

TELMA Plate-forme d'intégration de télémaintenance pour l'enseignement et la recherche

E. Levrat¹, B. Salzemann², F. Clanché², J.Y. Bron²

¹ Centre de Recherche en Automatique de Nancy, UMR CNRS 7039,
Faculté des Sciences BP 239 54500 Vandoeuvre les Nancy, eric.levrat@cran.uhp-nancy.fr

² Pôle AIP-PRIMECA Lorraine, Atelier Inter-établissements de Productique Lorrain
745 rue du Jardin Botanique 54600 Villers Lès Nancy,

bruno.salzemann@aipl.uhp-nancy.fr, fabien.clanche@aipl.uhp-nancy.fr, jean-yves.bron@aipl.uhp-nancy.fr

RESUME Dans cet article nous présentons la plate-forme pédagogique et de recherche TELMA dont l'objectif est de supporter les enseignements de la maintenance et d'illustrer l'apport des nouvelles technologies de l'information dans le processus de maintenance et les nouvelles architectures qui en découlent. Cette plateforme est utilisable en local et à distance. La partie opérative de la plate-forme simule un processus de production semi-continu, répandu dans l'industrie. La plate-forme est pilotée par des composants communiquant par réseau de terrain (Ethernet industriel), ouverts vers le niveau Entreprise (Ethernet AIPL et Intranet) et son environnement (Ethernet). La plate-forme est capable de générer un ensemble de défaillances qui viennent nuire au fonctionnement « normal ». Le système d'information de maintenance de la plate-forme est basé sur le progiciel CASIP (MAO) et sur la GMAO Empacix. Il s'agit également d'une plate-forme d'expérimentation support à des recherches développées dans le cadre d'un projet de recherche du CRAN.

Mots clés : Plate-forme expérimentale, Maintenance, Télémaintenance, E-maintenance, Maintenance prévisionnelle, enseignement à distance.

1 INTRODUCTION

Autrefois isolée et focalisée sur une vision locale de son action, la maintenance doit s'ouvrir aux autres processus de l'entreprise et coopérer avec eux, afin de contribuer efficacement à une amélioration de la performance globale [3]. Afin de permettre l'échange d'informations entre les différents processus impliqués dans la fabrication d'un produit, les systèmes de production ont évolué vers des architectures intégrées basées sur l'utilisation de l'informatique. Il convient donc d'intégrer la maintenance dans le Système d'Information global de l'entreprise afin de faciliter les échanges et la communication avec les autres processus. Le développement d'un processus de maintenance moderne consiste donc à adapter les architectures classiques de maintenance à la distribution de certains traitements au plus près de l'équipement, et à fournir un accès distant au Système d'Information de maintenance à chaque acteur du Maintien en Conditions Opérationnelles (maintenance distribuée). L'entreprise peut (doit) faire appel aux TIC, aux nouveaux supports de communication multimédia, à des nouvelles générations d'interfaces homme-machine. Ainsi de nouvelles disciplines ont vu le jour : e-manufacturing, e-logistique, e-business, e-maintenance... partageant un objectif commun : réduire les inefficacités, les temps morts et les arrêts de production en faisant remonter de façon cohérente les informations pertinentes de terrain jusqu'au niveau entreprise.

En 2001, plusieurs formations ont exprimé le besoin de disposer d'une plate forme adaptée au développement d'enseignements dans le domaine de la maintenance, et plus spécifiquement dans l'apport des nouvelles

technologies de l'information et de la communication dans le développement de nouvelles architectures de Maintenance. Ce besoin n'a fait que se renforcer avec la volonté de proposer dans l'offre Licence et Master de l'Université H. Poincaré Nancy 1 des parcours intégrant la maintenance et qui demandent des plate-formes de travail, où les étudiants puissent aborder ces organisations et se rendre compte des problèmes posés par ces technologies.

L'objectif visé par ce projet était donc de mettre à disposition de l'enseignement, une plate-forme d'expérimentation en relation avec les nouveaux besoins exprimés par les entreprises, dans les domaines de la maintenance et de la sûreté de fonctionnement, liés au développement des nouvelles technologies de l'information et de la communication (télésurveillance, télémaintenance et e-maintenance).

