

Plate-forme logicielle de e-maintenance et télédiagnostic

L. Mahiddine¹, A. Hafed¹, A. Achour², S. Khouri², B. Boudiba²

¹Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA)

Cité 20 Août 1956, BP 17, Baba Hassen, Alger, Algérie

²Institut National d'Informatique (INI) Alger

email : lmahiddine@cdta.dz

Abstract- Une des tâches les plus délicates de la maintenance corrective est le diagnostic des pannes. En effet, les entreprises doivent assurer une disponibilité maximale des machines afin de pouvoir répondre aux différents critères de rentabilité économiques. Nous présentons dans cet article un outil NTIC sous forme de plate-forme logicielle de e-maintenance et de télédiagnostic. Cette plate-forme intègre aussi un module intelligent d'aide au diagnostic basé sur une ontologie.

I. INTRODUCTION

La maintenance des équipements industriels est une fonction cruciale pour les entreprises qui doivent faire face à des exigences de plus en plus sévères de qualité des produits et des services fournis. La fonction de maintenance présente cependant une telle complexité que de nombreux systèmes informatiques d'assistance et de gestion ont tenté d'y apporter des solutions. Ces systèmes sont cependant souvent redondants, incohérents et toujours hétérogènes. L'intégration de ces divers systèmes dans une plate-forme commune est plus qu'indispensable.

Un volet important de la maintenance concerne la maintenance corrective. Une des tâches les plus délicates de la maintenance corrective est le diagnostic des pannes. En effet, les entreprises doivent assurer une disponibilité maximale des machines afin de pouvoir répondre aux différents critères de rentabilité économiques. Un diagnostic rapide et pertinent se trouve ainsi nécessaire afin de minimiser les conséquences de l'indisponibilité des matériels.

Aujourd'hui et grâce aux nouvelles technologies de l'information et de la communication, de nouvelles solutions logicielles permettent une intégration des concepts de maintenance dans le processus de production [1]. C'est dans ce contexte que le Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA) mène un projet de recherche s'intitulant « maîtrise à distance de la sûreté des installations industrielles par télémaintenance et télédiagnostic »¹. Le but de ce projet est de chercher à intégrer des outils s'articulant autour du thème de la maintenance et du diagnostic dans une plate-forme commune. Dans cet article, la plate-forme de e-maintenance et de télédiagnostic est présentée. Un système intelligent d'aide

au diagnostic et à la réparation d'équipements à base d'ontologie est aussi décrit.

Le développement d'applications basées sur des technologies d'intelligence artificielle telle l'ontologie, présente un intérêt certain dans le secteur de l'industrie et de la production où les connaissances ont pour caractéristiques d'être implicites, imprécises, incomplètes et incertaines. L'intelligence artificielle se charge de la représentation sémantique des connaissances et leur implémentation sur machines. Cela permet aux différents acteurs de communiquer et de partager des connaissances qui doivent être consensuelles, c'est-à-dire ayant le même sens pour tous. L'utilisation d'une ontologie servira ainsi à définir une description unique et cohérente de l'installation à maintenir.

Notre application regroupe la connaissance requise des experts et s'intègre dans un système de e-maintenance. L'expertise humaine étant hétérogène et différente, le partage sémantique assuré par une ontologie est d'une nécessité primordiale pour l'élaboration de la fonction de diagnostic.

Notre cas d'étude est « la turbine à gaz » qui est un équipement utilisé dans les installations de production et de génération d'électricité ou les pompes des puits de pétrole.

La deuxième section présente de manière générale le contexte de ce travail avec une brève étude de l'existant. La troisième section présente les outils intégrés dans la plate-forme de e-maintenance. La dernière section présente la fonction intégrée de télé-diagnostic basée sur l'ontologie.

II. CONTEXTE DU PROJET

Au Maghreb en général, et en Algérie en particulier, les problèmes de maintenance ont longtemps été relégués au second plan. Aujourd'hui et grâce aux nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC), de nouvelles solutions logicielles permettent une intégration des concepts de maintenance dans le processus de production.

La e-maintenance est une forme évoluée de la télémaintenance, qui elle, est la maintenance d'une unité fonctionnelle assurée par télécommunication (via le réseau Internet) entre cette unité et un centre spécialisé. Depuis l'émergence des NTIC's, le concept de e-maintenance, lié au

¹ Dans le cadre du programme Français « COopération pour la Recherche Universitaire et Scientifique » CORUS.

principe de web-services², de coopération et de partage des connaissances a pris la place du concept de télémaintenance lié à la récupération de données ou la prise de contrôle à distance seulement.

