



Classification des différentes architectures en maintenance.

Ivana Rasovska, Brigitte Chebel-Morello, Noureddine Zerhouni

► To cite this version:

Ivana Rasovska, Brigitte Chebel-Morello, Noureddine Zerhouni. Classification des différentes architectures en maintenance.. 7ème Congrès International de Génie Industriel, GI'2007, Trois Rivières., Jun 2007, Québec, Canada. UQTR, sur CD ROM - 12 p., 2007. <hal-00163377>

HAL Id: hal-00163377

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00163377>

Submitted on 17 Jul 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Classification des différentes architectures en maintenance

Ivana Rasovska, Brigitte Chebel-Morello, Nouredine Zerhouni

Laboratoire d'Automatique de Besançon UMR CNRS 6596, 24, rue Alain Savary, 25000 Besançon, France
{rasovska, bmorello, zerhouni}@ens2m.fr

RÉSUMÉ : L'objectif de ce papier est de lister et caractériser différents systèmes informatiques existants dans le domaine de la maintenance industrielle afin de proposer une classification des différentes architectures de ces systèmes. Deux critères de cette classification s'imposent : l'évolution de l'information utilisée et la relation entre les systèmes intégrés dans les architectures. Quatre architectures génériques sont identifiées, à savoir maintenance, télémaintenance, e-maintenance et s-maintenance. Le type d'architecture de maintenance sémantique : la s-maintenance est proposée prenant appui sur des ontologies communes aux différents systèmes et sur la technologie émergente du Web sémantique. Ce nouveau concept représente une architecture adaptée aux besoins d'intégrer les différents systèmes d'aide aux opérateurs et aux experts de maintenance et ouvre également la possibilité d'utiliser les techniques de gestion des connaissances dans ces systèmes.

MOTS-CLÉS : e-maintenance, système d'aide à la décision, gestion des connaissances, web sémantique, ontologies.

1. Introduction

Les entreprises d'aujourd'hui doivent répondre aux demandes de plus en plus exigeantes en termes de qualité et quantité de produits et de services, de réactivité, de réduction des coûts. Afin de satisfaire ces demandes, l'entreprise doit disposer d'un système de production fiable, donc bien entretenu par un système de maintenance efficace et peu coûteux. Un service de maintenance performant et bien organisé contribue à la bonne « santé » du système de production, il permet de prolonger la vie des équipements industriels et participe ainsi à la meilleure performance globale de toute l'entreprise. Ce besoin de maintenance concerne tout type d'entreprise, d'industrie ou de prestataire de services.

A partir des années 80, une phase de structuration et de normalisation des services de maintenance se met en place. Puis l'évolution des marchés, leur mondialisation et l'accent sur le profit et la compétitivité de l'entreprise provoquent la mise en place de nouveaux concepts concernant l'organisation de la production aussi bien que l'organisation de la maintenance. En même temps, l'aspect qualité commence à jouer un rôle important tout comme la fonction de sûreté de fonctionnement et, plus particulièrement, la fonction de maintenance dans l'entreprise. Les entreprises cherchent à améliorer le système actuel de maintenance par l'entremise de deux niveaux stratégiques [Francastel, 2001] :

- Le premier niveau vise à renforcer le service de maintenance dans l'entreprise elle-même, c'est-à-dire au niveau des ressources internes – nous parlons d'internalisation de la fonction de maintenance.
- Le deuxième niveau fait appel à des ressources externes de l'entreprise par le biais de sous-traitants (réduction de service de maintenance) - nous parlons d'externalisation de la fonction de maintenance.

La tendance actuelle est d'externaliser, en partie, la fonction de maintenance.

L'externalisation nous amène à évoluer dans un domaine distribué qui a modifié les systèmes d'information et les pratiques de l'entreprise. Les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) ont permis d'asseoir ces nouvelles pratiques et de les faire

évoluer. Grâce aux NTIC, à l'émergence de la technologie Web et du réseau Internet, la réalisation des services de maintenance et des contrôles peut être effectuée automatiquement, à distance et à l'aide de différents systèmes informatiques implantés au sein des entreprises. D'où l'émergence du concept de services proposés au travers d'architectures de maintenance, qui peuvent aller des systèmes autonomes vers des systèmes intégrés où la coopération et la collaboration sont vitales pour tout fonctionnement.

Nous avons développé dans le cadre d'un projet européen, une plateforme distribuée d'e-maintenance qui propose des web services associés à différents systèmes d'aide à la maintenance. La plateforme d'e-maintenance implémente l'architecture actuelle la plus performante permettant d'échanger et partager l'information entre plusieurs systèmes de maintenance. Une des caractéristiques de cette plateforme est d'être générique et de fournir les méthodes et les interfaces applicatives nécessaires à l'intégration de différents composants proposés comme services génériques appelés des services Web [www.proteus-iteaproject.com]. Cet article a comme objectif premier de resituer l'architecture de cette plateforme par rapport aux architectures existantes en maintenance, et de faire ainsi le tour de tout type d'architecture existant en maintenance. La notion d'architecture a plusieurs sens et dépend du contexte. Nous nous intéressons aux architectures logicielles. Une architecture logicielle décrit d'une manière symbolique et schématique les différents composants d'un ou de plusieurs programmes informatiques, leurs interrelations et leurs interactions [Wikipedia, 2005]. On peut décrire des architectures par groupe de composants informatiques telles que les architectures logicielles, les architectures matérielles, les architectures Middleware permettant l'agencement et l'interaction des composants servant à faire communiquer plusieurs applications entre elles et les architectures réseaux permettant de faire communiquer un système d'information.