Cette plate-forme devait répondre à un certain nombre de contraintes pour une utilisation dans un contexte pédagogique. Elle devait être représentative d'une réalité industrielle afin qu'elle soit crédible dans ses modes de défaillances et leurs conséquences, elle devait être simple afin que son fonctionnement soit compréhensible des étudiants, elle devait être fiable et disponible 24h/24h sans un personnel technique présent, afin d'être accessible à distance. De plus, elle ne devait pas être dangereuse pour les utilisateurs ou les personnes évoluant dans son environnement.

Les différentes possibilités d'utilisation de la plate-forme, le flux d'étudiants potentiellement intéressés, ainsi que la multiplicité des aspects à étudier (conception, exploitation) et la contrainte d'accès distant nous ont imposé de déployer cette plate-forme

sur plusieurs sites pédagogiques, en adoptant des points de vues d'utilisation complémentaires. Les sites choisis sont l'Atelier Inter établissement de Productique Lorrain AIPL (centre de ressources en Génie Mécanique et Productique) et l'Atelier d'Electronique et d'Automatique ATELA (centre de ressource en Génie Electrique et Informatique Industrielle).

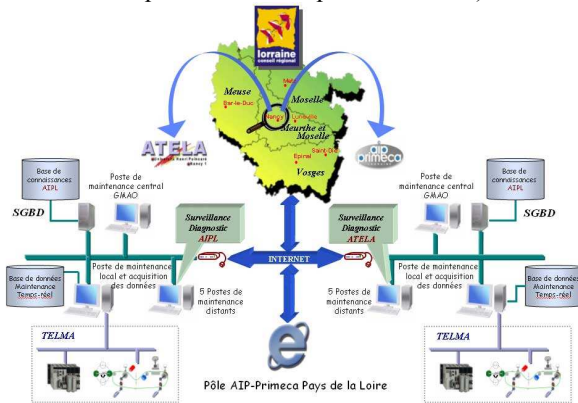


fig 1 : Implantation de la plate-forme TELMA

Le poste situé dans les locaux de l'Atelier Inter établissement de Productique Lorrain a pour vocation d'illustrer l'efficacité des organisations modernes et les nouveaux outils de maintenance (maintenance préventive prévisionnelle, nouvelles technologies de l'information, surveillance, pronostic, ...) sur la sécurité, la disponibilité, les coûts et la qualité de fabrication d'un système de production. Une vue système est privilégiée, avec comme problématique connexe, l'intégration de la maintenance dans l'entreprise (verticale et horizontale), mais également l'intégration de technologies. Ce poste est accessible à distance par le Web à tout moment, il fonctionne 24h/24h et 7jours/7 sans personnel spécialisé, ni encadrement à proximité.

Le second poste dans les locaux d'ATELA permet d'avoir une vue technologique de la plate-forme et sert de support pédagogique localement ou à distance à l'étude et la manipulation pratique (configuration, paramétrage, programmation, test, ...) des différents composants de l'architecture matérielle de la plate-forme (automate avec serveur Web intégré, variateur de vitesse avec serveur Web intégré, réseau industriel, serveur de données OPC, ...). Ce poste sert également à la réalisation de tâches de maintenance corrective ou préventive (test, contrôle, visite, diagnostic, ...). Dans chaque site, on peut télé-travailler sur un poste miroir distant. Enfin comme on peut le voir dans la figure ci-dessus, un poste similaire a été développé sur le site de l'AIP-PRIMECA Pays de la Loire dans le cadre de l'Institut Ouvert du réseau AIP PRIMECA [4].

