

Un Modèle SMA pour le Diagnostic Collectif

Khaled Allem¹, Ramdane Maamri¹ and Zaidi Sahnoun¹,

¹ Laboratoire LIRE, Université Mentouri de Constantine, Algérie
kallem9@yahoo.fr, rmaamri@yahoo.fr, zsahnoun@yahoo.fr

Abstract. La plupart des systèmes de diagnostic sont centralisés, le module du diagnostic est contraint d'avoir une vue globale du système physique et contient la description de ce dernier dans sa totalité ce qui laisse apparaître quelques problèmes liés principalement à la complexité du système physique à diagnostiquer d'un côté et de l'autre à une architecture figée et peu robuste du système de diagnostic. Dans ce cas il est évident de penser à distribuer la procédure de diagnostic. Les systèmes multi agents faisant l'objet d'intérêts croissants semblent particulièrement bien adaptés à la problématique posée. Notre travail consiste donc à proposer un modèle SMA pour le diagnostic collectif des systèmes complexes en utilisant la technique du diagnostic logique à base de cohérence, avec un intérêt particulier pour la distribution de l'étape d'analyse diagnostic.

Keywords: Diagnostic distribué, SMA, Diagnostic à base de cohérence, DX, FDI.

1 Introduction

La complexité croissante des systèmes industriels automatisés et les contraintes de compétitivité en terme de coût de production, disponibilité et sécurité des installations, ont mobilisé durant ces dernières années une large communauté de chercheurs pour améliorer la surveillance et le diagnostic de ce type de procédés, ainsi la complexité de la tâche de diagnostic a motivé la recherche de son automatisation. Le diagnostic est un thème de recherche fédérant différentes communautés scientifiques (Automatique, Informatique, Productique...), aujourd'hui au cœur des préoccupations industrielles. Il a pour but d'établir un lien entre un symptôme observé, la défaillance qui est survenue et ses causes.

Pour concevoir des systèmes de diagnostic, il existe deux approches assez différentes :

Dans la 1^{ière} approche, souvent appelée *diagnostic à partir des principes premiers ou à base de cohérence*, on commence avec une description du système ainsi qu'une observation du comportement de ce dernier, si cette observation entre en conflit avec la façon dont le système est supposé se comporter, on est alors confronté au problème du diagnostic, à savoir, déterminer les composant du système qui quand supposés fonctionner anormalement, expliquera la contradiction entre le comportement observé

et le comportement correcte du système. Plusieurs travaux ont été réalisés dans ce domaine notamment ceux de [1], [2], [3] et plus récemment [4], [5], [6], [7], [8].

Pour la 2^{ème} approche, décrite souvent comme une *approche expérimentale*, l'information heuristique joue un rôle dominant. Les systèmes de raisonnement diagnostic correspondant essaient de codifier les règles du domaine, des intuitions statistiques et l'expérience antérieure des experts humains. Les diagnostics réussis proviennent de l'expérience codifiée de l'expert humain plutôt de ce qui se réfère souvent à la connaissance « profonde » du système à diagnostiquer. Le système expert MYCIN est un parfait exemple pour cette approche.

La plupart des systèmes de diagnostic sont centralisés, le module de diagnostic centralisé est contraint d'avoir une vue globale du système physique et contient la description de ce dernier dans sa totalité. Ceci laisse apparaître quelques problèmes liés principalement à la complexité du système physique à diagnostiquer d'un côté et de l'autre à une architecture figée et peu robuste du système de diagnostic.

L'approche de diagnostic centralisé rencontre quatre problèmes principaux [12]:

Problèmes liés à la complexité du système : l'état du système est habituellement l'ensemble des états de ses composants.

Problèmes liés à une architecture peu robuste : un problème se produisant à l'intérieur d'un système centralisé de diagnostic peut conduire à l'échec total du système. En revanche, dans un système distribué, la défaillance d'un module (par exemple de détection, ou de localisation) qui participe au diagnostic ne met pas en péril toute la procédure de diagnostic.

Problèmes liés à une architecture figée : toute modification ou évolution structurelle du système nécessite une réécriture plus ou moins complète du programme de diagnostic.

Problèmes liés à la distribution des calculs : en effet, toutes les tâches d'une procédure de diagnostic sont exécutées sur un calculateur centralisé. Distribuer les différents calculs liés au diagnostic sur des machines différentes s'avère difficile dans une approche centralisée.

Il n'est donc plus possible de se contenter d'une approche centralisée et figée pour la conception d'un système de diagnostic destiné à des systèmes complexes.