La diversité et la nature des différents systèmes informatiques existants et leur évolution dans le domaine de la maintenance industrielle nous amène à étudier l'architecture logicielle de ceux-ci sous un certain niveau d'abstraction. Nous nous intéressons particulièrement au type d'informations échangées, et à la complexité des relations liant les différents systèmes et applications intégrés dans ces architectures. La section 2 sera consacrée à définir ces caractéristiques qui seront à la base de la définition des différentes architectures de maintenance qui seront abordés à la section 4. Auparavant, on abordera l'historique des systèmes d'information en maintenance qui seront repris à la section suivante sous forme d'architecture : architecture de maintenance, télémaintenance, e-maintenance. Afin de pallier aux manques proposés par les web services issus d'une architecture d'e-maintenance, nous proposons à la section 6 une architecture de s-maintenance basée sur le Web sémantique et adaptée à l'intégration des différents systèmes et applications en maintenance. Ce concept ouvre la possibilité d'utiliser des techniques de gestion des connaissances, de retour d'expérience, etc.

2. Caractéristiques des systèmes complexes

Nous développons dans cette section deux critères de classification permettant de caractériser des architectures logicielles d'un point de vue macroscopique en s'affranchissant de détails qui doivent être étudié (les protocoles...) quand on désire améliorer ces architectures, notamment celle de e-maintenance.

2.1. Evolution de l'information

L'information utilisée dans les différentes applications du domaine de la maintenance a changé en fonction de l'évolution des technologies d'information et en fonction de la

complexité croissante de l'environnement industriel. Dans le passé, cette information a été saisie manuellement sur papier (plans, schémas, manuels) et a été échangée verbalement entre les opérateurs. L'information était donc informelle mise à part la forme papier, puisque le besoin ne s'en faisait pas ressentir. Par contre aujourd'hui, l'information est toute autre. Elle est devenue structurée et formalisée afin d'être manipulée par les systèmes informatiques.

En même temps, l'environnement de l'entreprise devient de plus en plus complexe et les systèmes de production deviennent plus dynamiques, ce qui rend le contexte d'utilisation de l'information plus variable et instable. L'information devient incertaine, elle évolue en fonction du contexte changeant. Une manière de réduire cette incertitude se fait par la mise en place de cette information dans un contexte avec un sens et une direction, par la transformer en connaissance suivant un objectif donné. Cette connaissance devient ensuite, avec d'autres informations et connaissances, la source d'acquisition d'une compétence donnée. Les systèmes informatiques d'aujourd'hui manipulent ces connaissances afin de fournir à ses utilisateurs une aide à la décision pour la résolution de problème et en vue d'améliorer leurs compétences dans le domaine.

2.2. Relations entre les systèmes

Avec l'évolution technologique et informatique, les systèmes informatiques, au début indépendants et autonomes, commencent à communiquer, voir coopérer en échangeant et partageant les informations. Plus récemment, les nouvelles technologies de l'information et de la communication (NTIC) ont permis la migration de ces différents systèmes autonomes vers un système intégré où la coopération et la collaboration sont vitales pour tout fonctionnement. Il y a différents types de relations entre les systèmes que nous passons en revue, et qui seront à la base de la classification des différentes architectures en maintenance (cf. fig. 1).

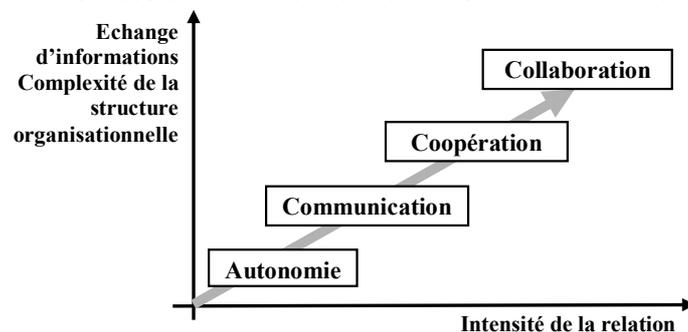


Figure 1. Intensité de la relation entre les systèmes

- **La relation d'autonomie** représente un régime sous lequel un système dispose du pouvoir maximal de gestion et est indépendant de tous les autres systèmes et éléments. Il n'y a ni échange ni communication entre ce système et les autres et il doit être auto-suffisant au niveau des informations nécessaires.

- **La relation de communication** est une liaison entre deux ou plusieurs systèmes qui permet des transferts ou des échanges. Les informations transmises lors de la communication ne se limitent plus aux caractères alphanumériques et comprennent également des images, du son et les séquences vidéo. En contexte, le terme communication est souvent employé comme synonyme de télécommunication.

- **La relation de coopération** représente un travail coopératif qui est accompli par une division du travail dans laquelle chaque acteur est responsable d'une partie de la résolution du problème. Dans notre contexte, il s'agit surtout de la coopération technologique et industrielle donc un accord de coopération conclu entre des systèmes indépendants qui s'engagent à réaliser des projets communs de production des services de maintenance.

