

Formalisation et élaboration d'un cadre applicatif de surveillance dynamique des systèmes de télécommunication basée sur l'intelligence artificielle

Florence OFFOLE^{1*}, Timothée KOMBE² et ATEBA ATANGANA³

¹ *Faculté de Génie Industriel (FGI), Université de Douala, Cameroun*

² *Institut Universitaire de Technologie (IUT), Université de Douala, Cameroun*

³ *Ecole Normale d'Enseignement Technique (ENSET), Université de Douala, Cameroun*

* Correspondance, courriel : florenceoffole@yahoo.fr

Résumé

Nous présentons dans cet article une étude comportementale fonctionnelle d'un système de télécommunication. Il est question de profiter de l'avantage qu'offre l'intelligence artificielle afin d'évaluer la performance de ce système par modélisation et par simulation. L'approche méthodologique consiste à intégrer la logique floue basée sur la méthode de Sugeno dans la surveillance dynamique des systèmes physiques à partir des automates à états finis. Cette combinaison permet d'anticiper sur l'apparition des événements dégradant la performance du système tels que les défaillances et les dysfonctionnements. L'objectif est de maintenir le système en mode de fonctionnement nominal et d'éviter son basculement en mode dégradé.

Mots-clés : *probabilité a posteriori, automates à états finis, intelligence artificielle, surveillance dynamique, système de télécommunication.*

Abstract

Formalization and elaboration of a dynamic framework supervisor of telecommunication systems based on artificial intelligence

In this article we present the study of functional behavior of telecommunication systems. It is about to take advantage on artificial intelligence in order to evaluate the reliability of this system by modeling and simulation. The methodology approach consists to integrate fuzzy logic based on Sugeno approach and finite state automata. The fuzzy logic assures a prediction for the passage from the nominal functional state to degraded one by controlling the appearance of fictitious states at the transitions. This combination provides a means to anticipate on the degradation of system performance such as failures. The objective is to keep the system in the nominal operation mode and avoid it to switch in the degraded mode.

Keywords : *posteriori probability, finite states automata, artificial intelligence, dynamic supervision, telecommunication system.*

1. Introduction

La complexité de plus en plus croissante des systèmes industriels, ajoutée aux contraintes liées à la compétitivité et à la législation en vigueur en termes de respect de l'environnement, ont poussé les industriels et la communauté scientifique à chercher des solutions pouvant rendre ces systèmes plus performants, plus compétitifs et plus sûrs. La performance est la motivation essentielle de toute entreprise [1]. En effet, toute action menée est dictée soit par une volonté de performance, soit par une finalité de pérennité [2]. Les entreprises utilisent depuis longtemps des indicateurs de performance de nature généralement financière. En revanche, si la performance continue d'être exprimée en termes de profitabilité, elle ne se décline plus seulement en fonction du coût comme à l'époque taylorienne (organisation méthodique du travail destinée à accroître le rendement), mais aussi en fonction de critères supplémentaires, tels : la qualité, le délai, l'innovation, etc. [3 - 5]. L'évaluation de performance est un problème ardu car nécessitant de prendre en compte les différentes parties constitutives d'un système (humaines, organisationnelles, techniques), participant de manière différenciée à sa performance globale [6]. Dans le domaine de la télécommunication, les entreprises ont toujours une fausse idée reçue que « la communication ne se mesure pas ».

Or, l'évaluation est toujours possible et presque toujours quantifiable [7]. Les indicateurs de performance doivent être capables de mesurer l'atteinte des objectifs de communication et de rendre les résultats compatibles avec les autres indicateurs qualité. Pour cela, l'indicateur doit être pertinent, fiable et compréhensible [8]. La performance d'un système de télécommunication s'obtient par l'accroissement de sa capacité et / ou la couverture de son réseau. Notons que le nombre d'appels actifs ne donne pas la capacité réelle du système, car elle est limitée par les interférences [9]. Ces interférences peuvent être dues aux bruits thermiques, interférences provoquées par les utilisateurs, pertes de propagation dues à la distance, atténuations induites par les obstacles et évanouissements suscités par l'existence de trajet multiples. Tous ces paramètres ne garantissent pas une bonne performance du système de télécommunication et ne garantissent pas non plus une communication sans interruption. Cependant, la gestion dynamique de la capacité des systèmes de télécommunication reste un défi majeur à relever par les opérateurs Télécoms, qui doivent prendre en compte l'intérêt de l'intelligence artificielle dans la surveillance de ces systèmes.

La surveillance des systèmes gagne beaucoup d'importance dans les domaines de télécommunication en raison de la nécessité d'augmenter la fiabilité de ces systèmes et de diminuer les pertes. Cependant, beaucoup d'indicateurs de performance disponibles (fiabilité, disponibilité, continuité, etc.) exigent actuellement beaucoup d'expertise pour leur application avec succès [10]. La logique floue [11] constitue l'une des approches qui, tout compte fait, ne sont pas nouvelles. Leur développement se fait à travers les méthodes par lesquelles l'homme essaye de copier la nature et de reproduire des modes de raisonnement et de comportement qui lui sont propres. La surveillance floue offre des informations raffinées pour l'analyse optimale des indicateurs de performances du système et l'une bonne prise de décision. La notion de valeurs floues ici, introduite par L. A. Zadeh, fait appel à l'idée d'appartenance partielle à une classe, de catégorie aux limites mal définies, de gradualité dans le passage d'une situation à une autre, dans une généralisation de la théorie classique des ensembles, admettant des situations intermédiaires entre le tout et le rien. Notre objectif dans ce travail est d'appliquer l'approche qualitative qui exploite les données disponibles pour faire de l'apprentissage ou encore, l'expertise qu'on a du système, pour construire des règles, afin d'améliorer les performances des systèmes de décision qui utilisent cette modélisation.