Distribuer la procédure de diagnostic semble être une évidence dans ce cas, dès lors apparaît l'idée de multiplier les entités intelligentes et de les doter de facultés de communication afin qu'elles aient le moyen de communiquer entre elles pour que se construise par *coopération* une solution globale au problème du diagnostic. Dans une approche distribuée, chaque entité a une vue partielle ou locale du système à diagnostiquer. Par conséquent, pour construire une solution globale, logique et cohérente il faut pouvoir rassembler les solutions partielles. Donc, il faut que les entités coopèrent entre elles afin de partager leurs solutions et faire part de leurs problèmes et coordonner leurs activités.

Les *systèmes multi-agents*, faisant l'objet d'intérêts croissants, semblent particulièrement bien adaptés à la problématique, en effet, un agent peut être spécialiste dans un domaine de compétence dans lequel il peut intervenir sans pour autant trouver la solution globale, en revanche, l'interaction entre les différents agents fait qu'il y a émergence de la solution globale. L'approche multi-agents permet de mettre en œuvre une solution calquée sur l'organisation humaine, plutôt que d'envisager une seule entité omnipotente et omnisciente.

Le premier avantage à utiliser ce paradigme est de conduire à des systèmes modulaires et ouverts où le fait d'ajouter un agent ou de modifier la structure d'un système n'induit pas une re-conception d'une solution mais converge automatiquement vers une nouvelle solution globale. L'autre grand avantage est de permettre de résoudre des problèmes complexes en les décomposant en une multitude de problèmes plus élémentaires, en construisant des entités autonomes qui pourront, en coopérant, participer à la construction d'une solution globale.

Le diagnostic concerne les deux phases indissociables de détection et d'analyse pour lesquelles il existe une large panoplie de méthodes et de techniques proposées par différentes communautés de recherches (FDI, DX, SED)¹.

Notre objectif est de proposer un modèle SMA pour le diagnostic collectif des systèmes complexes, où avant même que les agents puissent établir un diagnostic global ils doivent d'abord calculer des diagnostics locaux utilisant leurs connaissances partielles du système. Pour ce faire, nous avons choisi d'adopter une approche qui vise à utiliser conjointement les méthodes de diagnostic issues de la communauté FDI pour la phase de détection, et les méthodes développées par la communauté DX pour l'étape de l'analyse diagnostic afin de pouvoir tirer profit des avantages de chacune et avoir ainsi une certaine complémentarité. Dans notre travail, nous nous sommes intéressés spécialement à la distribution de l'étape d'analyse diagnostic en utilisant la méthode dite du diagnostic à base de cohérence pour l'élaboration des diagnostics locaux.

Ainsi, notre travail s'inscrit dans le domaine du diagnostic à base de modèle et consiste à proposer un modèle SMA pour le diagnostic collectif en s'appuyant :

- d'une part sur une technique d'analyse formelle du diagnostic, en l'occurrence le diagnostic à base de consistance (cohérence) qui permet de garantir la justesse de l'analyse diagnostic, et
- d'autre part, sur le paradigme multi-agents permettant de renforcer et de compléter le résultat du diagnostic.

L'article est organisé comme suit :

La section 2 introduit la procédure de diagnostic, dans la section 3 nous présentons le modèle SMA proposé, une simulation fera l'objet de la section 4, la section 5 dresse une comparaison avec des travaux existants et enfin une conclusion et des perspectives sont présentées dans la section 6.

2 Procédure de Diagnostic

La détection et la localisation constituent les deux étapes essentielles d'une procédure de diagnostic, ceci dit, des auteurs proposent d'ajouter d'autres étapes afin de raffiner encore plus le diagnostic et ce par rapport à des objectifs fixés liés aux méthodes de diagnostic utilisées.

¹ FDI: Fault Detection and Isolation, communauté de l'automatique
DX : Communauté de l'Intelligence Artificielle
SED : Communauté des Systèmes à Evènement Discret

2.1 La Détection

Egalement appelée « génération de symptômes », il s'agit de vérifier, grâce à des tests, la consistance entre des informations sur le comportement réel d'un système physique tel qu'il peut être observé par l'intermédiaire de capteurs par exemple et son comportement attendu tel qu'il peut être prédit grâce aux modèles de bon ou mauvais comportement. Toute contradiction entre les observations et les prédictions déduites des modèles est nécessairement la manifestation d'un dysfonctionnement, c'est-à-dire de la présence d'un ou plusieurs défauts, la détection détermine donc le fonctionnement normal ou anormal du système

Différents types d'algorithmes de détection dédiés aux systèmes physiques ont été conçus par les chercheurs des communautés FDI, SED et DX. Dans la plupart des cas, les méthodes de diagnostic sont liées à la connaissance disponible sur le système et à sa représentation et sont classées de différentes façons par de nombreux auteurs [13], [14], [15] et [16].