- **La relation de collaboration** représente un partenariat stratégique en vue d'atteindre à l'excellence en combinant des compétences, des fournisseurs ou des produits divers. La collaboration implique un engagement mutuel des acteurs dans un effort coordonné pour résoudre ensemble le problème mettant en commun des ressources, des informations et des compétences en vue de mieux adapter les organisations à leur environnement.

3. Historique des systèmes informatiques en maintenance

Nous conviendrons que les systèmes informatiques regroupent les applications de gestion et ses éléments d'accompagnement, les logiciels supports et le matériel. Le développement des systèmes informatiques dans le domaine de la maintenance industrielle a commencé lorsque la maintenance a été reconnue comme fonction fondamentale dans l'entreprise et un accent particulier a été mis sur l'étude approfondie et le développement des procédures de cette fonction. Nous pouvons identifier différents aspects dans l'évolution des systèmes informatiques en maintenance [Francastel, 2001, Boucly, 1998]:

- **Informatisation des procédures de maintenance**

L'informatisation et l'automatisation de la gestion des entreprises a permis d'informatiser plusieurs procédures de maintenance. Des fichiers informatiques des équipements, des interventions, des stocks, des plans et schémas etc. ont ainsi été créés. L'intégration de ces fichiers et l'automatisation des activités de la maintenance ont été possibles grâce aux progiciels de GMAO (Gestion de Maintenance Assistée par Ordinateur). Les événements quotidiens de la maintenance ont été traités : la panne, l'exécution du préventif, la gestion des stocks.

- **Interfaçage avec des progiciels**

Par la suite, ces progiciels ont dû s'interfacer avec les autres logiciels de l'entreprise tels que les achats et la comptabilité, déjà informatisés précédemment. Les grands progiciels de gestion intégrée (PGI) correspondant au sigle ERP en anglais (Enterprise Resource Planning) représentent une étape suivante dans la rationalisation des processus de l'entreprise et dans l'intégration de la maintenance avec les autres fonctions de l'entreprise.

- **Evolution du domaine technique**

L'informatique a aussi progressé dans le domaine technique de la maintenance. Les techniques modernes d'analyse de maintenance et de contrôle ont vu le jour parallèlement à l'informatique: analyse vibratoire, analyse d'huile, thermographie IR, ultrasons à chaud, etc. Nous pouvons distinguer parmi ces systèmes deux grands groupes : les systèmes d'analyse et les systèmes d'acquisition et de contrôle.

- Les systèmes d'analyse, quelques fois couplés aux systèmes experts ont été décrits sous le sigle TTAO (travaux techniques assistés par ordinateur) ou TMAO (techniques de maintenance assistées par ordinateur). Les systèmes d'analyse sont également destinés à fournir de l'aide à la décision en diagnostic, pronostic et réparation des équipements aux opérateurs, etc.
- Parmi les systèmes d'acquisition et de contrôle, nous pouvons citer SCADA (système de contrôle et d'acquisition des données), contrôles-commandes des équipements, systèmes de gestion des données techniques et de la documentation, etc.

- **Intégration de modules intelligents en architectures de maintenance**

La présence de ces différents modules intelligents de maintenance nous amène à les faire communiquer et collaborer entre eux. Cette construction de modules ou briques intelligentes doit concourir à donner des indicateurs pour prendre la bonne décision en matière de stratégie et de politique de maintenance.

- Développement des NTIC

Le développement de nouvelles technologies de l'information et des communications, l'extension d'Internet dans l'entreprise, l'intégration des applications, l'émergence de nouvelles politiques de maintenance (RCM, MCO, etc.) indiquent une nouvelle période pour l'informatisation de la maintenance, celle que certains appellent la « maintenance intelligente ». Cela nous amène vers des architectures coopératives et distribuées des systèmes de maintenance communiquant entre eux ou sur une base de réseaux. L'implémentation de ces architectures de maintenance peut se faire à l'aide de plateformes de maintenance dont l'idée majeure est de proposer un service de maintenance via internet. Les plateformes de maintenance proposées dans les projets Proteus ou OSA/CBM peuvent servir d'exemples.

4. Définitions des différentes architectures

Nous proposons une terminologie caractérisant les différents systèmes informatiques en maintenance et nous les classons sous deux axes : le type d'information utilisée dans le système et l'intensité d'une éventuelle relation avec d'autres systèmes informatiques (cf. fig. 2). Plus la relation est intense plus les systèmes sont reliés et intégrés et nous parlons d'architectures communes qui seront implémentées à travers des plateformes. Elles sont classées sur une exponentielle car la collaboration entre ces systèmes est atteinte plus tôt que le niveau de la compétence partagée. Le volume d'informations gérées automatiquement est concrétisé par la surface du carré de chaque système et augmente avec l'intensité de collaboration et aussi avec la complexité de l'information partagée. Nous tenons à signaler qu'il y a une parallèle entre notre classification des systèmes et la classification des entreprises telle qu'elle est présentée dans plusieurs travaux [Dedun et al., 2005]. Il s'agit de l'entreprise traditionnelle, distribuée, coopérative et étendue.