2. Méthodologie

2-1. Intégration de l'Intelligence Artificielle dans la Surveillance dynamique des systèmes de télécommunication

L'utilisation des outils de l'intelligence artificielle convient pour l'évaluation de performance des systèmes de télécommunication. L'intérêt de leur utilisation est indéniable. La majorité des systèmes se base sur des outils informatiques qui couplent des méthodologies de l'intelligence artificielle, comme la logique floue, les systèmes experts [12] et les réseaux de neurones [13]. Pour surveiller en continu l'évolution d'un système de télécommunication et déterminer les causes d'apparition des événements indésirables (interférence, instabilité, saturation, perturbation), il est intéressant d'utiliser au mieux toutes les informations disponibles, qu'elles soient numériques (données capteurs), que symboliques (historiques, environnements, réparations effectuées, etc.). La surveillance en télécommunication est un dispositif passif, informationnel, qui analyse l'état du système et fournit des indicateurs (fiabilité, disponibilité, qualité de service, stabilité, sensibilité). La surveillance en télécommunication consiste notamment à détecter et à classer les défaillances en observant l'évolution du système, puis à les diagnostiquer en localisant les éléments défaillants et en identifiant les causes premières de leur apparition.

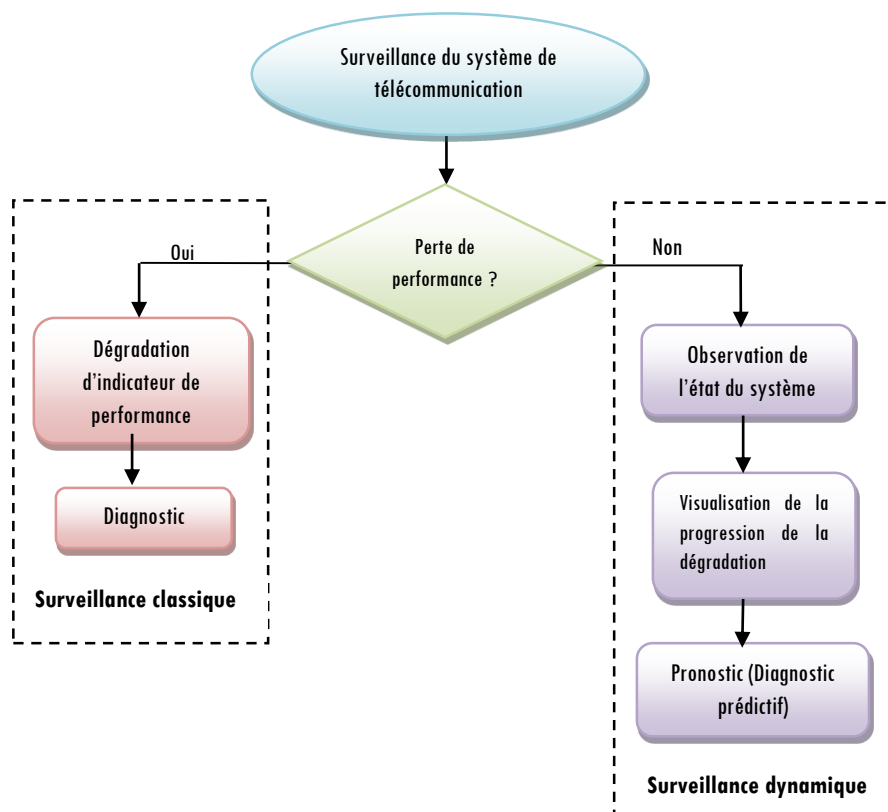


Figure 1 : *Surveillance classique et surveillance dynamique d'un système de Télécommunication*

Tout comme la surveillance classique, la surveillance dynamique (prédictive) est un dispositif passif, informationnel, qui analyse les états présent et passé du système et fournit des indicateurs sur les tendances d'évolution future. La surveillance prédictive se compose de la visualisation de la progression de la dégradation qui est une détection prédictive (dynamique) et du diagnostic prédictif, appelé aussi pronostic [14] (**Figure 1**).

Dans le cadre d'une application à la surveillance dynamique en télécommunication, les techniques d'identification doivent être appliquées durant le fonctionnement du système et les paramètres (indicateurs de performance) le caractérisant doivent être identifiés régulièrement, afin de pouvoir suivre et détecter les évolutions du système en cours de surveillance. Les techniques d'identification récurrente «dynamique» sont particulièrement adaptées à ce type de problématique. Qu'elles soient basées sur une approche entrée-sortie que sur une approche d'état [15], elles permettent de mettre à jour le modèle à chaque nouvelle acquisition.

2-2. Formalisation du processus de pronostic industriel

Le comité ISO définit le pronostic comme : « L'estimation de la durée de fonctionnement avant défaillance d'un système et du risque d'existence ou d'apparition ultérieure d'un ou de plusieurs modes de défaillance » [16]. Le pronostic est assimilé à un "processus de prévision" : une situation future doit être identifiée. En plus, les interprétations du pronostic sont fondées sur la notion de dysfonctionnement (ou défaut, ou dégradation), ce qui implique que la situation "prédite" est associée à un degré d'acceptabilité (car un système doit exécuter une fonction exigée). L'objectif du pronostic est d'identifier les causes et de localiser les organes qui ont entraîné une dégradation particulière [17]. Nous considérons ainsi que le pronostic devrait être basé sur les critères de prévision et d'évaluation, dont les limites dépendent du système de télécommunication lui-même et des objectifs d'exécution. Ceci suppose évidemment que la situation actuelle peut être appréhendée (pratiquement, c'est la synthèse d'un procédé de détection et des données mesurées du système de télécommunication) (*Figure 2*). De plus, ce n'est pas tant la notion de défaillance au sens de perte totale de l'aptitude à accomplir une mission qui est pertinente, mais plus celle de perte de performance.

