

## E-MAINTENANCE DES NAVIRES ARMES APPLICATION DU CONCEPT DE E-MAINTENANCE A UN SYSTEME NAVAL DE DEFENSE : NEMOSYS®

Pascal BRESSY\*, Claude ALLEMAND, Noureddine ZERHOUNI\*\*, Jean-Baptiste LEGER\*\*\*

Résumé. - Le développement des technologies de l'information et de la communication permet d'imaginer la mise en œuvre sur les futurs navires armés de la Marine Nationale Française d'un concept de maintenance novateur appelé e-Maintenance. Ce nouveau concept satisfait les exigences fixées en matière d'amélioration de la disponibilité opérationnelle du bâtiment à la mer et de réduction des équipages à bord. Ce concept e-Maintenance est déployé à partir d'un système baptisé NEMOSYS® (Naval E-Maintenance Oriented SYStem). NEMOSYS® assure des fonctionnalités de suivi des dérives de fonctionnement, de prévision des pannes, de diagnostic des causes, de partage des connaissances, de soutien à la maintenance, de mise à jour du retour d'expérience, le tout implémenté de façon distribuée.

Mots-clés : e-Maintenance, surveillance, diagnostic, pronostic, base de connaissances.

### 1. Introduction

Afin d'assurer une capacité militaire suffisante, le maintien en condition opérationnelle (MCO) des navires armés constitue un enjeu essentiel dans un contexte d'amélioration de la disponibilité technique sur la durée de vie des bâtiments et de la disponibilité opérationnelle durant la mission, de la réduction des effectifs à bord tout en diminuant le coût global de possession.

---

\* DCN Ingénierie, BP 1306, 83076 Toulon Cedex, {pascal.bressy, claude.allemand}@dcn.fr.

\*\* LAB-ENSMM, 24 rue Alain Savary, 25000 Besançon, noureddine.zerhouni@ens2m.fr.

\*\*\* PREDICT, 2 rue Carnot, BP 305, 54515 Vandoeuvre Cedex, jean-baptiste.leger@predict.fr.

Pour atteindre ces objectifs, le développement du concept de e-Maintenance est une piste d'évolution potentielle. DCN vient d'initier un projet de faisabilité pour la mise en œuvre d'une stratégie de e-Maintenance permettant d'offrir de nouveaux services au travers du système NEMOSYS® (Naval E-Maintenance Oriented SYStem).

Ce projet centré dans un premier temps sur le système de combat se déploie également sur la plate-forme du navire armé.

Le présent papier a donc pour objet d'introduire les objectifs stratégiques, d'explicitier la problématique liée à un navire armé, de montrer l'intérêt de la e-Maintenance et des systèmes à base de connaissances en regard de la problématique et de présenter les fonctionnalités de la plate-forme NEMOSYS®.

## 2. Objectifs stratégiques

Pour accroître l'efficacité de la flotte de la Marine Nationale, les programmes navals de bâtiments de surface et de sous-marins sont, dès aujourd'hui, développés avec des objectifs ambitieux qui conduisent à un besoin renforcé de fiabilité des systèmes. On peut citer en particulier :

- Une permanence à la mer accrue avec des objectifs de l'ordre de 300 jours par an, ce qui impose des contraintes importantes de robustesse et de maintenance réduite sur les systèmes à bord. La plate-forme navale du bâtiment doit être particulièrement fiable, capable de s'auto diagnostiquer pour faciliter la recherche de pannes et de pouvoir détecter d'éventuelles usures ou dégradations de performances. Le système de combat, quant à lui, doit se maintenir dans une situation de veille avec une disponibilité technique et opérationnelle à la mer maximale.
- Un équipage réduit de l'ordre de 50 % par rapport aux effectifs embarqués sur les bâtiments armés naviguant actuellement sur toutes les mers du globe avec pour conséquences majeures du point de vue opérationnel du navire la limitation des possibilités de surveillance et de maintenance des organes mécaniques et électroniques par l'équipage et l'automatisation des tâches de surveillance et d'alarme.