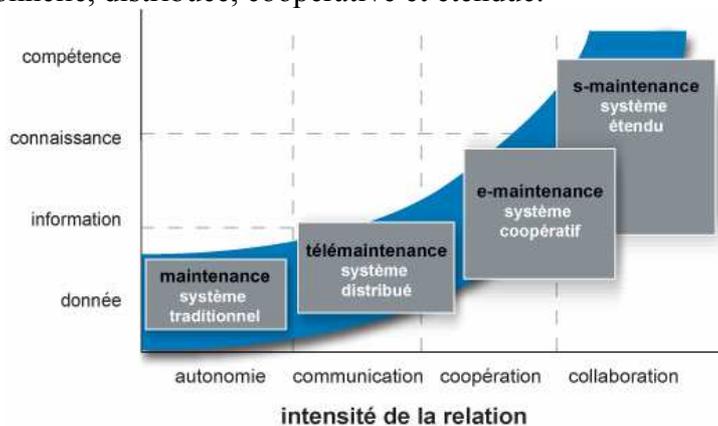


Figure 2. Classification de différentes architectures en maintenance

- **Le système de maintenance** comprend un seul système informatique présent sur le site de production et utilisé sur le site de maintenance. Ce système est autonome sans échange de données avec d'autres systèmes. En parallèle avec la classification des entreprises, cela correspond à l'entreprise traditionnelle, donc nous parlons d'une architecture traditionnelle d'un système d'information.

- **Le système de télémaintenance** est constitué d'au moins deux systèmes informatiques un émetteur et un récepteur de données et d'informations qui échangent à distance. Selon la définition d'AFNOR la télémaintenance est « la maintenance d'un bien exécutée sans accès physique du personnel au bien ». Nous parlons d'une architecture distribuée, basée sur la notion de distance qui permet de transférer les données par une radio, une ligne téléphonique ou par l'intermédiaire d'un réseau local.

- Avec l'extension d'Internet, les systèmes de télémaintenance émergent vers le concept d'e-maintenance. **Le système d'e-maintenance** sera implémenté sur une plateforme distribuée coopérative intégrant différents systèmes et applications de maintenance. Cette plateforme doit prendre appui sur le réseau mondial d'Internet (d'où le terme e-maintenance) et la technologie web permet d'échanger, de partager et de distribuer des données et des informations et de créer ensemble des connaissances. Ici le concept de la maintenance intelligente peut être exploité et les stratégies de maintenance proactives et coopératives sont mises en place.

- Enfin, nous proposons une architecture destinée à améliorer la performance de l'architecture d'e-maintenance au niveau de la communication et de l'échange des données entre les systèmes et qui permet de tenir compte de la sémantique des données traitées dans les applications - **la s-maintenance** (où « s » signifie sémantique) [Rasovska et al., 2005]. Nous décrirons à la section 5 ce concept qui prend appui sur le web sémantique.

4.1. Maintenance

Un système de maintenance est représenté par une application de maintenance ou de fiabilité des différentes activités de la fonction de maintenance telles que logistique, planning des interventions, gestion des stocks (géré par la GMAO, ERP), diagnostic et réparation (systèmes experts, bases de données), surveillance d'un équipement (SCADA, commande numérique sur un équipement). L'architecture de ces systèmes peut varier selon les différents objectifs visés. Par conséquent nous proposons de décrire les architectures de ces systèmes par un schéma générique valable pour n'importe quel système d'entreprise composé de deux parties principales, à savoir du système physique et du système de gestion. Le système de gestion produit l'ensemble des résultats ou décisions en se basant sur les informations provenant du système physique [Kaffel, 2001] (cf. fig. 3). L'acquisition des informations est manuelle ou plutôt limitée dans son automatisation et les décisions se font donc par l'intermédiaire d'un système d'information.

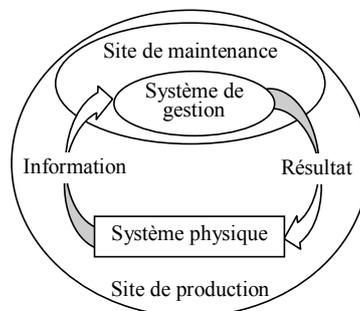


Figure 3. Architecture d'un système de maintenance

4.2. Télémaintenance

L'architecture de la télémaintenance est constituée de deux ou plusieurs systèmes ou sous-systèmes éloignés l'un de l'autre qui communiquent et échangent des données entre eux. Le mot télémaintenance est d'origine latino-grecque et est composé du mot grec « télé » signifiant loin et du mot latin « manuterer » qui contient le « manu » comme la main et « tenerer » comme tenir. L'un des systèmes peut fonctionner comme un système d'acquisition de données ; il représente l'émetteur de données structurées. Le deuxième système est le récepteur, fonctionnant comme un système de traitement de données. Le système émetteur peut envoyer les données automatiquement ou comme réponse à une requête de la part du système récepteur des données.

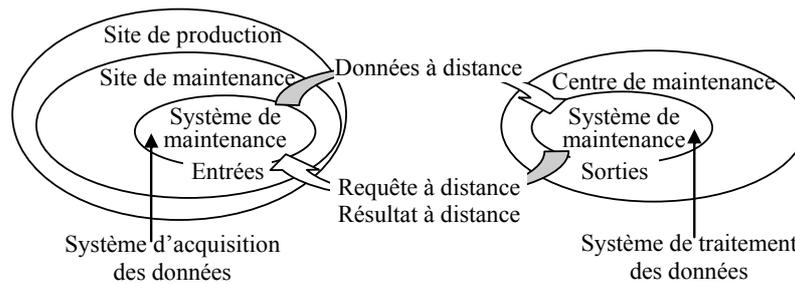


Figure 4. Architecture de télémaintenance

Les résultats du traitement de données (sorties) sont utilisés par les acteurs humains ou peuvent être renvoyés au système d'acquisition afin d'agencer l'acquisition des données. Pour que les données puissent être échangées elles doivent être structurées de façon qu'elles soient acceptables par les deux systèmes. Toujours en gardant l'aspect de distance, la télémaintenance peut être installée sur un seul site de production comme il peut être réparti entre différents site de production ou un site de maintenance et/ou un centre de maintenance.