Un second objectif visé par ce projet est l'utilisation de la plate-forme dans le cadre de la recherche (projets du CRAN) pour produire des données de fonctionnement réelles, simuler des modes de défaillance et des lois de dégradation du matériel en temps limité, développer et

tester des algorithmes de surveillance, de diagnostic et de pronostic/aide à la décision, in situ et à distance, développer et tester des politiques de maintenance. La plate-forme TELMA est le support à des travaux réalisés dans le cadre du Groupe de Travail MACOD (Modélisation et optimisation de la MAintenance COopérative Distribuée) du Pôle STP du GDR MACS, Elle est également impliquée dans un programme intégrée de la communauté européenne DYNAMITE (Dynamic Decision in Maintenance FP6-IST-NMP-2-017498)

Dans cet article, après avoir présenté les nouvelles orientations de la maintenance, nous détaillons les différentes composantes de l'architecture technique de la plate-forme, l'architecture de communication. Nous présentons également la génération de défaillances. Nous détaillons ensuite l'architecture de maintenance retenue. Enfin nous donnons des illustrations des travaux pratiques développés sur la plate forme durant cette année.

2 LES NOUVELLES ARCHITECTURES DE MAINTENANCE

La maintenance a fortement évolué durant les 10 dernières années, et le développement des TIC a fortement influencé cette évolution. On parle aujourd'hui de télémaintenance, télésurveillance voire de e-maintenance. La télémaintenance est définie comme la maintenance d'une unité fonctionnelle, assurée par télécommunication directe entre cette unité et un centre spécialisé. La télémaintenance s'impose progressivement pour toutes les machines ou les chaînes de production pilotées par un microprocesseur qui concentre toutes les informations provenant des multiples capteurs nécessaires au contrôle du processus. L'organe de commande à microprocesseur peut être facilement interrogé à distance. Il est également possible depuis le point de contrôle de modifier les paramètres de réglage ainsi que les programmes qui le pilotent. Depuis l'émergence d'Internet les concepts de la Télémaintenance ont évolué pour aboutir à la e-Maintenance [1]. La Télémaintenance est un concept de récupération de données à distance ou de prise de contrôle à distance (éphémère), alors que la e-Maintenance est un concept lié au principe de web-services, de coopération et de partage des connaissances. Ainsi, la e-Maintenance intègre le principe de base de la Télémaintenance en lui associant un principe fort de Coopération au niveau des informations mais aussi des hommes, des services (Ingénierie, Exploitation, Maintenance, Sécurité, Achats, Comptabilité...), des sociétés (Client / fournisseur, Inter fournisseurs, Inter clients) [2]. L'apport de la e-Maintenance est la délocalisation des tâches, la surveillance peut être éloignée de l'installation, l'expert de diagnostic n'a plus besoin de se rendre sur place, la connaissance est distribuée, le dépannage peut être effectué à distance.

3 L'ARCHITECTURE TECHNIQUE DE LA PLATE-FORME TELMA

Les principes généraux de conception et réalisation de la plate-forme TELMA ont profité de l'expérience acquise dans les travaux précédents sur le développement et la construction de la plate forme IMS du CRAN [3]

3.1 La partie opérative

La partie opérative de la plate forme simule un processus de production semi-continu, répandu dans l'industrie automobile (ligne de découpe de flancs métalliques, ligne d'emboutissage, ...), dans l'industrie papetière ou l'imprimerie. La plate-forme TELMA est articulée autour d'un système mécanique simulant le déroulement en bande continue d'un produit sous forme de bobine, servant une presse verticale (fig2). Les 4 postes de travail de TELMA assurent la production des produits. L'alimentation de produit est simulée en entrée par un système automatisé de Changement de bobine, constitué d'un barillet supportant deux bobines, entraîné par un vérin pneumatique.

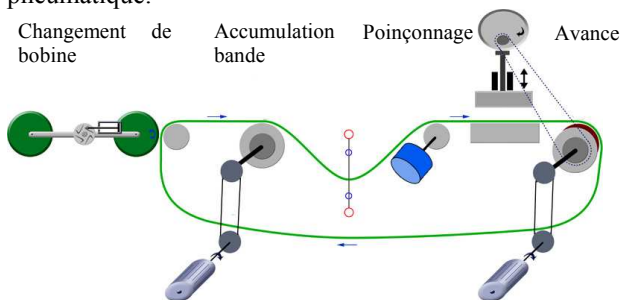


fig2 : Les différents postes de la plate-forme TELMA

Le produit est matérialisé par une bande continue, dont l'avance est assurée par deux systèmes mécaniques d'entraînement. Le premier (Accumulation) achemine le produit en entrée de la presse, en assurant une tension constante de la bande, contrôlée par un capteur (analogique ou TOR), afin d'éliminer les risques de déchirement du produit. Le second système en aval (Avance) tire sur le produit pour l'amener sous la presse et y subir une opération de Poinçonnage, en respectant des exigences strictes de positionnement du produit. Ce système assure également l'animation du poinçon de la presse.