La e-maintenance intègre la notion de télémaintenance en y ajoutant une dimension plus forte de coopération au niveau des informations mais aussi des hommes, des services (ingénierie, exploitation, maintenance, sûreté, achats, comptabilité...) et des sociétés (client/fournisseur, inter fournisseurs, inter clients...). De plus, elle permet une amélioration de la capitalisation et de la gestion des connaissances.

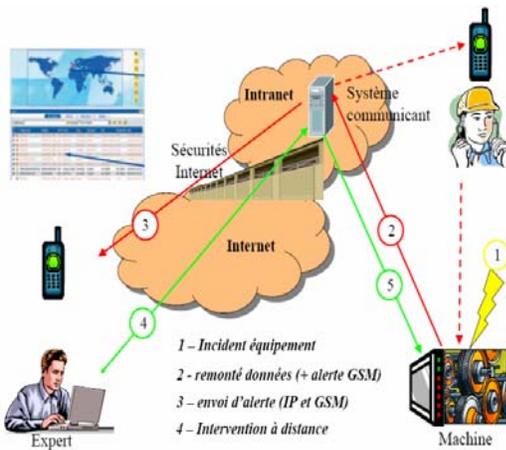


Fig. 1. Fonctionnement de la e-maintenance.

Le travail présenté ici s'insère dans le projet « maîtrise à distance de la sûreté des installations industrielles par télémaintenance et télédiagnostic » proposé par le CDTA en collaboration avec la France, le Maroc et la Tunisie. Ce projet a pour objectif de développer des solutions d'aide à la décision dans le domaine de la maintenance et la sûreté des installations industrielles en concevant un ensemble d'outils et méthodes autour de la télémaintenance et du télédiagnostic notamment les méthodes de diagnostic, les méthodes de test, le développement de stratégies de maintenance ainsi que leur mise en œuvre informatique.

Le projet est conduit par six partenaires répartis dans un double réseau nord et sud. Il est réparti entre les équipes du nord avec les partenaires français (trois laboratoires de recherche) et les équipes du sud avec des partenaires appartenant à trois pays qui sont l'Algérie, le Maroc et la Tunisie (trois laboratoires de recherche). La volonté des laboratoires du sud d'associer à leurs travaux un partenaire industriel de leur pays respectif a permis au réseau de s'étendre à neuf partenaires. Cette association permet de confronter le modèle à des applications réelles et de fournir un plan d'expérience réaliste [2].

² Les *Web Services* sont un ensemble de protocoles qui permettent, avec un protocole haut niveau, de faire communiquer des programmes tournant sur des machines différentes et écrits dans des langages de programmation différents.

L'objectif du projet est de concevoir et de rendre compatible les deux tâches suivantes :

- Mise à disposition de méthodes alternatives d'interventions et optimisation grâce au travail coopératif.
- Télédiagnostic intelligent et capitalisation des connaissances dans le domaine de la maintenance.

Ceci ne sera possible que par la mise en place d'un réseau national d'abord, maghrébin ensuite et franco-maghrébin enfin dans lequel interagissent un ensemble d'opérateurs économiques, d'industriels, de fournisseurs, de fabricants, d'experts, de chercheurs et de tout acteur ou agent capable de jouer un rôle dans le problème de maintenance ou de diagnostic.

La plate-forme réalisée à cet effet est un *outil logiciel de e-maintenance et d'aide au diagnostic industriels*. Le scénario de e-maintenance consiste à faire une inscription au nom de toute société, d'expert, de fournisseur de pièces ou institution spécialisée désirant faire partie du réseau.

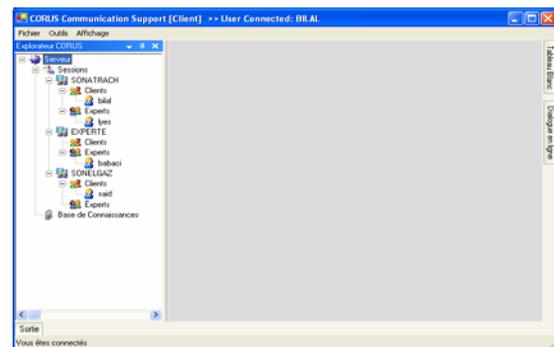


Fig. 2. Interface utilisateur de l'application client avec l'organisation des sessions utilisateurs.