2.2 L'Analyse

Connue aussi sous l'appellation de localisation ou raisonnement diagnostic, elle consiste à analyser les symptômes disponibles fournis par les tests de détection pour déterminer les états plausibles d'un système physique. La localisation permet de remonter à l'origine de l'anomalie et de localiser le ou les composants défectueux. Les méthodes d'analyse sont liées à la connaissance disponible sur le système à diagnostiquer et à sa représentation et sont classées de différentes façons par de nombreux auteurs [5], [7], [8]. La terminologie et la classification ne sont pas toujours homogènes, influencées par les contextes et les terminologies particulières à chaque communauté et domaine d'application. Les méthodes de diagnostic varient selon le type de connaissance du système à diagnostiquer, selon la façon de structurer cette connaissance et de l'utiliser lors de la génération d'un diagnostic. Il est donc possible de classer les méthodes de diagnostic selon l'un ou l'autre de ces trois aspects. La classification présentée dans [7] est basée sur le type de connaissance utilisé pour le diagnostic de défaillances. Trois grandes catégories de méthodes sont identifiées dans cette classification : les approches à base de règles, les approches à base de modèles et les approches à base de données.

Les techniques de diagnostic à base de modèles (DBM) issues de la communauté de l'intelligence artificielle sont fondées sur une théorie logique [1]. Dans ces approches la détection est considérée comme une tâche du diagnostic. Les premiers travaux s'appuyaient sur des associations de connaissances empiriques, comme ce qui est fait dans les systèmes experts. Ces approches utilisent des modèles basés sur la connaissance du système à diagnostiquer. De façon générale, deux types d'approches de DBM peuvent être distinguées : celles s'appuyant sur un modèle de comportement anormal (fautes) et celles qui reposent sur des modèles du comportement normal (bon) du système, dans ce dernier cas, le modèle décrit uniquement comment se comporte le système quand il fonctionne correctement. De nombreux travaux dans ce domaine sont connus sous l'appellation de « *diagnostic à partir des principes premiers* » ou à base de cohérence [1], [2], [3] et s'appuient sur un modèle de la

structure du système et du comportement de ses composants, pour effectuer des prédictions sur les états du système. Le diagnostic à base de cohérence et particulièrement « *la méthode de Reiter* » sera adopté dans la suite de notre travail.

3 Un Modèle SMA pour le Diagnostic Collectif

Le modèle SMA que nous proposons aura les caractéristiques suivantes :

- La connaissance sur le système est sémantiquement distribuée à travers les différents agents.
- Les agents utilisent des modèles de bon comportement dans l'étape d'analyse (localisation) et éventuellement des modèles de mauvais comportement dans l'étape d'identification.
- Les agents coopèrent pour le calcul des diagnostics locaux en garantissant la cohérence de leurs résultats pour établir le diagnostic global.

Ce choix est justifié par :

- L'idée derrière la distribution sémantique est l'intégration d'agents hétérogènes en provenance de différents groupes et possédant chacun sa propre vision sur le système (agent expert dans un domaine particulier), ainsi la structure interne de chaque agents n'aura guère d'importance dans la procédure de diagnostic.
- L'utilisation des modèles de bon comportement correspond par nature au type de raisonnement diagnostic adopté qui est en l'occurrence le diagnostic à base de consistance.
- Malgré l'autonomie dans le calcul des diagnostics locaux offerte par la distribution sémantique des connaissances sur les différents agents, ces derniers sont contraints de coopérer pour les raisons suivantes :
 - a. augmenter l'efficacité du calcul,
 - b. minimiser la probabilité d'avoir des diagnostics contradictoires,
 - c. maximiser les chances d'avoir des diagnostics complémentaires.

Afin qu'elle puisse être utilisable comme méthode de raisonnement diagnostic dans le modèle SMA proposé, nous avons essayé d'adapter la théorie de Reiter à notre contexte de travail.

3.1 Théorie de Reiter dans un Contexte Multi-agents

Soit SD_i la description du sous système associé à l'agent A_i , $COMPS_i$ ses composants et OBS_i ses observations.

Définition 1. $\Delta_i \subseteq COMPS_i$ est un diagnostic associé à l'agent A_i pour $(SD_i, COMPS_i, OBS_i)$ ssi : $SD_i \cup OBS_i \cup \{\neg AB(c) / c \in COMPS_i - \Delta_i\}$ est consistante. La coordination entre les agents est nécessaire afin de maintenir la cohérence entre les différents diagnostics locaux, ce qui est traduit formellement par la définition suivante:

Définition 2. $\Delta_i \subseteq COMPS_i$ est un diagnostic associé à l'agent A_i pour $(SD_i, COMPS_i, OBS_i)$ ssi la formule suivante est consistante :

$$SD_i \cup OBS_i \cup \{\neg AB(c) / c \in COMPS_i - \Delta_i\} \cup \bigcup_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^k \{AB(c) / c \in \Delta_j\} \text{ tel que } \Delta_j \text{ est le}$$

diagnostic associé à l'agent A_j .