La conception mécanique de la plate-forme ainsi que sa réalisation (plans CAO, usinage des composants, assemblage) ont été prises en charge par le personnel de l'AIPL. TELMA a notamment été conçu à l'aide d'un logiciel de CAO qui permet entre autre de simuler le fonctionnement de la plate-forme. Les diverses simulations ont permis de valider les choix mécaniques.

3.2 La partie commande

3.2.1 L'architecture technique

La plate-forme [7] est pilotée par des composants communiquant par réseau de terrain (Ethernet industriel), ouverts vers le niveau Entreprise (Ethernet AIPL et Intranet) et son environnement (Ethernet). L'installation est constituée de 2 automates Schneider¹ TSX Premium (fig 3). Le premier automate assure le contrôle/commande de la plate-forme tandis que le second est chargé de générer des défaillances et dégradations contrôlées. Le module d'entrées/sorties déportés Momentum (Schneider) permet le contrôle des énergies (pneumatique et électrique), des balises lumineuses (qui reflètent l'état de la plate-forme), du pupitre et du module changement de bobine. Les 2 Altivars ATV58 de Schneider commandent et contrôlent les moteurs qui acheminent le produit. En mode Local, l'écran tactile Magélic de Schneider permet d'interagir avec TELMA. Un serveur OPC situé sur le PC local permet de mettre à disposition l'état des différents composants de la plate-forme (capteurs, actionneurs, moteurs...). De plus, une caméra Web pilotable permet de visualiser à distance et à tout moment le système en fonctionnement.

Deux modes d'utilisation sont possibles: Local (prioritaire) ou Distant. En mode Local, la mise en production est gérée par un écran tactile et en mode Distant, elle est gérée par l'intermédiaire d'un navigateur Internet. Ces 2 types d'utilisation donnent accès à 2 modes de fonctionnement. Le mode automatique assure une production en continu (24h/24) et offre la possibilité à l'utilisateur de paramétrer la capacité de la bobine, le temps de changement d'une bobine et la cadence de production. Le mode manuel permet de positionner le module des bobines en position courante ou en position raboutage et de repositionner correctement la réserve de bande afin d'éviter tout déchirement du produit.

La démarche adoptée afin de concevoir le programme automate repose sur le cycle en V. L'expression du besoin a été synthétisée sous la forme d'un cahier des charges textuel, à partir duquel nous avons réalisé une analyse S.A.D.T (Structured Analysis and Design Technique) à l'aide du logiciel Orchis (TNI²). Cette analyse sert de support pédagogique pour les travaux pratiques.

Pour limiter le temps de développement, améliorer la compréhension du programme et dans le but d'une démarche qualité, la partie commande de la plate-forme été conçue puis simulée à l'aide du logiciel ControlBuild (TNI). Ce logiciel permet de décrire à la fois le fonctionnement normal d'une installation industrielle mais aussi les tâches de surveillance et de réactions aux aléas de fonctionnement (modes de replis, marches dégradées, ...). Après validation de la

¹ <http://www.schneider.fr>

² <http://www.tni-software.com>

partie conception grâce aux tests d'intégration et unitaires, le programme a été retranscrit en langage automate (PL7 Pro de Schneider). Le programme automate inclus des filtres de comportement permettant la détection par la partie commande de défaillances et dégradations (capteurs et actionneurs) (distribution traitements de maintenance dans la partie commande). L'utilisateur (enseignant ou chercheur) peut choisir d'activer ou non ces filtres afin de laisser se propager la défaillance.