L'inscription s'effectue en ligne sur une page web dédiée au réseau de télémaintenance et pour chaque inscription, les besoins et les spécifications de chaque souscripteur sont mentionnés et transmis vers le centre d'expertise (dans notre cas, le CDTA) qui les stocke et les gère automatiquement via le serveur dédié pour cette plate-forme. Une fois cette inscription effectuée, le souscripteur télécharge l'application client qui lui est affectée (utilisateur ou expert).

L'application serveur lui affecte alors une session personnalisée avec login et mot de passe du nom de la société ou alors du nom de l'expert. Ainsi, tout acteur peut établir une connexion et intervenir de manière coopérative dans sa propre session ou dans d'autres sessions pour la recherche d'une solution à un problème donné, d'un cas de panne, de fourniture d'équipements, de documentations techniques, etc. La figure 2 montre l'organisation des sessions dans l'interface utilisateur d'un client.

En situation de panne, une intervention de télémaintenance via la plate-forme s'effectue en deux étapes, à savoir :

- Première étape : recherche automatique de personnes

Un outil de e-maintenance coopératif qui permet à des personnels de maintenance extérieurs au lieu de la panne de participer à la résolution du problème. Les clients peuvent solliciter le personnel de maintenance ou l'expert (local ou distant) par une liaison établie par le serveur (envoi d'une alarme) avec le personnel pré-enregistré et le mieux habilité à intervenir (en fonction de ses compétences, de ses droits, des outils dont il dispose, ...)

- Deuxième étape : processus de dépannage

Un outil de dépannage proposé par la plate-forme est un système expert de diagnostic des pannes des dispositifs appartenant aux installations industrielles des clients. Ce dépannage peut se faire en local, ou à distance à partir d'un poste fixe sur Internet en établissant une connexion initiée par le personnel de maintenance qui a reçu l'alerte et qui permettra la transmission de données informatiques et l'échange de données dans un contexte client-serveur. Le système expert va poser une série de questions à l'utilisateur afin d'essayer de détecter la cause de la panne et proposer une solution possible.

Cette intégration de flux d'informations multiples que peuvent s'échanger les partenaires (données provenant de capteurs, automate de surveillance, vidéo, texte) constitue le point fort de la plate-forme. Elle répond ainsi aux contraintes posées par la définition de la télémaintenance qui consiste à exécuter différentes formes de maintenance à distance. En effet, la télémaintenance est définie comme étant la maintenance d'une unité fonctionnelle, assurée par télécommunication directe entre cette unité et un centre spécialisé. C'est un service à distance d'aide au diagnostic et à la réparation.

III. ARCHITECTURE LOGICIELLE DE LA PLATE FORME

L'architecture de la plate-forme est représentée par le diagramme bloc de la figure 3. De cette architecture, il ressort trois applications coopératives : une destinée aux clients, une deuxième aux experts ainsi qu'une application centrale (serveur) qui fait office de noyau du système.

- une application client : où l'utilisateur (industriel désirent profiter d'une assistance) se connecte par un login et un mot de passe et peut ainsi profiter des différentes fonctionnalités qui lui sont offertes à savoir : l'envoi de mails, le dialogue en ligne, participation aux différentes sessions ouvertes (client ou expert), le tableau blanc, le transfert de fichiers en temps réel et la vidéo surveillance, diffusion d'une alarme en cas de panne afin de profiter du savoir faire des experts, consultation de la base de connaissances (retour d'expérience), interrogation d'un module de télédiagnostic intelligent (à bas d'ontologie).