La formule précédente peut être écrite comme suit :

$$SD_i \cup OBS_i \cup \{\neg AB(c) / c \in COMPS_i - \Delta_i\} \cup \{AB(c) / c \in \Delta_j\} \cup \dots \cup \{AB(c) / c \in \Delta_k\}$$

ou plus concrètement sous la forme :

$$SD_i \cup OBS_i \cup \{\neg AB(c) / c \in COMPS_i - \Delta_i\} \cup D_j \dots \cup D_k$$

Ainsi le diagnostic local D_i obtenu par l'agent A_i est calculé en tenant compte des résultats (diagnostics locaux) des autres agents A_j, \dots, A_k .

Définition 3. Soient $D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$ des diagnostics locaux associés respectivement aux agents $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$, alors $D_G = D_1 \cup D_2 \cup \dots \cup D_n$ est un diagnostic global pour $(SD, COMPS, OBS)$ tel que :

$$SD = \bigcup_{i=1}^n SD_i, \quad COMPS = \bigcup_{i=1}^n COMPS_i, \quad OBS = \bigcup_{i=1}^n OBS_i.$$

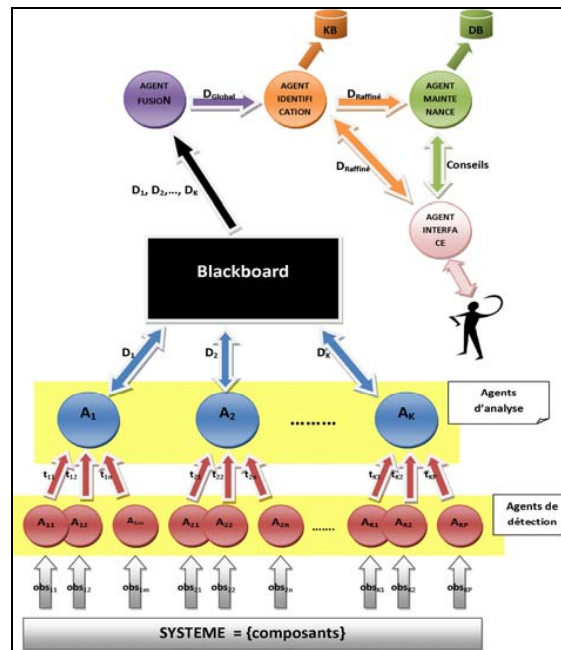


Fig. 1. Un Modèle SMA pour le Diagnostic Collectif.

3.2 Description du Modèle

La détection et la localisation sont généralement les deux étapes les plus importantes dans une procédure de diagnostic, ceci dit, d'autres étapes peuvent suivre afin de raffiner encore plus le diagnostic et proposer éventuellement une aide à l'opérateur en matière de pronostic et de conseils de maintenance. En se basant sur ce fait, nous avons choisi d'associer à chaque étape de diagnostic un type d'agent, comme suit :

1. *Agents de Détection.* Les agents de détection jouent les rôles suivants :

- Acquisition et traitement des données : les agents de détection permettent d'observer le système en récupérant les données de ce dernier par des capteurs, puis les traiter en éliminant les points aberrants et en les formatant afin de les préparer pour l'étape suivante.
- Génération des symptômes : chaque agent de détection encapsule un algorithme de détection (traitement du signal, espace de parité, observateurs d'état, ...), qui grâce à des tests effectués sur un certain nombre de composants (support de test) et à partir des données récupérées précédemment permet de générer des symptômes.

2. *Agents d'analyse.* Les symptômes fournis par les agents de détection peuvent être regroupés dans une table de signatures qui servira de base pour le raisonnement diagnostic. Dans le modèle que nous proposons, le raisonnement diagnostic est totalement distribué à travers plusieurs agents d'analyse selon une distribution sémantique des connaissances. Ainsi, chaque agent d'analyse aura comme tâche de diagnostiquer un sous ensemble de composants du système et ce d'une manière autonome tout en gardant la possibilité d'avoir des agents d'analyse avec des connaissances dépendantes, ce qui implique donc une coopération des agents pour le calcul des diagnostics locaux. Cette coopération est traduite au niveau de la génération de l'arbre « pruned HS-Tree » selon la méthode de Reiter que nous avons légèrement modifiée en introduisant le paradigme multi agent et en exploitant les résultats partiels fournis par les différents agents d'analyse.