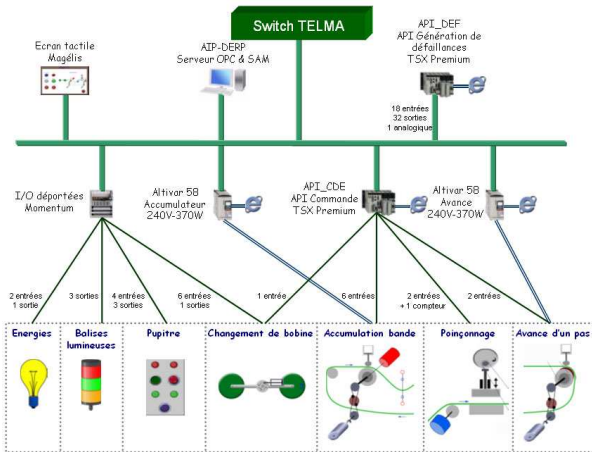


fig 3 : Architecture technique de la plate-forme TELMA

3.2.2 Architecture de communication

Les automates, les variateurs Altivar, le module entrées/sorties déporté, l'écran tactile de la plate-forme et le poste local sont reliés à un réseau de terrain Ethernet industriel permettant d'accéder par un poste local aux configurations des composants (programmes, paramètres de fonctionnement) ainsi qu'à leur état et valeurs courants (fig 4). Ces postes reliés à un réseau local d'entreprise, mettent leurs informations à disposition du serveur Web, d'un serveur de maintenance, d'un système de gestion de données technique SGGDT, ainsi que d'un système de Gestion de Base de Données.

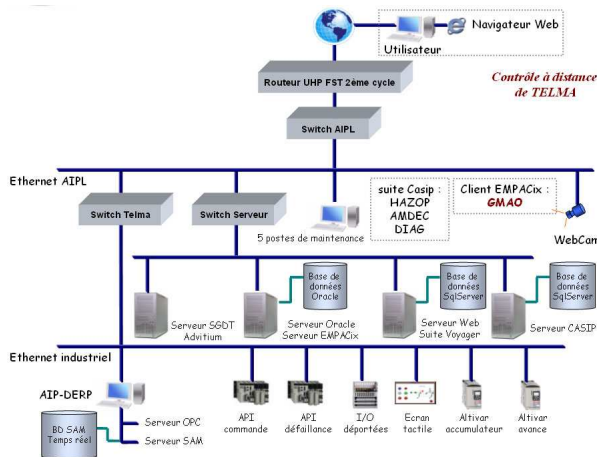


fig 4 : Architecture de communication

Le serveur Web SuiteVoyager ouvre cette architecture vers le réseau Internet pour piloter à distance la plate-forme. De plus, les automates et variateurs Altivar

intègrent un serveur Web pouvant héberger un site Internet.

3.2.3 Supervision de la plate forme

L'automate de commande intègre un site Web permettant de superviser la plate-forme TELMA. L'inconvénient de cette méthode est un développement spécifique par automate. Une méthode plus structurée consiste à développer une e-supervision qui agit sur les variables automates par l'intermédiaire des variables du serveur OPC³. A l'aide de In Touch (Wonderware⁴ FactorySuite), nous avons développé la supervision de la plate-forme. Le logiciel SuiteVoyager (Wonderware FactorySuite) permet de convertir puis de publier des fenêtres de supervision In Touch sur Internet grâce au langage XML. De plus, le logiciel offre la possibilité d'administrer le site Web en créant des groupes d'utilisateurs (opérateurs, techniciens de maintenance, chefs d'atelier, ...) et des groupes de vues afin d'adapter l'affichage des données en fonction de l'utilisateur. On peut noter également que la commande de la génération de défaillances a été développée et incluse dans le serveur Web.

4 LA GENERATION DE DEFAILLANCES

La plate-forme TELMA est capable de générer un ensemble de défaillances qui viennent nuire à son fonctionnement « normal ». Pour cela l'architecture technique de la plate forme a été complétée par l'ajout d'un automate de génération de défaillance TSX Premium, par des Modules de Génération de Défaillance (MGD) Tout Ou Rien placés sur certains capteurs et actionneurs. Le système comporte 9 MGD dont la fonction est pour un capteur de simuler le collage à 0 ou à 1 (fig 5). Notons que l'automate de commande n'a aucune relation avec l'automate de défaillance. La figure ci-dessous présente le principe général des MGD.