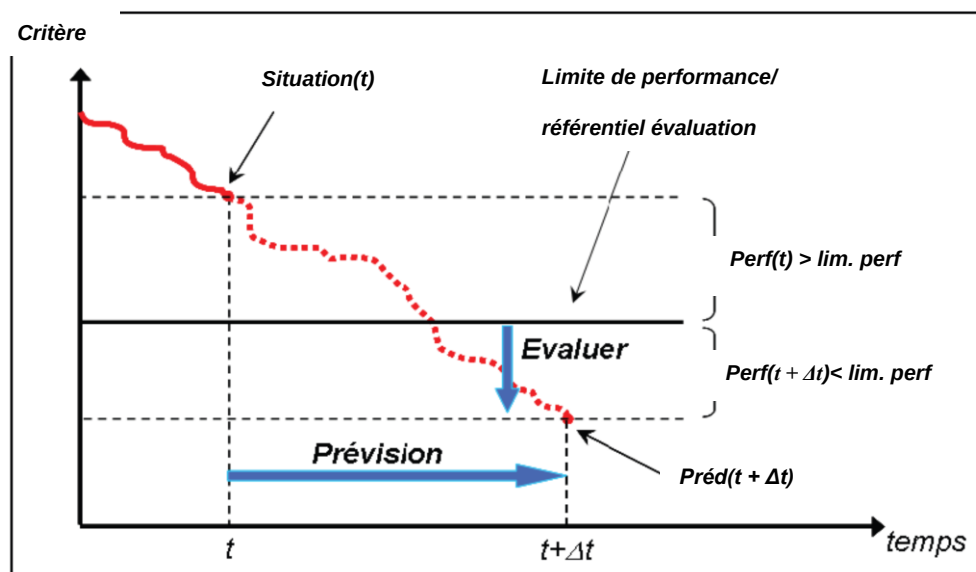


Figure 2 : Le concept de pronostic

La *Figure 2* illustre une proposition de situation "prédite" à $t + \Delta t$ qui n'est considérée que du fait de la limite de dégradation considérée du point de vue objectif de performance. Autrement, si ce seuil n'existait pas, il serait impossible de conclure quand est-ce que l'on est en présence de la situation prédite et donc impossible d'évaluer le degré de gravité de cette situation. Le processus de maintenance pourrait alors en être affecté.

Ainsi, le pronostic en télécommunication sera découpé en 2 sous-activités d'après la **Figure 3**:

- une première sous activité pour prévoir l'évolution d'une situation à un moment donné ;
- une seconde pour évaluer cette situation par rapport à un référentiel décisionnel.

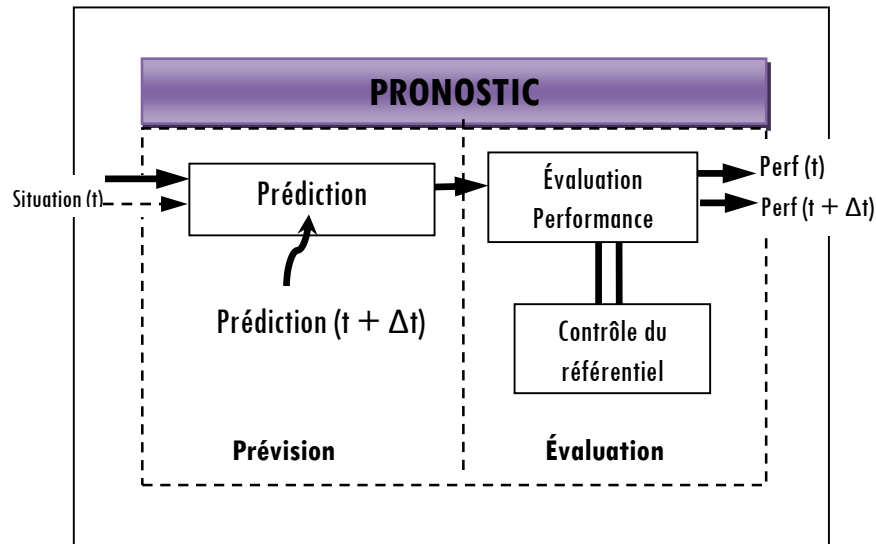


Figure 3 : *Pronostic-processus de prévision et d'évaluation*

L'étape de prévision doit permettre de déterminer l'état futur du système de télécommunication de manière la plus proche possible de la réalité. Au niveau de l'évaluation, les valeurs prévues doivent être estimées quantitativement et qualitativement : références, temps prévu avant le dysfonctionnement, confiance, précision. Ainsi, le sous-processus de prévision dans le système de télécommunication informe sur un phénomène (des données à l'information), alors que l'évaluation permet de l'interpréter et d'agir d'une manière proactive (de l'information à la connaissance). Dans le système de télécommunication, les aspects tels que : la détection, le diagnostic et le pronostic peuvent être expliqués comme suit :

- la détection vise à identifier le mode de fonctionnement du système à partir de la surveillance du processus, c'est à dire, en identifiant son état actuel ;
- en supposant qu'un dysfonctionnement soit intervenue, le diagnostic permet d'en d'identifier les principales causes (des effets aux causes : rétropropagation) ;
- le pronostic traite de la prévision des états futurs du système (des causes aux effets : propagation) en deux étapes : premièrement la situation est prévue à temps et, deuxièmement la situation est évaluée par l'utilisation des critères d'évaluation.

Ainsi, le sous- processus de prévision dans le système de télécommunication informe sur un phénomène (des données à l'information), alors que l'évaluation permet de l'interpréter et d'agir d'une manière proactive (de l'information à la connaissance). La prise de décision est embarquée dans l'élément réseau qui pourra ainsi devenir autonome et réactif à une situation problématique. Cette approche permet de garantir en permanence un certain niveau de satisfaction pour l'utilisateur du réseau et pour l'opérateur.