Dans ce contexte, l'émergence des concepts suivants favorise la mise en place de solutions permettant d'atteindre ces objectifs :

- Le concept de système de forces qui est en vigueur au ministère de la Défense depuis 1997. L'approche des programmes d'armement par système de forces correspond à de grandes fonctions/missions présentant l'avantage de mettre en relation, à partir de concepts d'emploi des forces, des capacités, des organisations et des doctrines pour obtenir une cohérence au niveau global. Un des systèmes de forces prépondérant concerne la maîtrise du milieu aéromaritime. Il fait appel à la fois aux milieux terre, air et mer en assurant une communication permanente entre ces milieux. Il a pour fonctions essentielles, d'une part, le soutien opérationnel des forces de dissuasion (Sous-Marin Nucléaire) et de projection, et, d'autre part, la prévention et la protection. Il est défini par une zone géographique composée d'une surface maritime d'étendue variable (côtière, locale, régionale, océanique, mondiale), augmentée de sa troisième dimension : vers le bas dans le domaine sous-marins et vers le haut dans le domaine aéronaval.
- Le concept de mécatronique des technologies de l'information et de la communication (TIC), en particulier d'Internet et une meilleure exploitation de l'abondance des informations issue des équipements (mécatronique) changent les approches de maintenance industrielle. Le nouvel enjeu est plus que jamais prévenir plutôt que guérir. Les TIC ont largement contribué à accélérer le développement de nouveaux produits et de nouvelles offres de services. Toutes les activités sont concernées ; aussi assiste-t-on à la naissance de nouvelles disciplines : e-manufacturing, e-maintenance, e-logistique, e-business.

De toutes ces activités, l'e-Maintenance apparaît comme déterminante pour l'amélioration des performances globales (Senechal *et al.*, 2004). En ce sens, les concepts de la Télémaintenance ont évolué pour aboutir à la e-Maintenance. La Télémaintenance est un concept de récupération de données à distance ou de prise de contrôle à distance d'un système. Les données sont momentanément accessibles car les capacités de stockage local sont limitées et les données récupérées sur le site distant manquent de structuration au sens d'un système d'information.

La e-Maintenance est un concept lié au principe de web-services, de coopération (Benaouda *et al.*, 2002) et de partage des connaissances. Les données ne sont plus éphémères, elles sont filtrées, stockées, traitées, structurées en vue d'être exploitées en tant qu'indicateurs et de connaissances.

Associé à cette notion de système d'information, la e-Maintenance intègre un principe fort de Coopération (Noyes *et al.*, 1998) au niveau des informations mais également au niveau :

- des hommes,
- des services : ingénierie, exploitation, maintenance, sûreté, achats,
- des sociétés : client/fournisseur, inter fournisseurs, inter clients.

Ainsi, un grand nombre de services peut être proposé au travers de la e-Maintenance : Télésurveillance / pré-alarme, Prévision des pannes et du temps avant la « casse », Assistance au diagnostic par expertise collaborative, Aide à la remise en condition opérationnelle, E-test, Centre d'assistance (Helpdesk).

### 3. Présentation d'un navire armé

Un bâtiment de la Marine Nationale de type bâtiment de surface ou sous-marin est considéré comme un système baptisé le Navire Armé. Il est composé d'une plateforme propulsée et d'un système de combat.

Pour une frégate, la plate-forme propulsée embarque des systèmes mécaniques imposants au premier rang desquels on trouve la propulsion, par exemple de type CODOG (COMbined Diesel Or Gas) dotée de deux lignes d'arbres, chacune étant mue soit par une turbine à gaz de l'ordre de 20 MW, soit par un moteur diesel de propulsion. Cette configuration permet d'allier la puissance et la dynamique procurées par la turbine à gaz et une grande autonomie apportée par le diesel de propulsion aux vitesses plus basses.

La frégate comprend aussi une usine électrique composée de quatre diesels générateurs de plus d'un mégawatt, avec un système de distribution permettant d'alimenter l'ensemble des systèmes du bord. L'ensemble de ces systèmes est surveillé et commandé par le système de management de la plateforme d'un niveau d'automatisation élevé permettant à l'équipage d'assurer la conduite de la plateforme et offrant une facilité de reconfiguration des liens de conduite permettant de faire face aux situations dégradées.