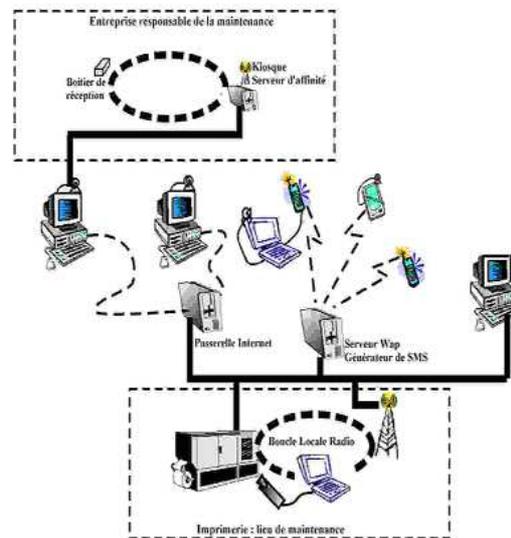


Figure 5. Exemple d'une architecture de télémaintenance (TEMIC)

Un exemple d'architecture de télémaintenance (cf. fig. 5) a été créé dans le projet TEMIC¹ (TELé-Maintenance Industrielle Coopérative) qui permettait la télémaintenance coopérative : non seulement le personnel de maintenance peut effectuer son travail à distance (télémaintenance) mais il peut le faire en collaboration avec d'autres experts (travail coopératif). L'accent a été mis sur l'aspect mobilité des membres coopérants à plusieurs niveaux :

- Niveau distant : les acteurs de la télémaintenance seront joignables quel que soit l'endroit où ils se trouvent, via le réseau de téléphonie mobile (GSM/GPRS).
- Niveau local (nomadisme) : par détection de la présence des acteurs de la télémaintenance dans un périmètre prédéfini (de l'ordre de 100m) au sein de l'entreprise qui gère la maintenance, pour joindre le technicien le plus compétant sur un problème particulier.

4.3. E-maintenance

L'architecture d'e-maintenance se fait via un réseau web qui permet de coopérer, d'échanger, partager et de distribuer ces informations aux différents systèmes partenaires de ce réseau (cf.

¹ http://www.telecom.gouv.fr/rnrt/rnrt/projets/res_01_13.htm

fig. 6). Le principe consiste à intégrer l'ensemble des différents systèmes de maintenance dans un seul système d'information [Muller, 2005]. Les systèmes proposent différents formats d'information qui ne sont pas toujours compatibles pour le partage ce qui nécessite la coordination et la coopération entre les systèmes pour les rendre interopérables. D'après [Spadoni, 2004], l'interopérabilité est « la capacité qu'ont deux systèmes de communication à communiquer de façon non ambiguë, que ces systèmes soient similaires ou différents. On peut dire que rendre interopérable, c'est créer de la compatibilité. » L'architecture d'e-maintenance doit alors assurer l'interopérabilité avec chacun de ces différents systèmes.

Le projet MIMOSA (The Machinery Information Management Open Systems Alliance) a été le premier dans les années 90 aux Etats Unis à développer un système complexe d'information unique pour la gestion de la maintenance [Kahn, 2003]. Le projet a eu pour objectif le développement d'un réseau de collaboration de maintenance en proposant la norme open de protocole EAI (Enterprise Application Integration). L'organisation préconise et développe des caractéristiques d'intégration de l'information pour permettre la gestion et le contrôle de la valeur ajoutée par les solutions ouvertes, intégrées et orientée industrie. Les solutions développées à partir des îlots d'information afin de créer la plateforme d'e-maintenance ont été proposées dans ce projet [Mitchell et al., 1998].