2-3. Prise de décision par logique floue pour la maîtrise de l'erreur de prédiction

Globalement, on distingue deux approches: l'approche quantitative utilisant principalement des modèles analytiques (espace de parité, observateurs, estimation des paramètres, etc.), et l'approche qualitative faisant appel à des méthodes sans modèles analytiques (basées essentiellement sur les techniques de l'intelligence artificielle). L'approche qualitative exploite les données disponibles pour faire de l'apprentissage ou encore, l'expertise qu'on a du système, afin de construire des règles. Elle explique comment la logique floue atteint leurs décisions [15]. D'où l'importance d'un raisonnement avec des informations précises. La logique floue a été développée afin de modéliser la représentation humaine des connaissances et ainsi améliorer les performances des systèmes de décision qui utilisent cette modélisation [12]. Ces derniers permettent de représenter graphiquement cette connaissance en tenant compte des incertitudes et des imprécisions. Il s'agit principalement d'exploiter la structure graphique du modèle obtenu et d'utiliser les algorithmes d'inférence existants, pour calculer des probabilités a posteriori de l'état des composants du système, suite à une ou plusieurs observations. [2] montre que le processus décisionnel joue un rôle important dans le succès de toute entreprise particulièrement celle des télécommunications, et pratiquement tous les processus d'ingénierie impliquant différentes activités itératives et complexes de prise de décision. La base du processus de décision est le classement des nombres flous. L'application de la logique floue permet de prendre des décisions meilleures et plus précises en raison de la large gamme de réponses possibles qui peuvent être traitées. L'application de la logique floue permet de prendre des décisions meilleures et précises en raison de la large gamme de réponses possibles qui peuvent être traitées. Les systèmes de la logique floue peuvent raisonner avec l'information imprécise et expliquer leurs décisions. Dans la prise de décision par logique floue, le concepteur d'un système flou doit faire un nombre de choix importants. Ces choix se basent essentiellement sur les conseils de l'expert ou sur l'analyse statistique des données passées, en particulier pour définir les fonctions d'appartenance et la maîtrise des décisions. La capacité à transformer des données bruitées en information pertinentes pour des décisions de diagnostic/pronostic est un autre avantage pouvant être souligné. La conception de contrôleur flou est constituée de cinq étapes qu'il faut suivre pour aboutir à la sortie d'un système flou (*Figure 4*).

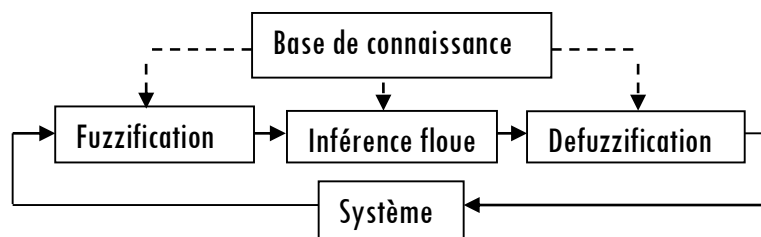


Figure 4 : Aperçu synoptique d'un système flou

2-3-1. Phase d'analyse des dysfonctionnements

Cette étape a pour objectif l'identification des dysfonctionnements pouvant affecter la mission du système de télécommunication. Cette analyse est grandement facilitée par la reconnaissance des modèles structurels et fonctionnels de l'installation. L'analyse des dysfonctionnements est modélisée par des graphes d'états qui permettent d'établir les liens entre les composants défaillants et les symptômes observés. Ces liens sont représentés sous formes de règles floues construisant la base de connaissances.

Nous obtenons alors un système flou constitué d'éléments d'entrées et sorties, créés pour en faire le diagnostic. Les règles qui sont créées avec le système sont des connaissances a priori, c'est à dire la base de règle a priori. Chaque variable ayant une partition initiale sera modifiée au long de la phase d'apprentissage (nombre d'ensembles flous pour chaque variable). Le raisonnement pour le diagnostic est décrit sous forme de règles floues à l'intérieur du système flou. L'avantage principal de l'utilisation de la base de règles floues réside dans sa modularité et sa facilité d'extension (suppression ou rajout d'autres règles). La base de règles initiale pour établir le diagnostic des défaillances est construite en exploitant le modèle élaboré en phases de dysfonctionnement (graphe d'état). En effet, cette analyse permet d'établir les liens entre les composants défaillants et les symptômes observés. Ces liens seront représentés sous formes de règles floues construisant la base de connaissances qui sera apprise plus tard et ensuite testée, pour effectuer les raisonnements flous nécessaires afin d'aboutir aux résultats exprimant la fonction de diagnostic prédictif. Cela permettra de savoir à la sortie, si le fonctionnement est normal (nominal) ou dégradé (anormal). Et si le fonctionnement est dégradé, les paramètres (apprentissage) seront modifiés jusqu'à l'obtention du critère désiré.

2-3-2. Surveillance des systèmes physiques à partir des automates à états finis : cas des réseaux de télécommunications

L'objectif est de surveiller à partir d'un ensemble d'observations (souvent datées ou au moins ordonnées) le fonctionnement d'un système physique, de détecter un éventuel dysfonctionnement, de le caractériser en localisant le ou les composants défectueux et de préconiser l'action (ou la suite d'actions) qui semble la plus appropriée au maintien des fonctionnalités du système. Concernant la surveillance du système de télécommunications, deux types d'approches sont expérimentés pour la surveillance de ces réseaux. La première approche est de type reconnaissance de scénarii. Elle tire parti de l'efficacité de ce type de méthodes pour satisfaire aux contraintes temps réel. Un des points importants est l'acquisition automatique de ces scénarii, afin, en particulier, de pouvoir prendre en compte l'évolution technologique rapide des systèmes considérés. Nous privilégions une approche de type apprentissage supervisé en nous appuyant sur les modèles décrivant leur fonctionnement. L'acquisition des scénarii se fait à partir des données résultant de la simulation des dysfonctionnements et fait appel à des techniques d'apprentissage.