Le système de combat est la réunion des systèmes suivants :

- le système de management de combat qui est le cœur informatique du système et qui assure les fonctions de collecte, de traitement et de redistribution de l'information ;
- les senseurs de type radars, veille infrarouge, guerre électronique, etc. ;
- les communications intérieures et extérieures du bâtiment ;
- les systèmes d'armes.

Le système de management de combat est la réunion de deux sous-systèmes :

- le système de direction de combat qui est la boucle courte du traitement de l'information tactique avec des temps de réponse de l'ordre de la seconde et qui gère également les liaisons automatiques de données tactiques ;
- le système d'aide au commandement dont le temps de réponse est un peu plus long de l'ordre de la minute, et dont la finalité est de fournir au commandement des informations évoluant plus lentement telles que : les informations sur le théâtre d'opération, sur l'environnement physique, etc.

Les différents systèmes de combat de la famille SENIT se sont succédés depuis presque un demi-siècle, du premier SENIT UNIVAC à base de matériels américains jusqu'au SENIT 8 équipant le Porte-avions Charles-de-Gaulle, avec une volonté de modernisation permanente.

Les premiers systèmes informatiques embarqués ont interconnecté les senseurs et les systèmes d'armes, pour intégrer les fonctions de mise en œuvre depuis l'exploitation des signaux bruts fournis par les senseurs jusqu'à la mise à feu de l'arme, avec toutes les fonctions de conduite et de surveillance associées.

L'évolution a fait qu'outre ces fonctions de base, ces systèmes ont été dotés d'autres fonctionnalités, en liaison avec les aides tactiques et les aides au commandement. Les systèmes de communication sont venus s'intégrer également.

#### **4. Intérêt de la e-Maintenance**

Les atouts de la e-Maintenance sont de mutualiser les compétences, les métiers et l'expérience afin d'apporter un service efficient à un utilisateur par rapport à ses objectifs de disponibilité, de maintenabilité et de réduction des coûts.

Pour une société offrant ces services, la e-Maintenance lui permet de capitaliser les connaissances et l'expérience afin de rentabiliser ses contrats sur plusieurs clients.

##### ***4.1 Développement de la maintenance proactive***

Bien que la e-Maintenance ne soit pas une politique de maintenance en soi, elle est plus à même de favoriser la mise en place d'une maintenance prévisionnelle de type maintenance proactive.

Cette potentialité est liée au fait que la e-Maintenance permet de recueillir des données périodiquement, en temps réel, provenant du système afin d'établir un bilan de santé réel en complément des indicateurs prévisionnels basés sur des MTBF et des MTTR. Ce lien continu

avec le système permet de suivre son état de dégradation, de diagnostiquer les dégradations et non plus les défaillances (Leger *et al.*, 1998), et de prévoir à la fois le temps avant la panne et les conséquences.

C'est pourquoi la e-Maintenance met en place trois services fondamentaux (Leger *et al.*, 2001) :

- la surveillance temps réel des dégradations du système pour empêcher les pannes et les immobilisations accidentelles (Zemouri *et al.*, 2001) ;
- le diagnostic pour connaître précisément les équipements défaillants ou se dégradant afin de les remplacer dès la prochaine période d'arrêt ;
- le pronostic pour prévoir les pannes et planifier au mieux les interventions afin de continuer à exploiter le système dans des conditions acceptables.

Les informations venant du système, des automatismes, des systèmes d'acquisition, des capteurs permettent de disposer de valeurs de variables mesurées en continu afin d'élaborer des symptômes ou signes avant-coureurs de dysfonctionnement, de récupérer le nombre de cycles de fonctionnement, le temps d'exploitation, les puissances consommées,... afin de corrélérer ces informations avec le diagnostic et de pondérer les possibilités de cause pour identifier celle réellement fautive. En complément de cette possibilité d'implantation de la maintenance proactive, la e-Maintenance répond pleinement aux besoins de la maintenance systématique afin d'optimiser les interventions périodiques et apporte un soutien pour rendre plus efficace la maintenance corrective.