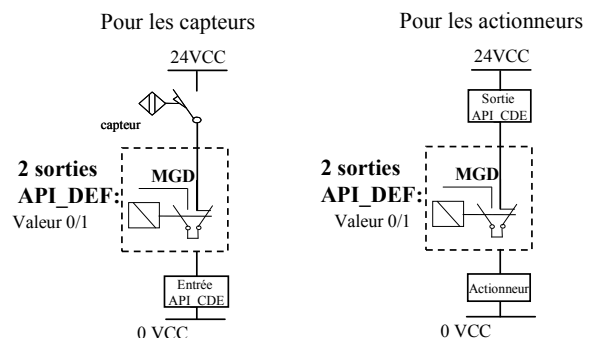


fig 5 : Les Modules de Génération de défaillances

D'autres composants ont été ajoutés afin de simuler des dégradations (vérins presseurs, vérins rotatifs de courroie, frein magnétique). A titre d'exemple le frein magnétique (fig 6) sur le poste d'accumulation permet

³ www.opcfoundation.org

⁴ www.wonderware.com

de simuler l'évolution d'un couple résistif provoqué par l'usure des roulements et conduisant à la rupture de la courroie de transmission du poste d'accumulation. Un vérin pneumatique rotatif a lui été ajouté pour simuler cette rupture.

Les défaillances sont programmées et contrôlées à distance ou en local par les enseignants. Lorsque la plate-forme est en état de production, des défaillances ou dégradations peuvent être générées sur les composants de façon automatique selon une loi de fiabilité donnée, une loi de Weibull à 2 paramètres, ou par action directe de l'enseignant (Mode manuel). Ce mode offre la possibilité à l'utilisateur d'activer une ou plusieurs défaillances (dégradation) puis de les annuler aux instants souhaités.

Les composants défaillants sont réparés selon une loi de maintenabilité, loi exponentielle à un paramètre, ou par proposition d'action corrective de l'étudiant et validation de l'enseignant. Pour simuler le vieillissement des composants, nous avons considéré que les réparations ne sont pas toujours parfaites. Les réparations sont de type « As Good As New » ou « As Bad As Old ». Enfin, le mode scénario permet de générer un enchaînement (activation/désactivation) de défaillances prédéfini.

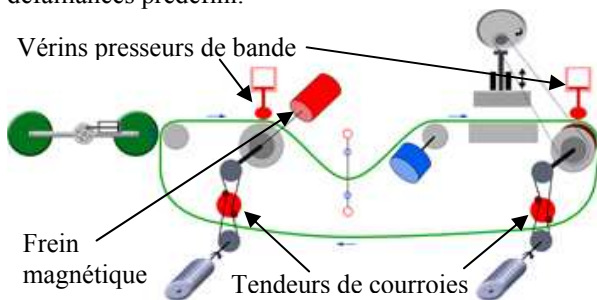


fig 6 : Composants de génération de défaillances

Pour la génération de la dégradation, nous avons mis en place un principe d'évolution de l'état de dégradation selon un graphe de Markov (fig 7). A chaque état correspond une valeur du couple résistif, croissante, pour l'état 1 (OK) la valeur est nulle, pour les états 2 puis 3 la valeur augmente de façon significatif, enfin pour l'état 4 (HS) le couple est à son maximum, et la courroie se brise.

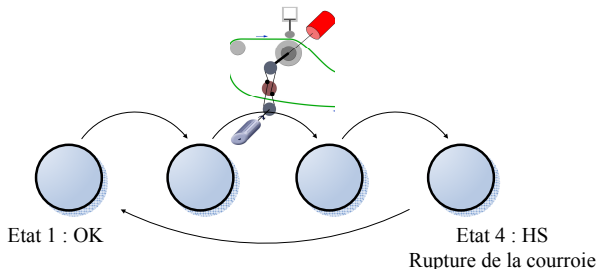


fig 7 : Le Module de Génération de dégradation

Le passage d'un état à un autre se fait selon des lois de dégradation spécifiques de taux de défaillance $\lambda_1, \lambda_2,$

λ_3 . Une réparation (simulation) peut être envisagée selon un taux de réparation donné μ .