La seconde approche consiste à produire directement un automate diagnostiqueur à partir de l'automate modélisant le comportement du système. Les travaux actuels ont pour objectif la construction de diagnostiqueurs génériques (pour ne pas avoir à représenter l'ensemble des comportements de chacun des composants mais uniquement leurs classes de comportement), ainsi que de diagnostiqueurs décentralisés (afin de pouvoir répartir une partie du diagnostic au niveau des composants eux-mêmes en s'appuyant sur des diagnostiqueurs locaux). Les automates temporisés [18] ont été proposés pour décrire le comportement des systèmes en intégrant l'écoulement du temps. Un automate temporisé est un automate fini auquel on a été ajouté un ensemble d'horloges [19] i.e., des variables réelles positives qui évoluent uniformément avec le temps-réel. Le passage d'un nœud de l'automate à un autre via une transition est instantané (*Figure 5*). Le temps ne peut donc s'écouler que dans les nœuds. Chaque nœud est étiqueté par un invariant (condition booléenne sur les horloges) qui conditionne son occupation. Un nœud ne peut être occupé que si son invariant est satisfait.

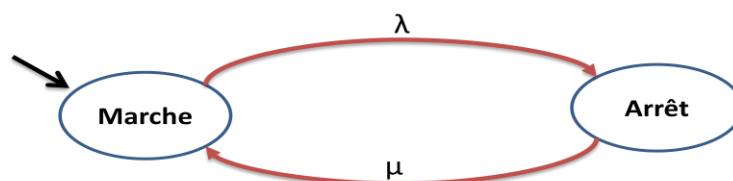


Figure 5 : Automate d'états

2-4. Modélisation comportementale des systèmes de Télécommunication par intégration de la logique floue

La modélisation permet de connaître les comportements fonctionnel et dysfonctionnel du système de télécommunication. Les indicateurs visent principalement à vérifier l'accessibilité du service, sa continuité, sa disponibilité et sa fiabilité. Ils portent aussi bien sur la voix (taux d'échec, taux de coupure, taux de réussite, etc.) que sur les transmissions de données (délai de connexion, délai de téléchargement, taux de réception, débit de transmission, taux d'erreurs de données, etc.) et visent à garantir un niveau satisfaisant de la qualité de service aux clients. Les outils de l'Intelligence Artificielle ont été intégrés, afin d'assurer une prise de décision au niveau des transitions entre le mode nominal (marche) et le mode dégradé (arrêt) (**Figure 5**). Nous intégrons les modèles Coxians pour représenter la dynamique des événements à l'intérieur des transitions. Cette modélisation consiste à remplacer une transition à taux non constant entre deux états par une combinaison de transitions à taux constants entre des états fictifs générés par cette dynamique. Elle permet de modéliser les transitions quelconques à savoir les taux de défaillances croissants relatifs à un phénomène d'usure ou de détérioration (**Figure 6**). Ainsi, la logique floue sera combinée aux méthodes à états fictifs pour le contrôle de l'évolution des comportements fonctionnel et dysfonctionnel du système. Elle permettra de prendre de bonnes décisions et connaître les actions à mener, ceci pour la bonne marche du système. Le but est d'éviter que le système ne bascule en mode dégradé.

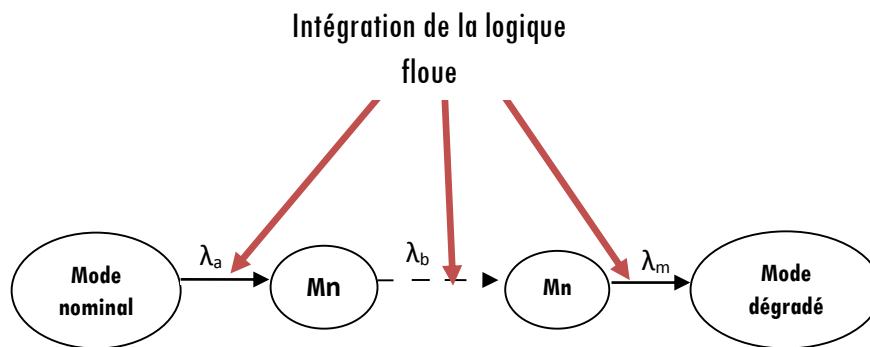


Figure 6 : Intégration de la logique floue dans un automate de mode

Dans la **Figure 6**, Lambda (λ) est le taux de défaillance, et les $Mn_{1...m}$ renvoient aux différentes étapes intermédiaires que peut prendre le mode nominal (états fictifs) qui évolue avec le temps vers le mode dégradé. Il est alors influencé par certains paramètres tel que les interférences, les perturbations, les saturations qui peuvent conduire le système de télécommunication vers le mode dégradé. L'intégration de ces outils en tenant compte des indicateurs de performance, va permettre une surveillance efficace du système.

3. Résultats et discussion

La conception de contrôleur flou est basée sur des concepts tels que la fuzzification, l'inférence floue et la defuzzification. La fuzzyfication est le processus qui consiste à transformer une grandeur numérique en un sous-ensemble flou. Pour cela, la valeur numérique est quantifiée avec un terme linguistique. Comme paramètres d'entrées, nous avons cinq indicateurs de performances à savoir : la stabilité, la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et l'efficacité.