#### **4.2 Capitalisation des connaissances**

La conception d'outils d'aide à la décision tels que la e-Maintenance s'appuyant sur l'expertise capitalisée d'un domaine nécessite une modélisation cognitive des processus et des connaissances utilisées par l'opérateur lors de son activité. Capitaliser revient « à formaliser une expérience acquise dans un domaine spécifique ». La plupart des techniques de capitalisation des connaissances préconisent la création d'un recueil d'information à partir de documents et d'entretien avec des experts, d'une modélisation du domaine suivie d'une représentation qui consiste à traduire la modélisation dans un formalisme. Pour répondre au mieux aux besoins des utilisateurs, ces méthodes demanderaient à être conçues, à partir du fonctionnement cognitif humain, ce qu'essaient de faire les méthodes de raisonnement à partir de cas (Aha, 1991) (Kolodner, 1993). En effet, la réutilisation de cas analogue est un des mécanismes du raisonnement analogique et s'intéresse à l'organisation de la mémoire épisodique. Les travaux dans le cadre de la e-Maintenance s'orientent donc vers l'élaboration d'une base de cas et sa

structuration qui seront au cœur du système interactif d'aide à la décision pour le navire armé. Elaborer un système d'aide suppose, au préalable, une modélisation des processus et des connaissances de l'opérateur à aider, c'est-à-dire la prise en compte des besoins et des ressources dans le domaine de défense navale. On considère que le spécialiste de maintenance peut opérer hors site ou sur site et doit être capable de contrôler et de gérer le plan de maintenance pendant le cycle de vie du système. Les efforts actuels portent sur l'élaboration d'un système d'aide au diagnostic et à la réparation qui s'intégrera dans une plate-forme de e-Maintenance. Au cœur de cette analyse se trouve le système naval, avec le recensement des différentes techniques expertes qui seront la base du diagnostic et de l'expertise associée. Les efforts portent également sur la construction de l'ontologie du domaine d'expertise à partir de l'étude du processus de maintenance et de l'expertise associée. Une méthode d'analyse et de conception par objet utilisant le langage de modélisation UML a été choisi pour développer cette ontologie. Le raisonnement adopté est le raisonnement à partir de cas dédié au domaine du diagnostic en maintenance industrielle (Harrath *et al.*, 2004).

La réalisation d'un système de raisonnement à partir de cas (RàPC) passe par la représentation des connaissances de l'expert et l'exploitation de ses connaissances. Le RàPC met en œuvre une base de cas contenant des expériences de problèmes résolus où l'on peut rechercher des expériences passées similaires au problème à résoudre (Koonce *et al.*, 2000). Une étape de remémoration permet de trouver les cas similaires dans la base de cas face à une nouvelle situation. Les solutions des cas retrouvés sont utilisées comme base pour résoudre le problème courant, moyennant une phase d'adaptation pour prendre en compte les différences entre le cas remémoré et le cas nouveau. Ces cas sont mémorisés et organisés en fonction de critères bien déterminés permettant de les retrouver efficacement.

## 5. NEMOSYS®: un système de e-Maintenance

### 5.1 NEMOSYS® : une approche par les services

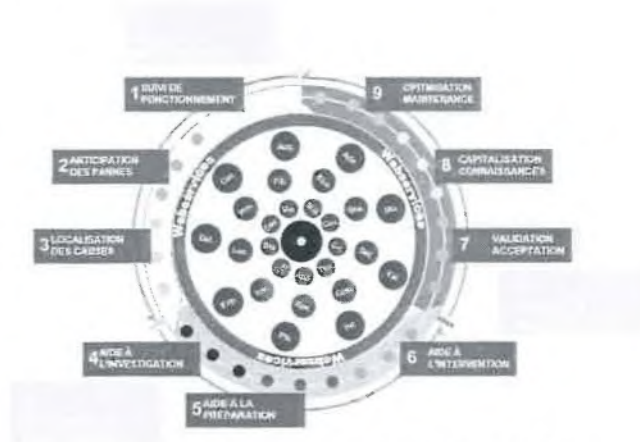


Figure 1. Les services de NEMOSYS®

NEMOSYS® se caractérise par un ensemble de services ordonnés selon une chronologie (figure 1) qui se définit de la façon suivante :