- a. commencer la génération de l'arbre T en largeur d'abord et en fixant sa profondeur (niveau).
- b. coopération par réutilisation des étiquettes des nœuds : soit l'étiquette $S \in F$ du nœud n calculée par l'agent A et soit n' un nœud tel que l'agent A' se charge du calcul de son étiquette, si $H(n') \cap S = \{ \}$, alors l'agent A' utilisera l'étiquette calculée par l'agent A, c'est-à-dire S comme étiquette de n' et évitera d'une part l'accès inutile à F et d'autre part un appel coûteux à la fonction TP.
- c. si le nœud n est étiqueté par $\sqrt{\quad}$ et si n' est un nœud tel que : $H(n) \subseteq H(n')$ alors n' sera fermé et l'agent A' ne calculera pas les successeurs de n' (un nœud fermé sera marqué dans l'arbre par x).
- d. si les nœuds n et n' sont étiquetés respectivement par S et S' de F, et si S' est un sous ensemble de S, alors pour chaque élément $\alpha \in S - S'$, le nœud sortant de n et étiqueté par α sera marqué comme redondant. L'arc redondant ainsi que le sous arbre généré à partir de cet arc devraient être supprimés afin de préserver la minimalité des ensembles « hitting sets » pour F.

3. Agent de fusion

- Calcul de la plausibilité circonstancielle : l'agent de fusion reçoit les différents diagnostics locaux fournis par les agents d'analyse et calcule pour chaque ensemble de diagnostic local la plausibilité circonstancielle correspondante.
- Résolution des conflits : Deux diagnostics locaux D_1 et D_2 sont en conflit lorsque la formule $D_1 \cup D_2$ est inconsistante. Le conflit est résolu en comparant la plausibilité circonstancielle pour les diagnostics conflictuels en optant pour celui ayant la plausibilité la plus élevée.
- Fusion des diagnostics locaux : après l'élimination des conflits éventuels, les diagnostics locaux D_i sont fusionnés en un seul diagnostic global représenté par la formule : $D_G = D_1 \cup D_2 \cup \dots \cup D_n$.

4. Agent d'identification

- Raffinement du diagnostic : jusqu'à présent, le comportement des composants a été exprimé par les deux modes : AB et $\neg AB$, dont seul le mode normal est modélisé. La disponibilité des modèles de mauvais comportement permet d'affecter un mode de défaut à chaque composant défaillant, rendant le diagnostic plus précis et plus significatif.
- Sauvegarde du diagnostic final dans une base de connaissances pour une éventuelle utilisation en temps que connaissances expertes.

5. Agent de maintenance

- Effectuer un pronostic : ça consiste à prédire l'évolution des défauts à partir des résultats du diagnostic, cette prédiction peut être faite par un graphe causal dans lequel on peut déterminer l'ensemble des variables liées causalement aux composants défaillants.
- Déterminer la politique de maintenance : grâce aux résultats fournis par le pronostic, l'opérateur humain décide de la politique de maintenance à appliquer. Pour un procédé industriel, il peut s'agir d'une vérification, d'une réparation ou d'un remplacement de composants défectueux, alors que dans un contexte médical, c'est plutôt, des conseils donnés au patient, une prescription de médicaments ou même une intervention chirurgicale. L'agent de maintenance utilise pour accomplir cette tâche des connaissances expertes préalablement stockées dans une base de données.

6. Agent d'interface

- Interaction avec les différents agents : l'agent d'interface implémente une interface homme machine permettant à l'opérateur de choisir, d'initialiser et d'interroger les différents agents du système.
- Visualiser les diagnostics : il permet de visualiser les diagnostics aux niveaux localisation et identification ainsi que les conseils de maintenance.

3.3 Communication dans le SMA

Le modèle que nous proposons supporte deux types de communication inter agents :

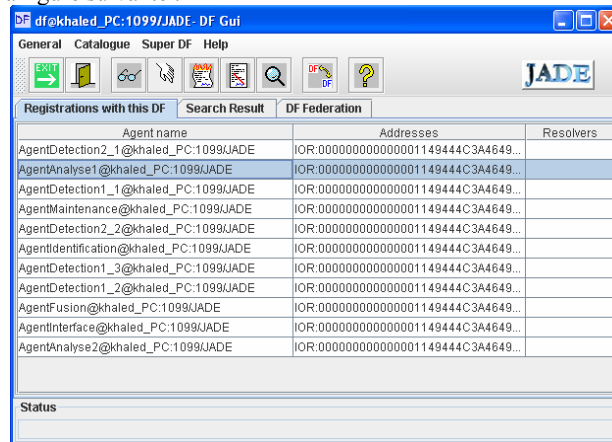
- a. *Communication par partage d'information* : utilisée par les agents d'analyse pendant l'étape de localisation, où les agents partagent leurs résultats partiels à travers une structure de tableau noir contenant les diagnostics locaux ainsi que les symptômes sous forme de tables de signatures associés à ces diagnostics.

b. *Communication par envoi de messages* : c'est le mode de communication adopté par les agents pour le reste des étapes de la procédure de diagnostic. Le langage de communication des agents ACL-FIPA est utilisé pour cela.

