînes du système de production. -Contrôle les machines après et avant l'exploitation, faire une maintenance préventive. -Renouveler le matériel qui dépasse le délai d'amortissement.
	Les arrêts	<ul style="list-style-type: none"> - Renouveler les nouveaux contrats « le recrutement » - Faire la vitesse pendant le déchargement au niveau de l'atelier de filature. - Faire la vitesse pendant le changement d'articles du satin 270 à la cretonne au niveau de l'atelier de tissage. - Approvisionnements des produits chimiques et colorants au niveau de l'atelier de finissage. -Renouvelés le matériel roulant (respecte le délai d'amortissement). -Faire une alternance entre les chaînes du système de production. -Faire une maintenance préventive.
les pertes liées aux personnels	Management	<ul style="list-style-type: none"> - Généraliser la formation au niveau de poste de COTITEX. - Faire l'homme qu'il faut à la place qu'il faut. - Contrat « le recrutement ». - Etablir une fiche d'information de chaque poste de COTITEX pour améliorer les conditions de travail.
Autre catégorie de pertes	Energie (livraison, qualité...)	<ul style="list-style-type: none"> - Améliorer les conditions de travail pour une bonne qualité. - Créé des grossistes (point de vente). - Faire le marketing (la sensibilisation, vente direct au client). -On cherche les besoins de client (politique de crée de nouveau client)

Tableau 34. Plan d'action pour le système de production de COTITEX

III. Conclusion:

On peut conclure que le réseau bayésien est une représentation simplifiée d'un système réel complexe que l'on développe pour répondre à une question donnée. Dans notre travail on a réalisé un modèle de comportement probabiliste par les réseaux bayésiens pour un système de production au niveau de l'entreprise COTITEX Batna, dans l'objectif d'évaluer l'impact d'un mécanisme manqué à réaliser et d'améliorer leur rentabilité de fabrication.

Nous avons étudié le problème d'inférence avec le logiciel BayésiaLab qui permet l'apprentissage automatique des tables de probabilités à partir des données. En effet, sur la base d'une approche bayésien nous avons proposé une méthodologie permettant de contrôler le système de production de COTITEX plus facilement et plus efficacement, à partir de l'état actuel du système de production et de l'identification des éléments les plus influant, et en d'imaginant un état futur du système de production, nous établissons un plan d'action, pour proposé à l'utilisateur les interventions nécessaires ou préventif.

Conclusion générale

Conclusion générale :

Notre travail à consister à proposer une approche basée sur les réseaux bayésiens pour évaluer impact d'un mécanisme manque à réaliser du système de production et de contribuer à l'améliorer la rentabilité de fabrication, ainsi que maitriser leur risque.

La modélisation résultante, issue d'une approche par réseaux bayésiens, et à l'aide de la méthode HEMP présente de nombreux avantages, parmi ces avantage est une méthodologie permettant d'évaluer l'état actuel de système de production et avec les résultats de modèle sont exploité pour proposé à l'utilisateur les interventions nécessaires (diagnostic), et d'autre avantage si l'estimation sur l'état futur du système atteint un seuil critique, ce module alerte à l'utilisateur et lui propose des d'intervention préventif (pronostic).

La méthodologie, à travers les réseaux Bayésien, permet de propager toute nouvelle information qui arrive sur le composant (du bas vers le haut), ou sur le système (de haut vers le bas). Ce qui nous permet à chaque mise à jour du l'état de fonctionnement de système de changer nos probabilité sur la productivité du système de production.

La propagation de l'information va dans les deux sens, ce qui permet avec RB de :

- Modéliser l'état de fonctionnement du système de production.
- Evaluer les conséquences sur le système (diagnostic).
- Imaginer des scénarios redoutés (pronostic).

Et par cette méthodologie doit être disponible au moment opportun en fonction de besoin de contrôle du système de production dans les tous entreprises afin de prendre des décisions et les interventions nécessaire ou préventifs qui conduit à l'amélioration continu et maitriser les risques alors prévoir un meilleur état de fonctionnement des systèmes de production contribuer à l'augmentation de profil des entreprises.