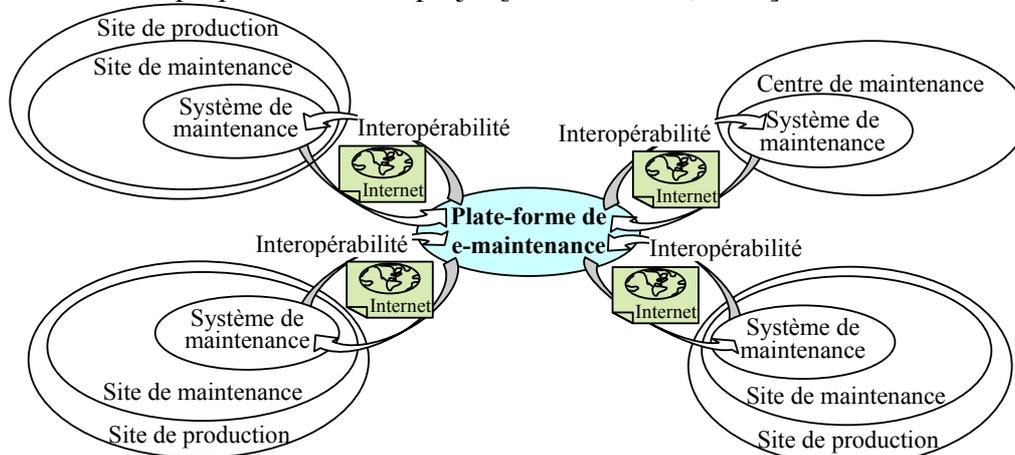


Figure 6. Architecture du concept de e-maintenance

Une architecture fonctionnelle OSA/CBM (Open System Architecture for Condition-Based Maintenance) dédiée au développement de stratégies de maintenance conditionnelle ou prévisionnelle [Lebold & Thurston, 2001] a été développée à partir du schéma relationnel MIMOSA CRIS. Elle contient sept modules flexibles dont le contenu (méthodologie et algorithmes) est configurable par l'utilisateur (cf. fig. 7). Elle peut être simplifiée et adaptée à chaque besoin industriel en réduisant des modules.

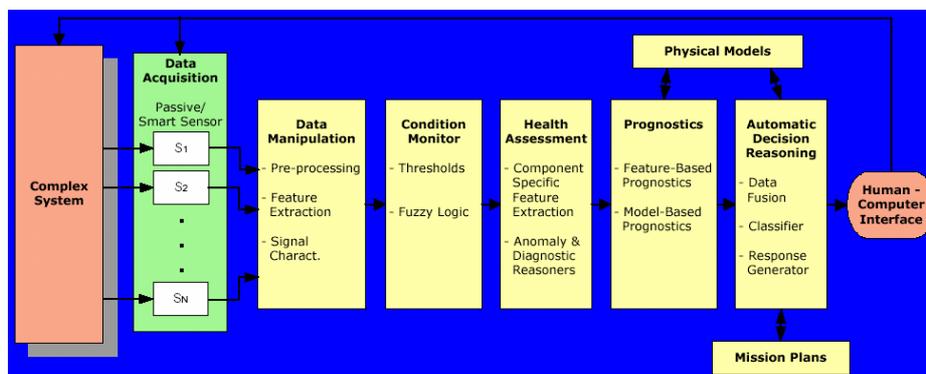


Figure 7. Projet OSA/CBM [Lebold & Thurston, 2001]

Une architecture d'e-maintenance a été présentée dans le projet européen Proteus² (cf. fig.8). Le projet avait comme objectif de fournir une plateforme distribuée coopérative d'e-maintenance incluant les systèmes existants d'acquisition de données, de contrôle commande, de gestion de la maintenance, d'aide au diagnostic, de gestion de la documentation, etc. Le concept de cette plateforme est défini par la description unique et cohérente de l'installation à maintenir (une ontologie), par l'architecture générique basée sur les concepts de Web services et en proposant des modèles et des solutions technologiques d'intégration. Ces techniques permettent de garantir l'interopérabilité de systèmes hétérogènes afin d'assurer l'échange et le partage des informations, des données ainsi que des connaissances. Le but de la plateforme est non seulement d'intégrer des outils existants, mais aussi de prévoir l'évolution de ceux-ci au travers de l'introduction de nouveaux services.

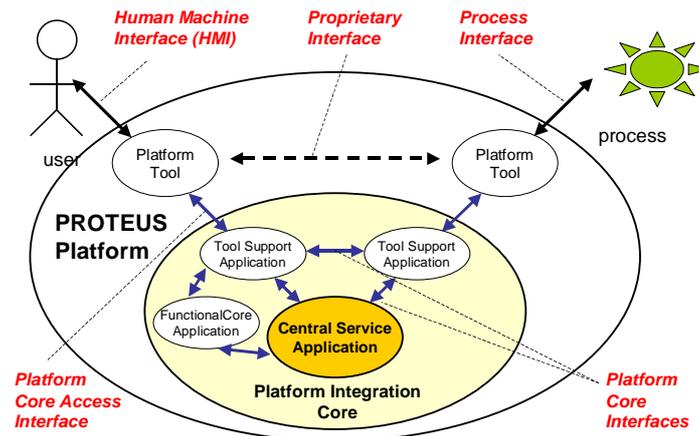


Figure 8. Plate-forme de e-maintenance Proteus [www.proteus-iteaproject.com]

Les web services ont été conçus pour garantir l'interopérabilité entre les différentes applications de la plateforme. Mais ils s'avèrent que le protocole d'interconnexion des interfaces ne traite pas de la sémantique des données en entrée et en sortie. Le langage XML utilisé comme base d'échange de données gère des structures plates et doit être utilisé avec la norme RdF pour garantir les liens entre ces entités. Cette architecture garantit l'interopérabilité technique - lien entre les systèmes informatiques et les services qu'ils procurent mais ne tient pas compte de l'interopérabilité sémantique, qui consiste à donner du « sens » (une sémantique) aux informations échangées et de s'assurer que ce sens soit distribué dans tous les systèmes entre lesquels des échanges doivent être mis en oeuvre. La prise en compte de cette sémantique permet à ces systèmes de combiner les informations reçues avec d'autres informations locales et de les traiter de manière appropriée par rapport à cette sémantique [Wikipedia, 2005].

5. Interopérabilité sémantique dans les architectures de maintenance

Nous cherchons donc à mettre en place une architecture traitant de l'interopérabilité sémantique des données.