4 Simulation avec JADE

Nous avons choisi de simuler le comportement des différents agents de notre modèle appliqué au diagnostic d'un bioprocédé [12] en utilisant la plateforme JADE pour le développement des SMA, et ce à travers l'IDE ECLIPSE.

L'enregistrement de nos différents agents dans le DF (Director Facilitator) est montré par la figure suivante :



The screenshot shows the JADE DF GUI window titled 'df@khaled_PC:1099/JADE- DF Gui'. It features a menu bar with 'General', 'Catalogue', 'Super DF', and 'Help'. Below the menu is a toolbar with various icons. The main area displays a table titled 'Registrations with this DF' with columns for 'Agent name', 'Addresses', and 'Resolvers'. The table lists several agents, including 'AgentDetection2_1@khaled_PC:1099/JADE', 'AgentAnalyse1@khaled_PC:1099/JADE', 'AgentDetection1_1@khaled_PC:1099/JADE', 'AgentMaintenance@khaled_PC:1099/JADE', 'AgentDetection2_2@khaled_PC:1099/JADE', 'AgentIdentification@khaled_PC:1099/JADE', 'AgentDetection1_3@khaled_PC:1099/JADE', 'AgentDetection1_2@khaled_PC:1099/JADE', 'AgentFusion@khaled_PC:1099/JADE', 'AgentInterface@khaled_PC:1099/JADE', and 'AgentAnalyse2@khaled_PC:1099/JADE'. Each agent has a corresponding IOR address. A 'Status' section is visible at the bottom of the window.

Agent name	Addresses	Resolvers
AgentDetection2_1@khaled_PC:1099/JADE	IOR:00000000000000114944C3A4649...	
AgentAnalyse1@khaled_PC:1099/JADE	IOR:00000000000000114944C3A4649...	
AgentDetection1_1@khaled_PC:1099/JADE	IOR:00000000000000114944C3A4649...	
AgentMaintenance@khaled_PC:1099/JADE	IOR:00000000000000114944C3A4649...	
AgentDetection2_2@khaled_PC:1099/JADE	IOR:00000000000000114944C3A4649...	
AgentIdentification@khaled_PC:1099/JADE	IOR:00000000000000114944C3A4649...	
AgentDetection1_3@khaled_PC:1099/JADE	IOR:00000000000000114944C3A4649...	
AgentDetection1_2@khaled_PC:1099/JADE	IOR:00000000000000114944C3A4649...	
AgentFusion@khaled_PC:1099/JADE	IOR:00000000000000114944C3A4649...	
AgentInterface@khaled_PC:1099/JADE	IOR:00000000000000114944C3A4649...	
AgentAnalyse2@khaled_PC:1099/JADE	IOR:00000000000000114944C3A4649...	

Fig. 2. Enregistrement des différents agents dans le DF.

Nous avons également utilisé un « comportement composé » appelé « FSMBehaviour » pour implémenter les comportements de quelques agents, par exemple le comportement de « l'agent analyse 1 » dans son interaction avec « l'agent interface ».

```
public class AnalyseAgent1 extends Agent {
    Boolean stop = false;
    protected void setup () {
        ...
        FSMBehaviour AnalyseAgent1_beh= new FSMBehaviour ();
        AnalyseAgent1_beh.registerFirstState(new
        attendreinstantiation (), "attendreinstantiation");
        AnalyseAgent1_beh.registerState(new
        demandediagnostic (), "demandediagnostic");
        AnalyseAgent1_beh.registerState (new fin (), "fin");
        AnalyseAgent1_beh.registerTransition
        ("attendreinstantiation", "demandediagnostic", 0);
        AnalyseAgent1_beh.registerTransition
        ("attendreinstantiation", "fin", 1);
    }
}
```

```

AnalyseAgent1_beh.registerDefaultTransition
("demandediagnostic", "attendreinstantiation");
addBehaviour (AnalyseAgent1_beh);
}
private class attendreinstantiation extends
OneShotBehaviour{
    Int valeurRetour = 0;
    public void action () {
    ACLMessage message = newACLMessage (ACLMessage.INFORM);
    Message.addReceiver ( new AID ("InterfaceAgent",
    AID.ISLOCALNAME));
        If (!stop) {
            Message.setContent ("pret");
            Send (message);
            valeurRetour = 0;
            block ();
        } else{
            Message.setContent ("arret");
            Send (message);
            valeurRetour = 1;
        } }
    public int onEnd () {
        Return valeurRetour;
    } }
...