Nous nous sommes en particulier intéressés à la problématique des états des pannes et les états d'arrêt non planifié des machines de production aux niveaux des ateliers de l'entreprise COTITEX-Batna, et des dérives de fonctionnement de système qui sont généralement observés, qui engage la perte de la productivité qui est observés avec retard, lors d'une phase de contrôle sur les produits. Et donc d'intervenir au plus tôt pour minimiser ou éliminer les pertes de production.

Comme perspectives futures envisagées, pour ce travail :

- Elaboration d'un plan de contrôle au sein de l'entreprise pour l'amélioration de la prise en compte de toutes les contraintes liées au fonctionnement et à l'environnement du système de production, permettant ainsi de pouvoir comparer les performances de chaque action de sécurité sur le système, et d'optimiser par la suite les différentes décisions à prendre.
- Proposer une méthodologie basée sur les méthodes d'analyses de risques combinés avec les Réseaux Bayésiens, en intégrant le facteur humain.

Bibliographie

Bibliographie :

- [1] [Xiaojun YE]; « Modélisation et Simulation des Systèmes de Production: une Approche Orientée-objets ». Thèse de doctorat, spécialité : ingénierie informatique : institut national des sciences appliquées de LYON, 1994.
- [2] [Matthieu ROQUE]; « Contribution à la définition d'un langage générique de modélisation d'entreprise ». Thèse de doctorat, Spécialité productique : université Bordeaux1, 2005.
- [3] [[Lazhar BENOUDINA]; « Modélisation et simulation basées multi-agents du contrôle de processus industriel». Mémoire de magistère : Ecole Doctorale de l'informatique INI, Option Sciences et Technologie de l'Information et de la communication. Alger 2009
- [4] [Georges HABCHI]; « Conceptualisation et modélisation pour la simulation des systèmes de production ». Document de Synthèse, Pour l'obtention de l'habilitation a dirigé des recherches, Université de SAVOIE, 2001.
- [5] [Karim TAMANI]; « Développement d'une méthodologie de pilotage intelligent par régulation de flux adaptée aux systèmes de production ». Thèse de doctorat. Université de SAVOIE, Spécialité : Electronique -Electrotechnique – Automatique, 2008.
- [6] [Jean-Christophe CASTILLO]; « Approche et modélisation des processus », cours, formation IUFM, Terminale GSI ; <http://unidentified-one.net>, 2005.
- [7] [Naoufel CHEIKHROUHOU]; « Modélisation et Simulation de Systèmes de Production » ; cours, Dr-Ing, Laboratoire de Gestion et Procédés de Production, MOSISP 2007.
- [8] [Séverine SPERANDIO], « Usage de la modélisation multi-vue d'entreprise pour la conduite des systèmes de production ». Thèse de doctorat, Spécialité productique. Université Bordeaux 1, 2005.
- [9] [Mounir BELAMI, Sami HADAD], Etude de management des risques dans le domaine des hydrocarbures, mémoire d'ingénieur, département Sécurité Industriel, Batna, 2004
- [10] [Abdennebi TALBI]; « Modélisation des systèmes industriels ». Editions universitaires européennes. ISBN: 978- 613-1-59806-7, Ecole Supérieure de Technologie, Fès, 2012.