5 L'ARCHITECTURE DE MAINTENANCE

Le système d'information de maintenance de la plateforme est basé sur le progiciel CASIP⁵ architecturé autour d'une base de connaissances de maintenance, garantissant la cohérence, la réutilisation des analyses, des données et des travaux effectués, et une ouverture aisée vers des systèmes de gestion (ERP et GMAO) ou des systèmes de pilotage (MES) (fig 8). Autour de cette base on retrouve différents modules allant de l'ingénierie de la maintenance (AMDEC, HAZOP, DIAG) jusqu'aux traitements de maintenance tels que le suivi des dérives de fonctionnement, la détection des défaillances, le diagnostic (SAM). Le module de surveillance SAM possède une base de données temps réel permettant de suivre et détecter des dégradations et faire des analyses de tendance.

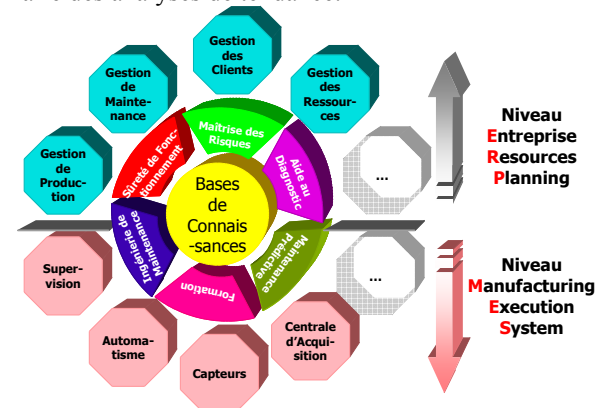


fig 8 : Architecture du progiciel CASIP

Les principales fonctionnalités de CASIP sont de capitaliser et d'exploiter la connaissance dysfonctionnelle d'un système en utilisant des outils d'analyse AMDEC et HAZOP, DIAG arbres de défaillances, ... de récupérer les données venant des automatismes (serveur OPC), d'acquérir les valeurs de capteurs, d'élaborer les indicateurs de suivi (SAM) et de mettre à jour sa base de données Historique. Enfin CASIP permet d'associer aux indicateurs définis au préalable des variables extraites de base de données de l'entreprise (GPAO, GMAO, ERP,...) ou acquises en temps-réel (SCADA, PLC,...).

Enfin la gestion de la maintenance est assurée par le progiciel Empacix de la société Indus International⁶ (gestion des plans de maintenance, gestion des interventions, logistique de maintenance, pilotage). La communication du système d'information de maintenance avec le système de production est assurée par le standard de communication OPC (OLE for Process Control). Un serveur DDE (Dynamic Data Exchange) permet à tout PC connecté au progiciel CASIP d'extraire des informations de maintenance de

⁵ <http://www.predict.fr>

⁶ <http://www.indus.com>

la base de données. L'architecture de CASIP et d'Empacix basées sur les TIC permet leur utilisation en local ou à distance. Ainsi, des experts distants autorisés peuvent visualiser l'ensemble des indicateurs, des variables et des historiques de la plate forme, suivre une dégradation, élaborer des diagnostics, les confronter, proposer des actions correctives ou préventives, les programmer et les lancer.

6 LES EXPLOITATIONS PEDAGOGIQUES

Lors de son développement, la plate-forme TELMA a été le sujet d'environ 10 projets industriels pour des étudiants issus des formations de niveau bac+3 à bac+5. Les premières exploitations pédagogiques ont eu lieu dès 2003, depuis la rentrée 2004, des travaux pratiques sur la plate-forme sont intégrés dans plusieurs formations de Bac+3 à Bac+5 (Licence professionnelle de Maintenance, IUP GMP, DESS PAI, ESSTIN).