5.1. Interopérabilité sémantique

L'interopérabilité sémantique intéresse actuellement différents travaux qui ont été classés suivant Park et Ram (2004) en trois grandes approches :

² www.proteus-iteaproject.com

1. L'interopérabilité par cartographie (mapping based approach). Il a pour but de construire des cartographies entre données ou éléments de modèles sémantiquement reliés [Baïna et al., 2006]. Des règles de transformation sont mises en place pour traduire ou fédérer des schémas locaux à un schéma global. On adopte donc une approche consistant à étudier l'interopérabilité sémantique via une transformation [Rahm et Bernstein, 2001, Halevy et Madhavan, 2003].

2. L'interopérabilité par des langages interopérables. Ces langages de requêtes prennent en compte des données et méta données pour résoudre des conflits sémantiques entre l'interrogation de plusieurs bases de données [Fauvet et Baïna, 2003].

3. L'interopérabilité par des mécanismes intermédiaires tels que des médiateurs des agents des ontologies. Ces mécanismes doivent toutefois avoir une connaissance spécifique du domaine pour coordonner différentes sources de données via la plus part du temps des ontologies [Maedche et Staab, 2000, Halevy et al., 2005].

La deuxième approche nécessitant la présence de l'utilisateur pour résoudre les conflits, ne nous concerne pas. Par contre la troisième approche nous semble prometteuse et correspond aux travaux de gestion des connaissances que nous avons mis en œuvre sur un module de diagnostic et de réparation appliqué à une plateforme d'e-maintenance [Rasovska et al., 2005]. Un des problèmes posé par cette approche est la définition d'ontologie commune. Dans notre cas lié à une approche métier concernant la maintenance, une ontologie relative aux équipements a été mise en place lors de l'élaboration de la plateforme d'e-maintenance dans le cadre du projet européen PROTEUS. L'ontologie mise en place, orientée vers une approche métier en l'occurrence la maintenance d'équipements industriels, est un dénominateur commun entre les différentes applications mise en place dans une plateforme d'e-maintenance. Toutefois cette ontologie n'a pas été exploitée par tous les modules d'aide de la plateforme, mais seulement par notre module d'aide au diagnostic et à la réparation. Ce qui n'a pas permis de garantir l'interopérabilité sémantique de la plateforme. Nous proposons de généraliser aux autres applications d'aide à la maintenance, l'utilisation d'ontologies communes afin de garantir cette interopérabilité sémantique. Un des freins à cette utilisation, est d'avoir une démarche de management des connaissances lors de l'élaboration des systèmes d'aide à la maintenance.

5.2 Architecture de s-maintenance

L'architecture d'une plateforme de s-maintenance prend appui sur l'architecture d'e-maintenance où l'interopérabilité des différents systèmes intégrés dans la plate-forme est garantie par un échange de connaissances représentées par une ontologie. Afin que le partage de l'information dans le réseau coopératif d'e-maintenance soit sans difficulté, nous sommes obligé de formaliser cette information d'une façon à pouvoir l'exploiter dans les différents systèmes faisant partie du réseau. Nous approfondissons donc la coordination entre les partenaires du réseau et nous élaborons une base ontologique du domaine de partage de l'information. Les systèmes partagent la sémantique créée pour l'architecture commune de la plateforme d'e-maintenance (cf. fig.9). Cette base terminologique et ontologique modélise l'ensemble des connaissances d'un domaine. Elle jouera le rôle de la mémoire permettant de mettre en place un système de gestion et de capitalisation des connaissances et exploiter ainsi le retour d'expériences pour améliorer le fonctionnement de système de maintenance. Ce système va employer les outils du domaine de l'ingénierie des connaissances ainsi que de la gestion des connaissances. L'outil logiciel doit jouer le rôle d'intégrateur de service capable de se connecter aux autres systèmes, propres aux entreprises. Ce système de connaissances permet d'identifier, capitaliser et restituer la connaissance nécessaire à la conduite, à l'aide d'un environnement d'assistance [Kramer, 2003]. La sémantique a trois niveaux, à savoir les

concepts généraux de la maintenance, les concepts du domaine d'application, et les concepts spécifiques à chaque entreprise.

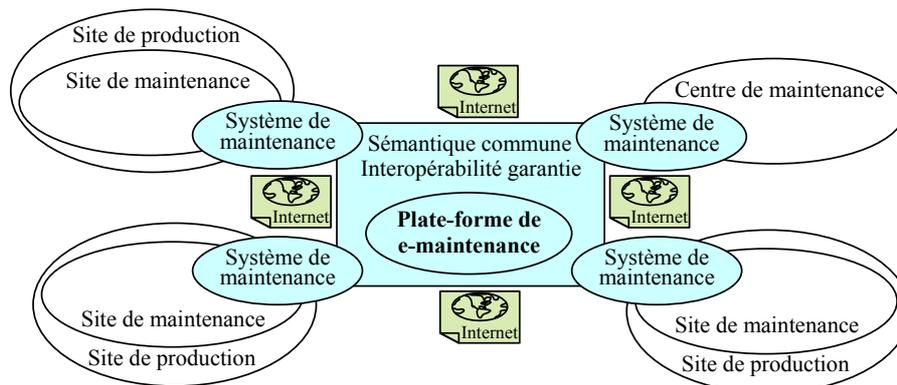


Figure 9. Architecture du concept de s-maintenance

Ce système prend appui sur le concept d'e-maintenance avec un échange d'informations non plus sur les web services mais nécessitant des contraintes supplémentaires basées sur la norme « OKC » issue du web sémantique. La sémantique de l'information échangée nécessite la création d'ontologie du domaine commune aux différents systèmes. Elle permet d'utiliser et de créer des connaissances et des compétences qui aboutissent à l'utilisation des techniques du management des connaissances et permet de capitaliser des connaissances acquises. Les systèmes collaborent, ce qui suppose un effort coordonné pour résoudre ensemble des problèmes.