- [11] [Paul-Marie BOULANGER, Thierry BRECHET], « Une analyse comparative des classes de modèles », rapport de recherche, Action de support PADD I, SSTC. Institut pour un développement durable ; Chaire Lhoist Berghmans, Core – UCL, Bruxelles 2003.
- [12] [Timothée KOMBE]; « Modélisation de la propagation des fautes dans les systèmes de production » ; thèse de doctorat, Électronique, Électrotechnique, Automatique, Spécialité : Automatique Industrielle : institut national des sciences appliquées de LYON, 2011.
- [13] [Xiaolan XIE], « Evaluation des Performances des systèmes de production ».cours, Ecole Nationale Supérieure des Mines, SAINT-ETIENNE, Département Génie Industriel Hospitalier, Centre Ingénierie et Santé ; Master GI 2007.
- [14] [P NAIM, P HENRI, K WUILLEMIN, P LERAY, O POURRET, A BECKER], « Réseaux Bayésiens ». 3^{ème} Edition, Eyrolles. 2007.
- [15] [Toufik AGGAB]; « Evaluation prévisionnelle de la sûreté de fonctionnement d'un système industriel utilisé dans un contexte de maintenance dynamique ». Mémoire de magister, Université M'hamed Bouguerra-Boumerdes, Département maintenance industriel. 2011.
- [16] [Philippe WEBER, Marie-Christine SUHNER], « Modélisation de processus industriels par Réseaux Bayésiens Orientés Objet (RBOO) ». Rapport de recherche (Communication), Manuscrit auteur, publié dans "Revue d'Intelligence Artificielle 18 (2004) 299-326". Centre de Recherche en Automatique de Nancy (CRAN), France. 2004
- [17] [Mourad HOUHOU], « Evaluation de la fiabilité et de la disponibilité des systèmes mécaniques par la méthodologie ArdeBayes ». Mémoire de magister, Université M'hamed Bouguerra-Boumerdes, Département maintenance industriel. 2012.
- [18] [Lobna BOUCHAALA et Slaheddine JARBOUI] ; « Application des Réseaux Bayésiens à la Modélisation et la Planification des Réseaux ». 5th International Conference: Sciences of Electronic, Technologies of Information and Telecommunications, 2009 – TUNISIA
- [19] [G MEDINA-OLIVA, P WEBER, B IUNG], « Modélisation, à base de Réseaux Bayésiens, d'un système de maintenance industriel et de son environnement pour l'évaluation de ses stratégies de maintenance ». 4^{èmes} Journées Doctorales / Journées Nationales MACS, JD-JN-MACS, Marseille : France (2011)

[20] [Alberto PASANISI, Eric PARENT], « Modélisation bayésienne du vieillissement des compteurs d'eau par mélange de classes d'appareils de différents états de dégradation ». Revue de statistique appliquée, tome 52, n°1(2004), société française de statistique.

[21] [Sylvain VERRON], « Diagnostic et surveillance des processus complexes par Réseaux Bayésien » ; Thèse de doctorat ; Ecole doctorale d'Angers, 2007.

[22] [Kamal MEDJAHHER, Amine MECHRAOUI, Nouredine ZERHONI]; « Diagnostic et pronostic de défaillances par réseaux bayésiens ». 4èmes Journées Francophones sur les Réseaux Bayésiens, JFRB'2008, Lyon : France (2008)

[23] [M.-F. BOUAZIZ, E. ZAMAÏ, S. HUBAC] ; « Modélisation de l'état de santé d'un équipement de fabrication par une méthode probabiliste : Application aux ateliers semi-conducteurs ». 9^e Conférence Internationale de Modélisation, Optimisation et Simulation - MOSIM'12- 2012 Bordeaux – France.

[24] [Anass BOUCHIBA]; « Evaluation de dysfonctionnement d'un système par approche Bayésienne : cas du système ferroviaire ». Thèse de doctorat ; Ecole doctorale d'Angers, Ecole doctorale de l'EMI ; 2013.

[25] [Leïla BOUZAIËNE-MARLE] ; « Anticipation du Vieillissement par Interrogation et Stimulation d'Experts ». Thèse de doctorat, Ecole Centrale Paris, discipline : génie industriel, 2005.

[26] [Samira DJEHICHI, Salima ZEGHDANI], « Mécanisme de gestion des risques Industriel Etude de cas : NAFTAL. GPL-Batna », Mémoire d'ingénieur d'état, Université HADJ LAKHDAR-Batna, Département Génie Industriel, 2010.

Annexe

Annexes :

Annexes 1: Atelier filature

La filature est l'étape de transformation du coton brut en fil. Elle se déroule selon les processus suivant.



Processus de battage



Processus de cardage



Processus d'étirage 1^{ère} passage



Processus de banc à brouche



Processus de continu à filer



Processus de bobinoir

Annexes 2: Atelier tissage

Le tissage est l'étape de transformation le fil en tissu. Il se déroule selon les processus suivant :



Processus d'ourdissage.



Processus d'encollage



Processus de rentrage



Processus de tissage

Annexes 3: Atelier finissage

Le finissage est l'étape de transformation le tissu brut en tissu fini. Il se déroule selon les processus suivant:



Processus de flambage



Processus de Débouillissage : (*Blanchiment*)



Processus d'impression



Processus de teinture



Processus de métrage et contrôle