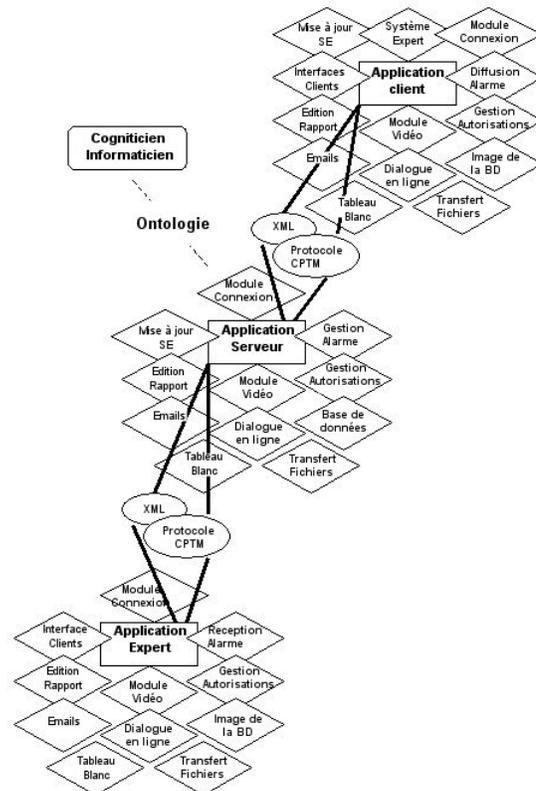


Fig. 3. Architecture modulaire de la plate-forme.

- une application expert : qui est destinée aux experts (ingénieurs, consultants...) et offre pratiquement les mêmes fonctionnalités avec quelques fonctions supplémentaires.
- une application serveur : représente le noyau du système. Elle est installée sur un serveur dédié dans le centre de télémaintenance et fonctionne 24h sur 24. elle comporte des modules de gestion du trafic d'information du réseau, un module d'authentification des connexions, une base de données accessible uniquement par l'application serveur (base d'authentification, base documentaire, etc.) et l'application de télédiagnostic

La base de données a été réalisée sous Oracle 9i ; c'est une base de données locale au niveau du serveur. Seule l'application serveur peut accéder à cette base. *

IV. ONTOLOGIE ET TELEDIAGNOSTIC

L'objectif de ce module est de fournir rapidement un diagnostic et une aide à la réparation adéquats aux différentes pannes qui peuvent toucher un équipement (dans notre cas les turbine à gaz) et ce, à tout technicien, en tout endroit, pour permettre de réduire les temps d'arrêt de l'équipement en question. Une fois le diagnostic établi, des actions de réparation sont proposées. Le système proposé s'appuie sur la mise en place d'une ontologie. L'ontologie est exploitée par un module de diagnostic et de réparation [3] [4].

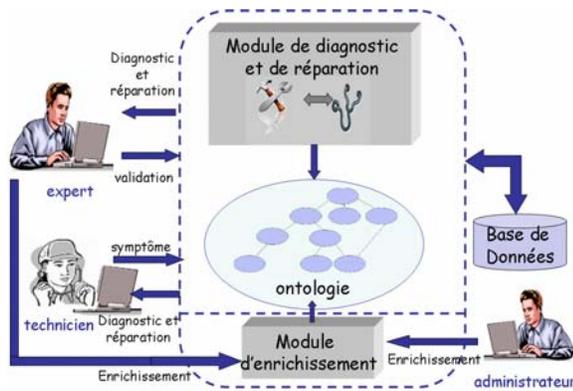


Fig. 4. Schéma général du système.

Il se compose principalement:

- d'une **ontologie** dont les objectifs sont :
 - o exploiter les connaissances générales du domaine des turbines à gaz,
 - o capitaliser les connaissances du domaine,
 - o partager les connaissances du domaine entre utilisateurs.
 - o permettre à l'administrateur d'enrichir l'ontologie par les nouvelles connaissances sur l'équipement.
- d'un **module de diagnostic** qui va exploiter cette ontologie et dont les objectifs sont :
 - o assister l'utilisateur dans la formulation du problème (la défaillance ou la panne),
 - o identifier les causes exactes ayant provoqué la défaillance ou la panne,
 - o proposer une réparation adéquate au problème.
 - o permettre aux experts d'enrichir le module au cas où le système n'aurait pas trouvé de solutions à la panne.

Il y a deux sortes d'utilisateurs :

- les **techniciens** qui fournissent au système les symptômes de la défaillance et reçoivent le diagnostic et la réparation adéquats,
- les **experts** qui valident les résultats fournis par le système. Ils peuvent intervenir pour modifier un diagnostic établi préalablement ou pour enrichir l'ontologie par de nouvelles connaissances concernant le diagnostic et la réparation de l'équipement. Les experts peuvent également solliciter le système pour une éventuelle aide au diagnostic.