- avant la maintenance : l'ensemble des services accomplis avant une intervention de maintenance
- pendant la maintenance : l'ensemble des services accomplis pendant la maintenance
- après la maintenance : l'ensemble des services accomplis après une intervention de maintenance

Globalement, les services « avant la maintenance » concourent au déploiement de la maintenance proactive, les services « après la maintenance » consolident la capitalisation des connaissances et les services « pendant la maintenance » contribuent à la performance de la maintenance opérationnelle (tableau 1).

	Service	Objectif	Fonctions
1	Aide au suivi du fonctionnement	Disposer d'une image la plus proche possible du comportement réel (normal / anormal) du système	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acquérir les données de la plate-forme et du système de combat</li> <li>• Se limiter aux informations correctes et pertinentes</li> <li>• Présenter à l'utilisateur l'état de fonctionnement en temps-réel et l'alerter sur les avaries</li> </ul>



	Service	Objectif	Fonctions
2	Aide à l'anticipation des pannes	A partir d'un état courant, extrapoler les évolutions possibles, calculer le temps avant la casse, en déterminer les risques, le degré de confiance et aider à la prise de décision.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caractérisation du fonctionnement et du type de dérives</li> <li>• Pronostic de l'évolution future de la dérive de fonctionnement, des conséquences et du temps avant la casse</li> <li>• Evaluation des risques, du degré de confiance et aide à la décision</li> <li>• Impact sur la mission opérationnelle</li> </ul>
3	Aide à la localisation des pannes	A partir d'une situation, disposer de l'ensemble des symptômes permettant de localiser et d'identifier précisément la cause de la dégradation.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Détection de symptôme, de dérive, de dégradation, de signe avant-coureur de panne</li> <li>• Localisation topofonctionnelle de la cause (source) du problème</li> <li>• Identification précise de la cause en vue d'intervenir réellement sur l'origine du problème et non sur de potentiels effets</li> </ul>
4	Aide à l'investigation	Investiguer afin de valider et d'enrichir l'expertise et d'apporter les éléments de réflexions permettant une ultime prise de décision objective avant le déclenchement des tâches logistiques. Plus l'expertise est juste et pertinente plus le travail logistique en aval sera conforme aux besoins.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Soutien et support d'experts à distance afin d'apporter les compléments d'information nécessaires à l'expertise</li> <li>• Recherche d'Informations complémentaires afin de reconstituer la situation survenue et d'avoir l'analyse la plus juste possible face à ce qui s'est réellement passé</li> <li>• Aider la décision afin de lancer de façon objective les interventions de maintenance</li> </ul>
5	Aide à la Préparation	Réaliser la préparation des travaux avec efficacité et dans les délais. La e-Maintenance permet d'exporter vers la GMAO des informations suffisamment riches sans être obligé de les rechercher et de les ressaisir.	<p>L'expertise approfondie réalisée via la e-Maintenance permet de dresser avec précision :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• les actions de maintenance à planifier,</li> <li>• les ressources à gérer,</li> <li>• les pièces détachées à approvisionner.</li> </ul>
6	Aide à l'intervention	Apporter tous les compléments d'information lors de la phase d'intervention afin de garantir la bonne réalisation de l'intervention.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Accès le plus direct (visualisation au plus proche du lieu d'intervention) sous sa forme la plus représentative (multimédia) aux illustrations permettant de conforter, de guider, d'expliciter... une action de maintenance</li> <li>• Accès le plus direct (au plus proche du</li> </ul>