3-1. Phase de choix

Après avoir donné la structure du système, nous avons besoin d'associer à chaque variable d'entrée un nombre fini d'ensembles flous et utiliser le type de fonction d'appartenance associée, et aussi l'intervalle de définition des variables et ou ensembles flous. Les variables d'entrées sont les indicateurs de performances, et les ensembles flous sont : faible, moyenne, bonne et excellente. Cette répartition est faite avec les fonctions d'appartenance associées aux ensembles flous. Le degré d'appartenance à un ensemble flou est matérialisé par un nombre compris entre 0 et 1. Une valeur précise de la fonction d'appartenance liée à une valeur de la variable est notée μ et appelée « facteur d'appartenance ». Lorsque nous subdivisons toutes les entrées en sous-ensembles flous, nous obtenons la **Figure 7** ci-dessous :

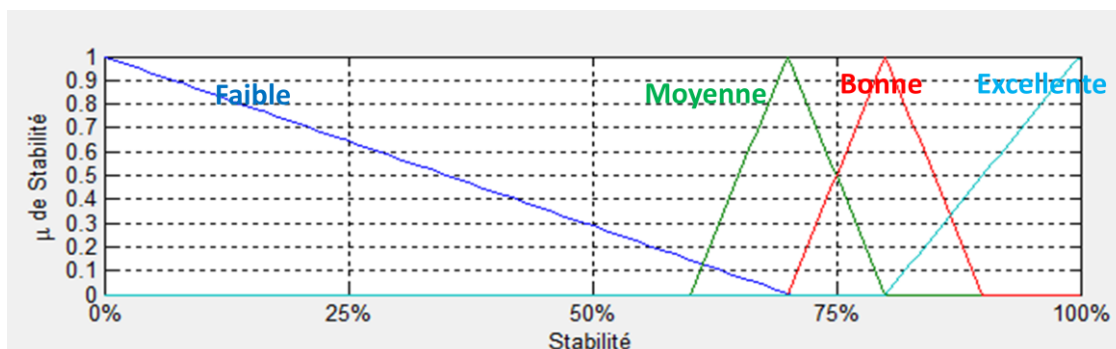


Figure 7 : Fuzzification des variables (*Stabilité et Fiabilité*) selon la T-norme

Chaque variable est définie au travers d'une fonction d'appartenance (μ) triangulaire constituée des quatre sous-ensembles et bornée entre 0 et 1. Le chevauchement des fonctions d'appartenance permet d'attribuer à une valeur particulière plusieurs ensembles avec différents degrés d'appartenances. Ceci permet d'éviter une appartenance à un seul sous-ensemble. Aussi une grandeur numérique appartiendra à deux variables à la fois. D'après le graphe de la **Figure 7**, on peut constater que, pour la variable stabilité, avec pour valeur 78 % par exemple, le facteur d'appartenance à l'ensemble « moyenne » vaut $\mu_{\text{moyenne}} = 0,2$ et le facteur d'appartenance à l'ensemble « bonne » vaut $\mu_{\text{bonne}} = 0,7$.

3-2. Dédutions aux inférences

Plusieurs valeurs de variables linguistiques sont liées entre elles par des règles et permettent de tirer des conclusions. Les règles sont alors exprimées sous la forme générale : Les conditions dépendent de plusieurs variables liées entre elles par des opérateurs ET. La méthode d'implication floue est la méthode de Larsen-Sugeno

$$\mu'_{\text{conclusion}(y)} = \mu_{\text{prémisse}(x_0)} \times \mu_{\text{conclusion}(y)} \quad (1)$$

L'inférence floue permet d'établir la base de règles (la tâche d'un expert humain). Pour cela, nous écrivons des règles floues et une réunion avec des opérateurs permet de déterminer les règles suivantes, correspondant chacune à un cas de figure donné (en italique) : SI « *la Stabilité est* » ET « *la Fiabilité est* » ET « *Disponibilité est* » ET « *la Maintenabilité est* » ET « *Efficacité est* » ALORS « *l'Etat du système est* ».

Puisque nous avons cinq indicateurs de performance à l'entrée à savoir : la stabilité, la fiabilité, la disponibilité, la maintenabilité et l'efficacité et quatre variables linguistiques (sous-ensembles) faible, moyenne, bonne et excellent, nous aurons donc $4^5 = 1024$ règles. A partir de ces cinq variables, nous définissons une table de règles qui traduit de manière intuitive l'intérêt de choisir à la sortie le mode de fonctionnement désiré. Une simplification de la description des inférences s'obtient à l'aide d'une représentation par tableau, appelée matrice d'inférence (**Figure 8**).

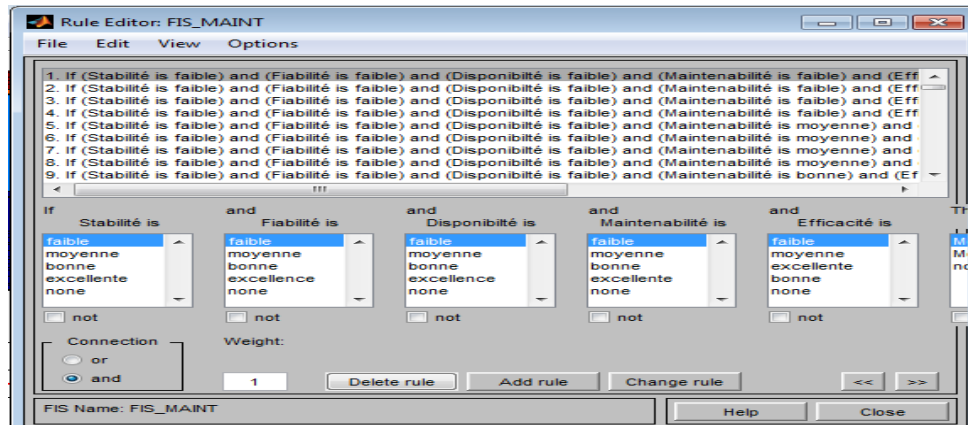


Figure 8 : Table des règles floues permettant de déterminer le degré d'intérêt des indicateurs de performances