```

5 Comparaison avec d'autres travaux

Il existe dans la littérature plusieurs travaux concernant l'utilisation du paradigme multi agents dans la résolution du problème du diagnostic, et ce dans différents domaines allant du contrôle et du diagnostic des systèmes industriels complexes jusqu'à la détection des maladies et leur diagnostic en médecine.

Dans ce qui suit, nous allons comparer le modèle proposé avec des systèmes existants en l'occurrence : MAGIC (*Multi-Agent-based Diagnostic Data Acquisition and Management in Complex Systems*) [10], DIAMOND (*DIstributed Architecture for MONitoring and Diagnosis*) [17] et CMDS (*Contract Net Based Medical Diagnosis System*) [9] en se basant sur des critères que nous jugeons essentiels dans un système multi agents pour le diagnostic des systèmes complexes.

Table 1. Tableau Comparatif.

	MAGIC	DIAMOND	CMDS	NOTRE MODELE
Distinction entre les étapes de détection et d'analyse (localisation)	oui	oui	non	oui
Etape de Détection	Distribuée	Distribuée	X	Distribuée
Etape d'Analyse	Centralisée	Distribuée	X	Distribuée
Coopération entre agents pour la prise de décision collective	non	non	oui	Oui
Domaine d'application	industriel	industriel	médical	Industriel et médical

- *Distinction entre les étapes de détection et d'analyse* : L'idée derrière cette distinction est de pouvoir utiliser les méthodes les plus appropriées pour chacune des deux étapes de la procédure de diagnostic. En effet, les méthodes FDI sont plus efficaces pour la détection alors que les méthodes DX le sont pour la localisation. Alors que les systèmes MAGIC et DIAMOND distinguent ces deux étapes en leurs associant deux types différents d'agents, le système CMDS ne fait aucune distinction entre les étapes de diagnostic. Comme le système MAGIC, le modèle que nous proposons distingue clairement la détection de l'analyse (localisation) et utilise conjointement les méthodes FDI pour la détection et les méthodes DX pour l'analyse.

- *L'étape de détection* est parfaitement distribuée sur des agents dédiés appelés agents de diagnostic dans MAGIC et agents de contrôle dans DIAMOND. Elle est également distribuée dans notre modèle sur différents agents appelés agents de détection.

- *L'étape d'analyse* : dans MAGIC la localisation est centralisée dans l'agent de prise de décision diagnostic alors que dans DIAMOND elle est distribuée sur différents agents de diagnostic. Dans notre modèle, elle est également distribuée sur différents agents d'analyse.

- *Coopération entre agents pour la prise de décision collective* : dans MAGIC la prise de décision est effectuée par un seul agent alors que dans DIAMOND elle est distribuée sur plusieurs agents de diagnostic mais sans qu'il y est de coopération réelle pour l'établissement du diagnostic global. Pour le système CMDS, l'algorithme « Cooperative Medical Diagnosis Elaboration » [9] décrit une résolution coopérative du problème par des agents médicaux. Dans notre modèle, un agent d'analyse doit interagir avec d'autres agents du même type pour pouvoir calculer d'une manière coopérative son propre diagnostic local (construction de l'arbre HS-Tree).

- *Domaine d'application* : les systèmes MAGIC et DIAMOND sont dédiés au diagnostic des systèmes industriels alors que CMDS est réservé au diagnostic médical. Le modèle que nous proposons peut être utilisé aussi bien dans le domaine industriel que médical. Même si le raisonnement à base de modèle s'apprête mieux au domaine industriel, l'analyse diagnostic des agents peut être renforcée par un raisonnement abductif (voir perspectives) ce qui rendra le modèle encore plus approprié pour le diagnostic médical.

6 Conclusion et Perspectives

Dans ce papier nous avons proposé un modèle SMA pour le diagnostic collectif, où nous avons mis l'accent d'abord sur l'isolation des différentes étapes du diagnostic notamment la détection et l'analyse (localisation) qui constituent les deux étapes les plus importantes dans une procédure de diagnostic, en effet, notre modèle offre la possibilité d'utiliser conjointement les méthodes issues de la communauté FDI pour l'étape de détection et les méthodes DX pour l'analyse (raisonnement), puis nous nous sommes intéressés plus particulièrement à la distribution de l'étape d'analyse, pour cela nous avons adapté la théorie de Reiter à notre contexte de travail en modifiant la manière de générer l'arbre « HS-Tree » par différents agents d'analyse, en effet, dans le modèle proposé, le raisonnement diagnostic est totalement distribué à travers plusieurs agents d'analyse selon une distribution sémantique des connaissances. Ainsi, chaque agent d'analyse aura comme tâche de diagnostiquer un sous ensemble de composants du système et ce d'une manière autonome tout en gardant la possibilité d'avoir des agents d'analyse avec des connaissances dépendantes, ce qui implique donc une coopération des agents pour le calcul des diagnostics locaux. Le diagnostic global est calculé en fusionnant les différents diagnostics locaux.