Le système interagit avec l'opérateur de maintenance (technicien ou expert) pour demander les données des capteurs et poser des questions concernant le fonctionnement des composants de l'équipement à diagnostiquer. Le système analyse ces données et propose à l'opérateur un ensemble de composants susceptibles d'être la cause de la défaillance. A

partir de ces résultats, le système propose la réparation adéquate.

Un autre module additionnel est compris dans la partie administration du système : c'est le **module d'enrichissement** qui permet à l'administrateur et à l'expert d'enrichir l'ontologie par de nouvelles connaissances.

La méthode choisie est celle des systèmes à base de connaissance. L'ontologie ainsi que l'ensemble des instances de toutes les classes constituent cette base de connaissances.

Les systèmes à base de connaissances sont classés selon trois approches [5] [6]:

- l'approche par les modèles : basée sur la représentation structurelle et fonctionnelle des équipements à diagnostiquer.
- l'approche empirique : basée sur l'expérience et l'exploitation des connaissances de dysfonctionnement. Le diagnostic est tiré par analogie avec des cas déjà vus. Dans cette approche, on fournit un ensemble de symptômes, un ensemble de pannes et les relations de cause à effet entre ces deux ensembles.
- l'approche hybride : constituée de la collaboration des deux approches précédentes.

Un problème de diagnostic se compose de deux parties essentielles : la localisation de la défaillance et l'identification de la cause de cette défaillance. L'approche choisie doit assurer ces deux tâches. L'approche de diagnostic pour laquelle nous avons opté est l'approche **hybride** qui combine l'approche par les **modèles** et l'approche **empirique** (figure 5).

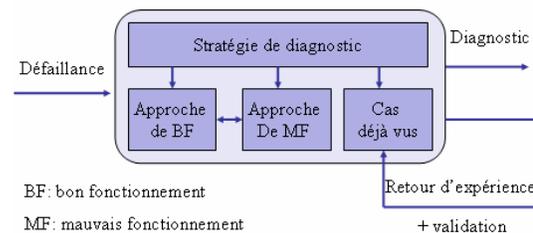


Fig. 5. L'approche adoptée dans la modélisation du diagnostic

Une fois le diagnostic fourni par le système, une réparation est proposée à l'opérateur de maintenance. Cette réparation passe par la description technique des composants touchés par la défaillance ou la panne, la liste des tâches à effectuer afin de remédier au problème, les profils requis pour effectuer ces tâches, les outils nécessaires pour la mise en œuvre du diagnostic, les pièces de rechanges nécessaires ainsi qu'une liste des experts pouvant apporter une aide supplémentaire au problème posé (figure 6). Les experts à contacter sont ceux inscrits au niveau de la plate-forme. La liste des experts est ainsi tirée de la base de données de la plate-forme. On trouve également parmi les éléments de réparation des vidéos illustrant les tâches de réparation.

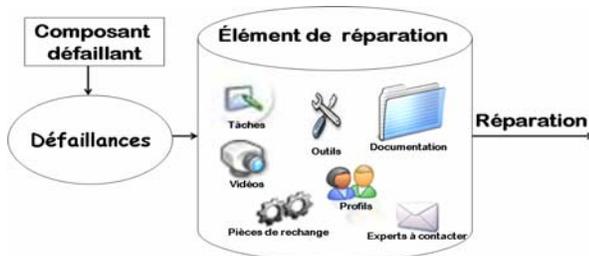


Fig. 6. Principe de l'approche de réparation adoptée.

L'approche adoptée pour modéliser l'activité de réparation consiste à récupérer les éléments de réparation nécessaires au diagnostic résultant et ce à travers les relations existantes entre la défaillance en question et ces éléments de réparation.

Tout comme pour le diagnostic, la réparation intègre également la méthode empirique et cela à travers la mémorisation automatique des solutions proposées après la validation des experts. Les solutions de réparation mémorisées s'ajoutent aux diagnostics mémorisés pour constituer une base de connaissances plus complète (figure 7).

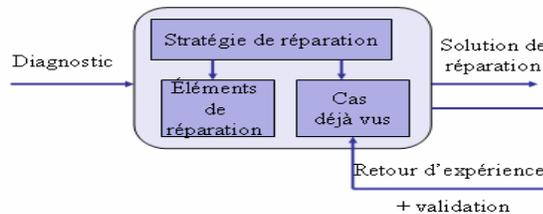


Fig. 7. L'approche adoptée dans la modélisation de la réparation.