Pour illustrer les possibilités d'exploitations pédagogiques de la plate-forme, nous présentons un exemple de Travaux Pratiques la Télémaintenance. La première partie de la démarche consiste à faire l'analyse fonctionnelle (ou analyse processus) puis dysfonctionnelle (AMDEC, HAZOP) de la plate forme (ingénierie de la maintenance). L'objectif est de définir les modes de défaillances les plus critiques de la plate-forme (en terme de disponibilité, qualité et sécurité), puis de définir les moyens de surveillances adaptés, ainsi que de proposer un plan de maintenance (corrective et préventive systématique ou conditionnelle). Les résultats se présentent sous la forme de grilles Amdec/Hazop générées par CASIP et utilisables en ligne pour une aide au diagnostic.

On prolonge ensuite ce travail par la spécification puis la mise en place des processus de surveillance, de diagnostic, de pronostic et d'aide à la décision de maintenance sur CASIP SAM.

La phase de test et d'évaluation du travail consiste à attendre (aléatoire) ou à forcer l'apparition de défaillances ou des dégradations. Grâce à la visualisation au fil de l'eau à l'aide d'un client CASIP SAM (en local ou à distance) on peut sélectionner un dysfonctionnement particulier, et réaliser un diagnostic en ligne en exploitant la base de connaissances (fig9).

Enfin, on demande à l'étudiant de sélectionner et programmer à distance, une intervention sur la plate forme à l'aide de la GMAO Empacix.

7 CONCLUSION

La plate-forme est aujourd'hui opérationnelle, accessible à distance. Elle est mise à la disposition des formations demandeuses. Le développement des deux postes de la plate-forme a duré 3 ans. Elle a coûté environ 100k€ dont 40% de subventions de la Région Lorraine, 8% de subvention du réseau AIP PRIMECA. Le reste de la somme se répartit entre le pôle AIP-PRIMECA Lorraine, les formations de la faculté des Sciences et L'ESSTIN.

La plate-forme a également atteint son second objectif, puisqu'elle a servi de base d'expérimentation aux travaux de thèse de A. Muller [6].

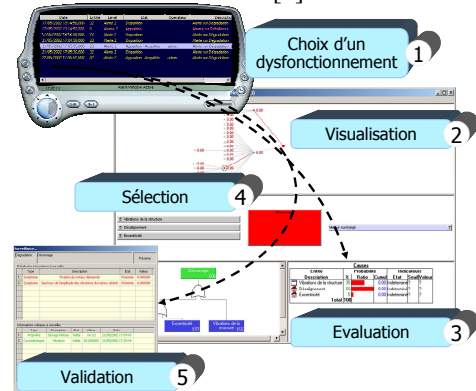


fig9 : Aide au diagnostic en ligne.

8 REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier J.P. Drapier qui a été un élément primordial dans la réussite de ce projet.

Bibliographie

1. Iung, B. From Remote maintenance to MAS-Based E-Maintenance of an industrial process. *Journal of Intelligent Manufacturing*, volume 14, Issue 1, pp. 59-82, 2001.
2. Lee, J. Infotronics-Based Intelligent Maintenance System and its Impacts to Closed-loop Product Life Cycle Systems. *Keynote speech of IMS'2004* "International Conference in Intelligent Maintenance Systems, Arles France, 2004.
3. Léger J.-B., Morel G. Intégration of maintenance in the enterprise : towards an enterprise modelling-based framework compliant with proactive maintenance strategy. *Production Planning & Control*, Volume 12, n°2, pp 176-187, 2001.
4. Levrat E. TELMA Plate forme de TELeMAintenance AIP PRIMECA Pôle Lorrain, Journées bilan des actions soutenues par l'Institut Ouvert du réseau AIP PRIMECA, Toulouse 28-29 septembre 2004.
5. Muller, A. Contribution à la maintenance prévisionnelle des systèmes de production par la formalisation d'un processus de pronostic. *Thèse de l'Université H. Poincaré Nancy 1 en Automatique, Traitement du Signal et Génie Informatique*, Nancy, 7 juin 2005.
6. Muller, A. Levrat, E. Suhner, M.C. Le pronostic, processus clé d'une stratégie de maintenance prévisionnelle pour le Maintien en Conditions Opérationnelles d'un système de production, 6^{ème} Congrès International en Génie Industriel, Besançon, 7-11 juin 2005.
7. <http://aip-primeca.net/lorraine/intranetpedagogique/documentation.asp>