Afin de valider notre modèle, nous avons testé son applicabilité sur un bioprocédé et simuler les interactions de ses agents sur la plateforme JADE.

Renforcer l'analyse diagnostic par un raisonnement abductif et doter les agents d'une capacité à apprendre selon des mécanismes d'apprentissage flou feront l'objet de nos futurs travaux.

References

1. Reiter, R.: A theory of diagnosis from first principles. *Artificial Intelligence*, vol. 32, n° 1, pp. 57--96 (1987).
2. Davis, R.: Diagnostic Reasoning based on structure and behaviour, *Artificial Intelligence*, vol. 24, pp. 347--410 (1984).
3. De Kleer, J., Williams, B. C.: Diagnosing multiple faults. *Artificial Intelligence*, vol. 32, pp. 97--130 (1987).
4. Cordier, M.O., Dague, P., Lévy, F., Montmain, J., Staroswiecki, M., Travémassuyès, L.: Conflicts Versus Analytical Redundancy Relations: A comparative Analysis of the Model Based Diagnosis Approach From the Artificial Intelligence and Automatic Control Perspectives. *Special Issue of the IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 34, n° 5, pp. 2163--2177, October (2004).
5. Philippot, A., Sayed Mouchaweh, M., Carré-Ménétrier, V., Riera, B.: Decentralized Approach to Diagnose Manufacturing Systems, In *Computational Engineering in Systems Applications CESA'06*, Beijing, China (2006).
6. Wang, H., Zhang, M., Xu, D., Zhang, D.: A Framework of Fuzzy Diagnosis, *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, vol. 16, n° 12, December (2004)
7. Lopez Varéla, C., Subias, A., Combacau, M.: Approche de détection basée cohérence : modèles pour le diagnostic, 3^e Colloque International Francophone Performance et Nouvelles Technologies en Maintenance (2007).

8. Mokhtari, A., Le Lann, M.V., Hetreux, G., Le Lann, J.M : Diagnostic à base de modèle des systèmes dynamiques hybrides, SIMO 06 Systèmes d'Information, Modélisation, Optimisation et Commande en génie des procédés, 11-12 octobre, Toulouse (2006).
9. Iantovics, B.L.: Cooperative Medical Diagnoses Elaboration by Physicians and Artificial Agents, Petru Maior University of Tg. Mures, Romania (2008).
10. Köppen-Seliger, B., Marcu, T., Capobianco, M., Gentil, S., Albert, M., Latzel, S.: MAGIC: An integrated approach for diagnostic data management and operator support, IFAC SAFEPROCESS'03, Washington (2003).
11. Touaf, S., Ploix, S., Flaus, J.M.: A Logical Diagnostic Method For Complex Dynamic Systems, 5^{ème} Congrès International Pluridisciplinaire Qualité et Sûreté de Fonctionnement, Qualita 2003, Nancy, France (2003).
12. Touaf, S.: Logical Diagnosis of the Complex and Dynamic Systems in Multi-Agent Context, PhD Thesis, Joseph Fourier- Grenoble 1 University, France (2005).
13. Frank, M. P., Köppen-Seliger, B.: New Developments Using AI in Fault Diagnosis, Engng Applic. Artif. Intell., vol. 10, n°1, pp. 3--14 (1997).
14. Isermann, R.: Supervision, Fault-Detection and Fault- Diagnosis Methods - An Introduction, *Control Eng.Practice*, vol.5, pp. 639--652 (1997).
15. Chantler, M. J., Coghil, G. M., Shen, Q., Leitch, R. R.: Selecting tools and techniques for model-based diagnosis, *Artificial Intelligence in Engineering*, n°12, pp. 81--98 (1998).
16. Venkatasubramanian, V., Rengaswamy, R., Kavuri, N., Yin K.: A review of process fault detection and diagnosis Part I: Quantitative model-based methods, *Computers and Chemical Engineering*, vol. 27, pp. 293-311 (2003).
17. Albert, M., Langle, T., Worn H.: Development Tool for Distributed Monitoring and Diagnosis Systems, *Institute for Process Control and Robotics*, University of Karlsruhe, Germany (2002).