Le diagramme de la figure 8, décrit le processus de déroulement du diagnostic.

L'utilisation d'une ontologie permet de contenir l'ensemble de l'expertise sous forme de connaissances numériques (indicateurs) ou symboliques (historique, réparations effectuées, etc.). Le modèle de l'ontologie doit représenter les deux approches de diagnostic choisies (approche par les modèles et approche empirique) ainsi que l'approche de réparation. Elle doit aussi représenter l'ensemble des données d'expertise d'un équipement industriel à travers la description de la structure de l'équipement, de son fonctionnement, de ses défaillances et de ses éléments de réparation.

Le modèle doit pouvoir être mis à jour afin de pouvoir enrichir l'ontologie. La méthode que nous avons choisie est la méthode proposée par l'université de Stanford, une méthode spécialement développée pour la représentation avec Protégé2000 [7].

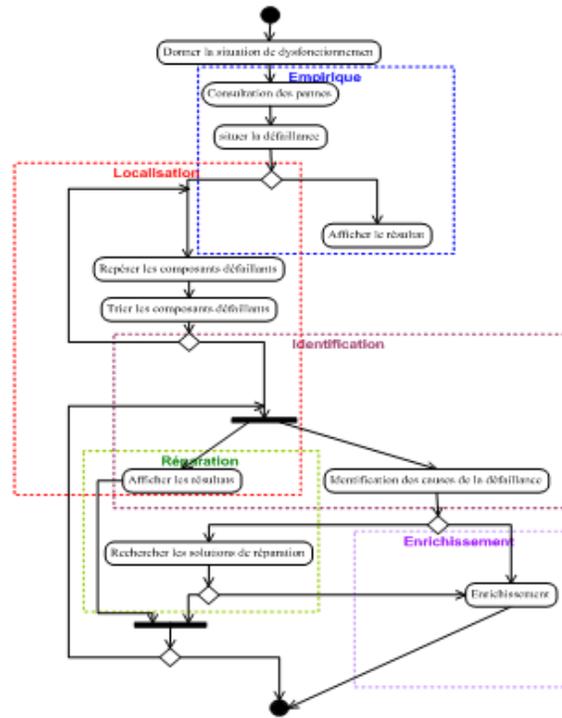


Fig. 8. Diagramme d'activité : déroulement du processus de diagnostic.

La figure 9 illustre la partie du modèle d'ontologie, qui représente la modélisation structurelle de l'équipement. Les relations « isa » sont des relations hiérarchiques, les autres relations sont des relations sémantiques. Chaque composant est décrit par son propre fonctionnement à l'aide du modèle de fonctionnement. Sur chaque composant, sont effectuées des tâches de maintenance décrites par le modèle de défaillance et de réparation.

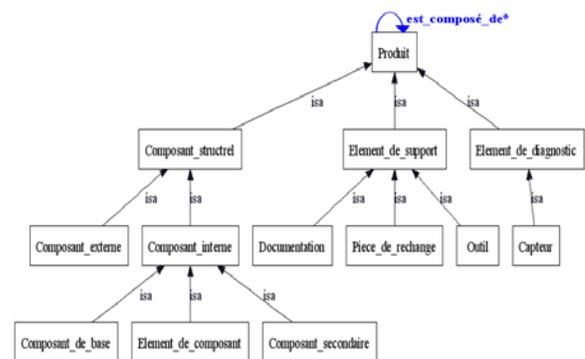


Fig. 9. Partie structurelle de l'ontologie.

L'enrichissement de l'ontologie exploitée par le système s'effectue selon le diagramme de la figure 10.

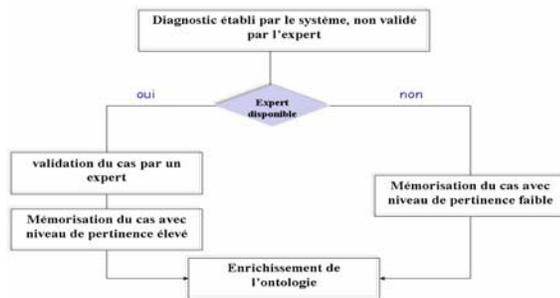


Fig. 10. Schéma d'enrichissement de l'ontologie.