6. Conclusion

Les nouvelles technologies de l'information permettent d'intégrer différents systèmes d'aide via des plateformes. Nous avons proposé une classification des différentes architectures de maintenance existantes pour en déduire une architecture comme système support aux services de maintenance. La classification des différentes architectures est faite en fonction de l'intensité des relations entre les systèmes (autonomie, communication, coopération, collaboration) dans une architecture particulière.

Nous avons mis en évidence un type d'architecture de maintenance sémantique : la s-maintenance qui prend appui sur des ontologies communes aux différents systèmes et sur la technologie émergente du Web sémantique. En effet, ces ontologies sont les témoins d'une démarche de gestion des connaissances. Dans cette mouvance, nous proposons d'effectuer une démarche de capitalisation des connaissances pour l'élaboration d'un service de maintenance, destiné à une plateforme d'e-maintenance. Notre objectif est double :

- Premièrement, l'élaboration d'une ontologie liée à l'équipement à maintenir et commune pour la plateforme permettra de garantir l'interopérabilité entre les systèmes et les applications intégrés.

- Deuxièmement, la démarche de capitalisation des connaissances permettra de formaliser et de préserver les connaissances et les expériences des employés d'entreprise. En effet, la fluctuation du personnel et le départ des experts entraînent une perte de savoir et savoir faire, que les entreprises cherchent à pallier par une démarche de gestion des connaissances.

L'architecture de la plateforme proposée permet d'augmenter l'efficacité du processus de maintenance tout en apportant l'expertise via l'Internet directement vers un acteur du système de maintenance. La plateforme présente deux caractéristiques importantes :

- la facilité d'intégration de nombreux systèmes informatiques en maintenance,

- la mise en relation de tout acteur concourant à la maintenance des équipements donnés dans un parc machines donné.

6. Références bibliographiques

- Baïna S., Panetto H. et Benali K., Apport de l'approche MDA pour une interopérabilité sémantique : Interopérabilité des systèmes d'information d'entreprise, *Processus d'entreprise et SI*, RSTI-ISI, pp.11-29, novembre 2006.
- Boucly F., *Le management de la maintenance : Evolution et mutation*, Editions Afnor, 1998.
- Dedun I. et Seville M., Les systèmes d'information interorganisationnels comme médiateurs de la construction de la collaboration au sein des chaînes logistiques : Du partage d'information aux processus d'apprentissages collectifs. Proc. du 6ième congrès international du Génie Industriel, Besançon, juin, 2005.
- Francastel J.C., *Externalisation de la maintenance : Stratégies, méthodes et contrats*. Dunod, Paris, 2003.
- Halevy A. et Madhavan J., Composing mappings among data sources, *Proceedings of the conference on very large databases*, p. 572-583, Berlin, Germany, 2003.
- Halevy G.I., Dan Suciu D. et Tatarinov I., Schema mediation for large-scale semantic data sharing, *The VLDB Journal, The international Journal on Very Large Data Bases*, vol.14, n°1, March, 2005.
- Kaffel H., *La maintenance distribuée: concept, évaluation et mise en œuvre*. Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, 2001.
- Kahn J., Overview of MIMOSA and the Open System Architecture for Enterprise Application Integration. Proc. of COMADEM 2003, pp. 661-670, Växjö University, Sweden, 2003.
- Kramer I., *Proteus - Modélisation terminologique*, INRIA, 2003.
- Lebold M. et Thurston M., Open standards for Condition-Based Maintenance and Prognostic Systems. Proc. of 5th Annual Maintenance and Reliability Conference (MARCON 2001), Gatlinburg, USA, 2001.
- Maedche A. et Staab S., Semi-automatic engineering of ontologies from texts, *Proceedings of the 12th International Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering (SEKE 2000)*, p. 231-239, USA, 2000.
- Mitchell J., Bond T., Bever K. et Manning N., MIMOSA – Four Years Later. *Sound and Vibration*, pp. 12-21, November, 1998.
- Muller A., *Contribution à la maintenance prévisionnelle des systèmes de production par la formalisation d'un processus de pronostic*. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré, Nancy, juin, 2005.
- Park J. et Ram S., Information System Interoperability: What Lies Beneath?, *ACM Transactions on Information Systems*, vol. 22, n°4, October, 2004.
- Rahm E. et Bernstein P.A., A survey of approaches to automatic schema matching, *The International Journal on Very Large Data Bases*, vol. 10, n° 4, p.334-350, 2001.
- Rasovska I., Chebel-Morello B. et Zerhouni N., Process of s-maintenance: decision support system for maintenance intervention. Proc. of 10th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation ETFA'05, Italie, 2005.
- Spadoni M., *Système d'information centré sur le modèle CIMOSA dans un contexte d'entreprise étendue*, JESA, Volume 38, n° 5, pp. 497-525, 2004.
- Wikipedia 2005. Disponible sur: <http://fr.wikipedia.org>.