La defuzzification quant à elle est l'opération inverse de la fuzzification. Elle consiste à transformer un nombre flou en une grandeur numérique y_0 ; on cherche une valeur exacte à partir des sous-ensembles issus de la table des règles. Ainsi, pour chaque couple de valeurs, nous définissons à partir de la table des règles (**Figure 8**) une valeur pour la variable de sortie, par le biais d'un calcul de la méthode de centre de gravité (2) (**Figure 9**).

$$y_0 = \frac{\int Y \cdot y \cdot \mu_B'(y) dy}{\int Y \cdot \mu_B'(y) dy} \quad (2)$$

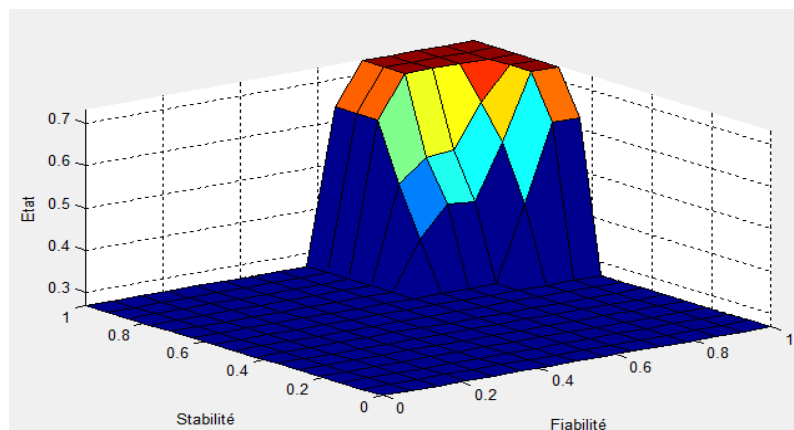


Figure 9 : Ensemble des décisions du système flou en fonctions de l'état du système

La **Figure 9** représente le résultat de la defuzzification des règles de la table (**Figure 8**) en fonction des sous-ensembles flous présentés à la **Figure 7**. Cette fonction représente le degré d'intérêt à utiliser les indicateurs de performances dans la prise de décision pour le bon fonctionnement d'un système. Plus ce degré est élevé, plus l'intérêt à l'utiliser ces indicateurs est grand et inversement. Afin de sélectionner le bon état du système, nous comparons la valeur donnée par cette fonction 'degré d'intérêt' à des seuils prédéfinis. L'objectif est de mettre en place des systèmes d'inférence dont les décisions sont sans discontinuités, flexibles et non linéaires, plus proche du comportement humain que ne l'est la logique classique et aussi de maintenir le système en mode de fonctionnement nominal et d'éviter son basculement en mode dégradé. Cette gestion floue des indicateurs de performances a été testée pour différents états du système de télécommunication. Nous pouvons ainsi vérifier que le contrôleur flou fonctionne selon nos attentes. Dans la **Figure 10** nous avons calculés l'état du système à partir des différentes valeurs des entrées des indicateurs de performances en utilisant de la méthode MaxMin (Sugeno). Dans la **Figure 11**, nous observons les différentes variations des cinq indicateurs de performances prélevés sur une période de neuf semaines.

Stabilité	Fiabilité	Disponibilité	Maintenabilité	Efficacité	Etat du système
95	87	48	30	80	0.7319
80	70	50	60	25	0.7319
65	60	70	81	85	0.2681
43	91	90	75	95	0.2681
25	94	93	97	95	0.2681
85	89	90	86	84	0.7319
56	82	33	47	69	0.2681
27	28	31	42	51	0.2681
21	87	90	45	95	0.2681
81	41	62	77	33	0.2681

Figure 10 : Calcul de l'Etat du système

Ind. Perf

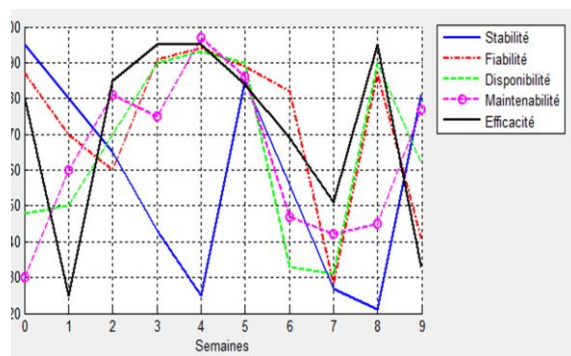


Figure 11 : Variations des indicateurs de performances au cours d'une semaine

La **Figure 12** montre le comportement de l'état du système à sa sortie, à partir des indicateurs de performance à son entrée correspondant à ceux de la **Figure 10**. Nous constatons que, la valeur maximale de sortie se situe entre 70 et 80 et la valeur minimale située est entre 20 et 30, ce qui ne permet pas de connaître que le système n'a pas une bonne performance. Pour y remédier, il est important de prendre en compte l'apprentissage dans ce système pour permettre une correction sur sa sortie afin d'obtenir un comportement désiré. A partir du superviseur flou nous prenons une décision pour le mode de fonctionnement nominal.

Ind. Perf.