Cette application a été intégrée à la plate-forme et fonctionne donc selon un schéma client-serveur. La figure 11 montre l'interface de démarrage de l'application développée en Java. La figure 12 illustre une fenêtre de diagnostic avec saisie de valeurs d'indicateurs. La figure 13 illustre un cas de maintenance proposée suite au diagnostic établi. La figure 14 illustre un service de documentation en ligne proposé au technicien de maintenance suite à la proposition de maintenance énoncée. La figure 15 quant à elle représente une vidéo illustrative de la procédure de maintenance.

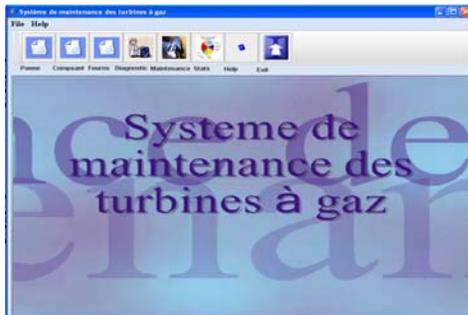


Fig. 11. Fenêtre principale de l'application.



Fig. 12. Diagnostic avec saisie de valeurs d'indicateurs.



Fig. 13. Maintenance correspondant au diagnostic établi.

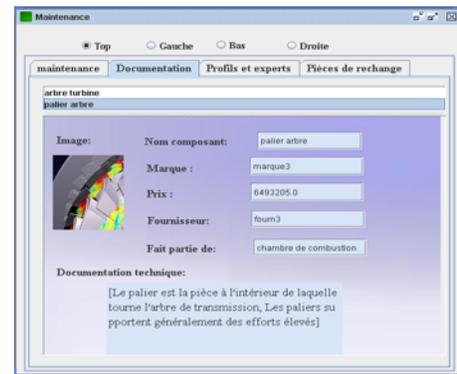


Fig. 14. Documentation en ligne.

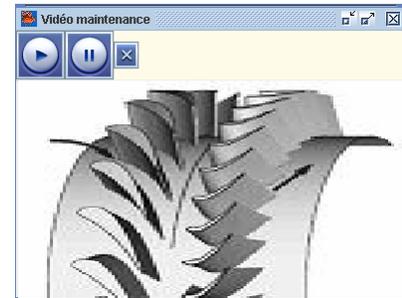


Fig. 15. Vidéo illustrative de l'action de dépannage.

V. CONCLUSION

Nous avons présenté dans cet article une description partielle d'une plate-forme de e-maintenance complétée par un outil d'aide au diagnostic basé sur l'ontologie. La plate-forme dans sa forme actuelle (telle que présentée ici) est en phase de déploiement sur un serveur au niveau du CDTA qui est le centre d'expertise. Son utilisation effective se fera après une période d'essai au sein d'une entreprise industrielle. Il s'agira ensuite de créer un réseau d'acteurs industriels de la maintenance autour de cette plate-forme afin de répondre efficacement aux problèmes posés en matière de maintenance et de coûts engendrés par ces derniers.

REFERENCES

- [1] Daniel Racocanu, « Contribution à la surveillance des Systèmes de Production en utilisant les Techniques de l'Intelligence Artificielle », l'Université de FRANCHE-COMTÉ de Besançon, 2006.
- [2] Maîtrise à distance de la sûreté des installations industrielles par télémaintenance et télédiagnostic, RR, CDTA, 2006.
- [3] Mohamed Djamel Mouss, « diagnostic et conduite des systèmes de production par approche à base de connaissances », Université El-Hadj Lakhdar Batna, 2005.
- [4] Frédéric Fürst, « Contribution à l'ingénierie des ontologies : une méthode et un outil d'opérationnalisation », Thèse de doctorat, Université de Nantes, 25 Novembre 2004.
- [5] Borst W. N., "Construction of Engineering Ontologies", Center for Telematica and Information Technology, University of Twente, Enschede, NL, 1997.
- [6] Studer R., Benjamin R. et Fensel D., "Knowledge Engineering: Principles and Methods", Data Knowledge Engineering, 1998.
- [7] Uschold M. et Grüninger M., "Ontologies: Principles, Methods and Applications". J. of Knowledge Engineering Review, 11(2), 1996.