	Service	Objectif	Fonctions
		l'intervention.	<p>lieu d'intervention) aux connaissances expertes afin d'avoir des conseils, des recommandations, des consignes lors de l'intervention de maintenance</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tester de manière approfondie un sous-système, c'est-à-dire effectuer des tests tenant compte de la situation passée, de l'état présent, des prévisions...rejouer des scénarii</li> </ul>
7	Aide à la validation de l'intervention	Apporter toutes les preuves et/ou tous les éléments de décision permettant de valider objectivement une intervention	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Validation des éléments caractérisant la panne (symptôme, cause, conséquence...) et acceptation de la clôture technique par comparaison entre les performances requises et celles réelles.</li> <li>• Elimination, gestion et acquittement des alarmes / alertes</li> <li>• Complétude du rapport d'intervention avec les données contextuelles du phénomène apparu</li> </ul>
8	Aide à la capitalisation des connaissances	Tracer et stocker dans la mémoire de l'entreprise les connaissances acquises lors de l'apparition de la panne et de la remise en état.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stockage des comptes-rendus et des données contextuelles</li> <li>• Remontée des comptes-rendus bord vers les centres à terre en vue de mutualiser les expertises et les savoir-faire</li> <li>• Gestion et administration des connaissances en vue de ne garder que les informations juste nécessaires à bord, toute connaissance obsolète est archivée, toute nouvelle connaissance est activée</li> </ul>
9	Aide à l'optimisation de la maintenance	Apporter à bord tous les indicateurs ainsi que la prise de risque permettant d'optimiser un plan de maintenance en connaissance de cause.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adapter dynamiquement le plan de maintenance en fonction des expériences mutualisées et des tableaux de bord, l'optimisation proposée intégrant une notion de risque n'est validée que par le bord</li> <li>• Faire bénéficier à bord du retour d'expérience mutualisé entre différents navires et de partager l'expérience</li> <li>• Mettre à jour dynamiquement les tableaux de bord de maintenance ainsi que l'ensemble des indicateurs qui les composent</li> </ul>

Tableau 1 - La couverture des services de NEMOSYS® par les fonctions

## 5.2 NEMOSYS® : une plate-forme e-Maintenance

NEMOSYS® est une plate-forme (figure 2) accueillant les services définis ci-dessus. Ainsi, NEMOSYS® permet aux clients et aux industriels de disposer des indicateurs de suivi de performances et d'aide au diagnostic permettant de maîtriser les dérives de fonctionnement avant même l'apparition d'un dysfonctionnement bloquant un des sous-systèmes du navire armé.

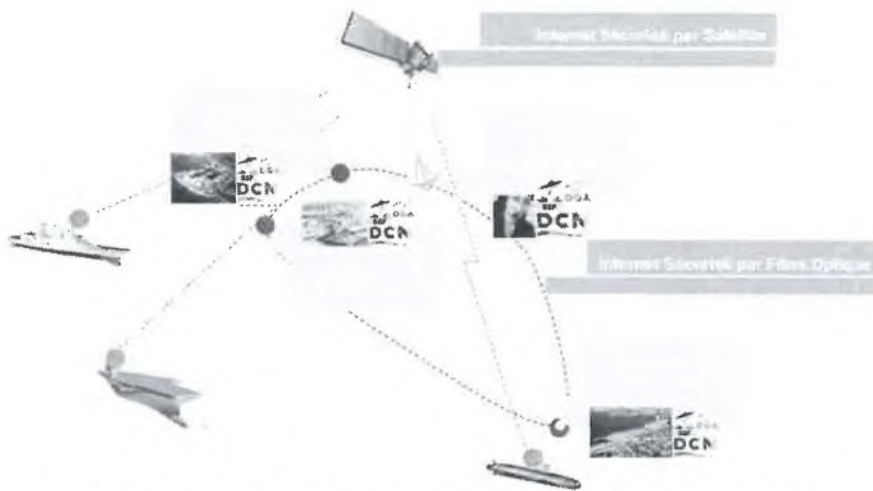


Figure 2 - NEMOSYS® plate-forme distribuée Terre / Mer

En ce sens, NEMOSYS® permet de mettre en œuvre un système distribué et temps réel de e-Maintenance en tenant compte des dysfonctionnements de façon globale et systémique.

Basé sur des standards de communication interopérable (OPC : OLE for Process Control), NEMOSYS® permet une communication avec une large gamme de réseaux de systèmes et/ou industriels.