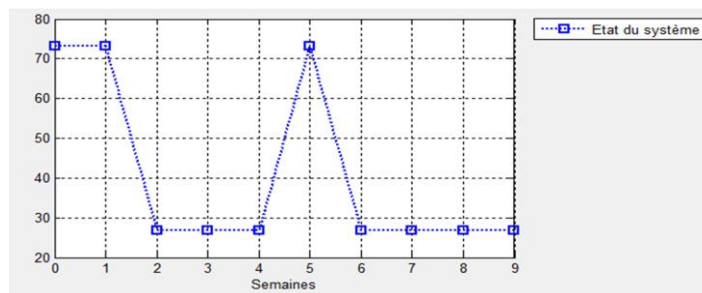


Figure 12 : Comportementale de l'Etat de sortie du système sur neuf semaines

4. Conclusion

Nous avons présenté dans cet article notre contribution à la formalisation et à l'élaboration d'un cadre applicatif du concept de pronostic. Les systèmes de surveillances doivent traiter un nombre important de données, et doivent pouvoir exploiter le savoir-faire des automaticiens. Nous en avons conclu que les besoins en Intelligence Artificielle étaient bien présents et que les systèmes d'intelligence artificielle étaient la meilleure solution pour l'aide à la décision pour l'opérateur de maintenance. Donc, nous avons un besoin d'outils en Intelligence Artificielle qui devra exploiter aussi bien le savoir-faire des automaticiens que les données des méthodes de sûreté de fonctionnement, dans un cadre de surveillance industrielle. Par la suite nous avons présenté les différentes techniques d'Intelligence Artificielle rencontrées dans le domaine de la surveillance. Ceci en vue d'en extraire les points forts et les points faibles de chacune de ces techniques et d'évaluer dans quelle mesure elles répondent aux exigences de la surveillance. Nous en avons conclu que les besoins en Intelligence Artificielle se faisaient ressentir et que celle-ci se présente comme étant l'une des meilleures solutions pour l'aide à la décision des opérateurs de maintenance. A partir de ces résultats, le système peut maintenant apprendre certains paramètres pour corrections du résultat obtenus car nous désirons pour notre système un fonctionnement nominal. Nos travaux se poursuivent dans l'objectif de l'intégration des réseaux de neurones pour l'apprentissage et pour les corrections des valeurs à la sortie du réseau ; et aussi dans le sens d'établissements des modèles d'états associés au comportement fonctionnel et dysfonctionnel des systèmes de télécommunication. Une simulation permettra alors de valider ou d'invalidier les modèles proposés.

Références

- [1] - V. CLIVILLE, "*Approche systémique et méthode multicritère pour la définition d'un système d'indicateurs de performance*", Thèse de doctorat, Université de Savoie, soutenue le 09 Septembre 2004.
- [2] - A. MARCO, "*Définition des familles de produits à l'aide de la logique floue*", Thèse de doctorat, Université de Montréal, soutenu en Novembre 2009.
- [3] - J. R. DIXON, A. J. NANNI et T. E. VOLMANN, "*The New Performance Challenge: Measuring Operations for World Class Competition*", Dow Jones-Irwin, Homewood, IL. Harvard Business Review, Vol. 6, N°2 (1990) 71-90.
- [4] - M. J. LEBAS, "*Performance measurement and performance management*", International Journal of Production Economics, Vol. 41 (1995) 23-35.
- [5] - P. L. BESCOS, "*Dialogue autour de la performance en entreprise : enjeux*", Ouvrage collectif Ecosip, l'Harmattan, (1999) 288 p.
- [6] - T. KOMBE, E. NIEL et A. RAUZY, "*Modélisation Temporelle et Stochastique du TRS pour l'Evaluation de l'Efficience des systèmes de Production*", 3^{èmes} journées Doctorales du GDR MACS (Groupement de Recherche en Modélisation, Analyse et Conduite des systèmes Dynamiques) JDMACS 2009, Angers-France, 17 Mars (2009).
- [7] - E. LUSSIEZ, "*Recherche sur les indicateurs de performance*", Chaire de relations publiques et communication marketing, UQAM, Montréal (Québec), 14 Février (2012).
- [8] - T. KOMBE, "*Modélisation de la propagation des fautes dans les systèmes de production*", Thèse, en vue de l'obtention du grade de Docteur de l'INSA de Lyon-France, soutenue le 30 Juin (2011).
- [9] - K. IBRAHIMI, "*Gestion des ressources des réseaux mobiles de nouvelle génération par rapport à la mobilité des utilisateurs*", Thèse de doctorat, Université Mohammed V-Agdal Rabat-Maroc, soutenue le 20 Novembre (2009).

- [10] - M. DJOUADA, R. ZIANI, A. FELKAOUI et R. ZEDADI, “*Diagnostic des défauts par un couplage réseaux de neurones artificiels-algorithmes génétiques*”, 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP, Batna-Algerie, 03 Novembre (2007).
- [11] - L. A. ZADEH, “*Fuzzy sets*”, Information and Control, Vol 8 (1965) 338-353.
- [12] - S. BENAICHA, H. L. MOUSS et H. ZERMANE, “*Développement d'un système à base de connaissances neuro-flou pour le pronostic industriel d'un Atelier de clinkérisation*”, Revue des Sciences et de la Technologie - RST- Vol 4, N°1, Février (2013).
- [13] - E. OTILIA, “*Contribution au pronostic de défaillances par réseau de neurone-flou*”, Thèse de doctorat, Université de Franch-Comte, soutenue le 24 Octobre (2008).
- [14] - D. RACOCEANU, “*Contribution à la surveillance des systems de production en utilisant les techniques de l'intelligence artificielle*”, Habilitation à diriger des recherches, université de Franche Comté de Besançon, (2006).
- [15] - R. MAHDAOUI et H. L. MOUSS, “*Diagnostic Industriel par Neuro-flou : Application à un système de production*”, 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP', Batna, Algeria, 03 Novembre (2007).
- [16] - NORME INTERNATIONALE ISO 13381-1, “*Surveillance et diagnostic des machines Pronostic*”, AFNOR, Paris, (2004).
- [17] - S. BENAICHA, H. MOUSS, F. BENCHERIF et F. SRAIRI, “*Commande Neuro-Floue d'un Système de Clinkérisation*”, The International Conference on Electronics & Oil: From Theory to Applications, Ouargla, Algeria, 05 Février 2013.
- [18] - R. ALUR et D. L. DILL, “*A theory of timed automata*”, Theoretical Computer Science, 126(2), (1994) 183-235.
- [19] - F. BONIOL, G. BEL et J. ERMONT, “*Trois approches pour la modélisation et la vérification de systèmes embarqués*”, Technique et science informatiques, Vol 10 (2003) 1-10