Dans un souci d'intégration entre les différents systèmes que composent le navire armé, NEMOSYS® est connecté au réseau de Distribution Numérique du Navire Armé (DINNA™).

Cette communication confère un grand nombre de possibilités pour dialoguer tant avec les systèmes, les automates, que les capteurs et les entrées/sorties distribuées. Une communication indépendante assure également une certaine robustesse et autonomie notamment en cas de défaillance d'un des sous-systèmes.

## 6. Conclusion

DCN prouve au travers de ce projet l'intérêt stratégique du concept de e-Maintenance permettant de faire évoluer son offre de logistique initiale et de MCO associé vers une offre globale de service de soutien pendant toute la durée de vie du navire armé.

Le système NEMOSYS® permet aux clients et aux industriels de disposer des indicateurs de suivi de performances et d'aide au diagnostic permettant de maîtriser les dérives de fonctionnement avant même l'apparition d'un dysfonctionnement bloquant un des systèmes du navire armé.

Son intérêt se mesure à la fois sur la visibilité réelle du potentiel opérationnel des systèmes pour le client et sur la capacité de DCN à « dérisquer » l'engagement relatif à une exigence de disponibilité globale.

NEMOSYS® est une plate-forme permettant l'acquisition des données en ligne, leur traitement, l'anticipation des pannes et l'aide à la décision.

Elle intègre des Technologies de l'Information et de la Communication basées sur le Traitement du Signal, la Mécatronique, l'Intelligence Artificielle, la Formalisation des Connaissances et le Raisonnement à Base de Cas.

Cette première étape de l'étude permet de réaliser une démonstration de faisabilité technologique mettant en œuvre un bâtiment à la mer et un centre de soutien à terre. Une seconde étape est prévue afin d'approfondir le concept à partir d'un système de force (multi-bâtiments) en développant le principe d'information coopérative, partagée et distribuée (Ferber, 1995).

## 7. Bibliographie

- Aha D., « Case-Based Reasoning Algorithms », *DARPA Case-Based Reasoning Workshop*, Vol. 1, 147-58, 1991.
- Benaouda A., Zerhouni N, Barakat O., « Démarche pour modéliser et implémenter la e-maintenance des systèmes de production par l'approche système multi-agents », *JTEA02*, Sousse, Tunisie, Vol. 2, PP.269--276, 2002.
- Ferber J., *Les Systèmes Multi-agents : Vers une intelligence collective*, InterEditions, Paris, 1995.
- Harrath Y., Chebel-Morello B. & Zerhouni N. - « Multiobjective genetic algorithm for combined maintenance and production scheduling in job-shop », *Intelligent Maintenance Systems IMS'2004*, 15-17 juillet 2004, Arles.
- Kolodner J. 1993 : *Case-based reasoning*, Morgan Kaufman

- Koonce D.A., Tsai S.C., « Using Data Mining to find Patterns in Genetic Algorithm solutions to a Job Shop Schedule » *Computers & Industrial Engineering* 38, 2000, p. 361-374 ;
- Leger J.B., Morel G., « Integration of Maintenance in the Enterprise: towards an Enterprise Modelling Based Framework compliant with Proactive Maintenance Strategy », *Production Planning and Control*, 12, pp 176-187, 2001.
- Leger J-B., Iung B., « Methodological approach to modelling of degradation detection and failure diagnosis in complex production system. » *Ninth international workshop on Principles of Diagnosis DX98*, Edited by Nayak P. et Williams B - NASA Ames Research Center, 209-16, 24-27 mai, Cap Cod, USA, 1998.
- Noyes D., Peres F. « Maintenance strategies integrated into production management towards performance optimisation », *INCOM'98*, Elsevier Science, volume 2, p969-974.
- Senechal O., Leger J-B., « Tele-Maintenance for Improvement of Performances in TPM and RCM », *7th IFAC Symposium on Cost Oriented Automation COA 2004*. Gatineau (Quebec) Canada.
- Zemouri M.R., Racoceanu D., Zerhouni N. « The RRBF - Dynamic Representation of time in Radial Basis Function Network » *8th IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation, ETFA' 2001*.