EADS TEST & SERVICES

EADS DEFENCE & SECURITY

Modélisation du Diagnostic

vers un Atelier de Traitement de l'Information

EN 9100
BUREAU VERITAS
Certification

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Sommaire

- Objectifs
- Le contexte
- Le parc de systèmes ciblés
- Des approches à analyser
- Une approche considérée
- Une proposition de stratégie vers un atelier de traitement
- Notre besoin et exigences
- Conclusion

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Sommaire

- Objectifs
  - Objectif général
  - Objectif resserré
- Le contexte
- Le parc de systèmes ciblés
- Des approches à analyser
- Une approche considérée
- Une proposition de stratégie vers un atelier de traitement
- Notre besoin et exigences
- Conclusion

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Objectif général

- Réduire les actions de maintenance superflues sur les systèmes en opération par une :
  - Amélioration de la confiance sur la justesse de la détection de faute (FD)
  - Amélioration de la localisation de faute à l'échelon de réparation optimum (FI)
- En conséquence
  - Amélioration de la disponibilité des systèmes
  - Réduction du coût de possession

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Objectif resserré

- réduction de la fausse dépose attachée à de grands groupes d'ambiguïté
- réduction des actions de maintenance inutiles
- focalisation sur certains critères
  - un critère majeur : « Un constat dans l'industrie indique qu'un pourcentage élevé de toutes les actions de maintenance est inutile et est un gaspillage de ressources. Cette perte est estimée à $200 milliards par année à travers toute l'industrie. (Source - Raytheon 2006) »

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Sommaire

- Objectifs
- Le contexte
  - Gestion de la complexité
  - Approches précédentes
  - Incertitude, connaissance, vérité
  - Théorie sur les mesures
  - Clients/utilisateurs
  - Conclusion
- Le parc de systèmes ciblés
- Des approches à analyser
- Une approche considérée
- Une proposition de stratégie vers un atelier de traitement
- Notre besoin et exigences
- Conclusion

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Contexte : Gestion de la complexité

- La complexité
  - Nous ne pouvons construire des systèmes qui ne défaillent pas
  - Les systèmes sont trop onéreux pour être jetés
  - Trouver la racine de la cause d'une défaillance est une étape nécessaire d'un processus de localisation
  - Le complexité des systèmes rend les approches « Traditionnelles» de test/diagnostic difficilement applicables
  - Les systèmes de test exigés pour soutenir des produits sont aussi complexes que les systèmes soutenus.
- La gestion de la complexité implique
  - Contrôler risque et coût
  - Une distribution des ressources intelligentes
  - Une gestion et intégration de l'information de ces sources distribuées
  - Une définition non ambigüe des exigences d'information

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Contexte : Approches précédentes

- Une maintenance basée sur deux niveaux d'intervention (au niveau du système et du sous-système), utilisant les approches suivantes:
  - Tests manuels exécutés par des opérateurs qualifiés,
  - Tests intégrés BIT (Built in Test), pouvant être hiérarchisés,
  - Tests sur maquette du système ciblé,
  - Testeurs semi automatisés,
  - Testeurs automatiques attachés à diverses stratégies de maintenance (en ligne, hors ligne)
    - **G**eneral **P**urpose **A**utomated **T**est **E**quipment
    - **S**pecial **P**urpose **T**est **E**quipment
  - Programmes de test indexés aux résultats du niveau de maintenance supérieur
    - Ex: STPS (Smart Test Program Set, Boeing)

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Contexte : Approches précédentes

- Considérations actuelles:
  - Les règles sont-elles vérité ?
  - Les faits sont-ils vérité ?
  - Une information complète est-elle requise ?
- si on analyse certains résultats
  - ex: F-16 MMC Modular Mission Computer : **N**o **F**ault **F**ound Data =>
  - Total removals = 214, NFF= 204, 95.3%, Repaired 10
    - *Source Avionics Maintenance Roadmap 19 Sept 2006 Kent Seely*
  - ex: 75% of all cannot duplicate (CND) maintenance on the F/A-18 C airplanes was deemed the result of BIT false alarms.
    - *SOURCE: F/A-18 E/F Built-in-Test (BIT) Maturation Process; web: http://www.dtic.mil/ndia/systems/Bainpaper.pdf*

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Contexte : Incertitude, connaissance, vérité

Incertitude sur les tests au niveau système

- Aucun test n'est parfait
- Aucune mesure n'est parfaite
- Les petites erreurs peuvent devenir des grandes à un niveau supérieur

Connaissance et vérité

- Et si notre connaissance est incomplète ?
- Et si notre vérité est incertaine ?
- Et si notre vérité est conflictuelle ? (ex : Sortie conflictuelle d'un raisonnement)

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Contexte : Théorie sur les mesures

- Une des composantes critique d'un test est la mesure de la réaction

- Fréquemment, le système de mesure prend aussi en compte les stimulus d'entrée

- N'importe qu'elle mesure est sujette à des contraintes
  - Précision
  - Exactitude
    - toutes les deux impactent notre confiance dans les résultats/issue et inférences suivantes.

Ces questions s'appliquent à toutes les approches système

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Contexte : Clients/utilisateurs

- Les clients et les utilisateurs exigent que les outils de diagnostic à développer devront être :
  - Précis (crédible)
  - Fiables
  - Faciles d'utilisation (Ergonomie adaptée aux contraintes de la maintenance)

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Contexte : Conclusion

- Plusieurs techniques identiques aux deux niveaux de maintenance, mais de différentes formes, sont aujourd'hui utilisées pour améliorer la localisation de faute,
  - jusqu'à la technique de la dernière chance : des remplacements au plus vite (sans discernement)
- Des tests/testeurs plus rapide ne sont pas une réponse au premier niveau de maintenance, pour atteindre notre premier objectif, améliorer la localisation de faute.
- Préconisation : « Tester plus intelligemment »

- « Tester plus intelligemment » implique l'appui sur
  - les techniques les plus avancées du traitement de l'information
  - les algorithmes avancés de diagnostic
  - les bases de données de connaissance
  - les standards émergeant d'interfaçage entre les bases de données.

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Sommaire

- Objectifs
- Le contexte
- Le parc de systèmes ciblés
  - La cible
  - Objectifs principaux par catégorie
  - Paramètres
- Les approches à analyser
- Une approche considérée
- Une proposition de stratégie vers un atelier de traitement
- Notre besoin et exigences
- Conclusion

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

La cible

Le parc hétérogène de systèmes considéré est un ensemble de systèmes mettant en œuvre de multiples technologies, de différentes générations et sur lesquels sont enregistrés mais peu formalisés et non standardisés :

- le retour d'expérience de sa maintenance,
- les données techniques utiles à la maintenance.

EXEMPLE DE PARC DE MATERIELS PROJETES LORS DE MISSIONS OPERATIONNELLES.

Exemple de parc de matériel déployé	
	Nombre par catégorie
Véhicules légers	728
Blindés légers	294
Véhicules de transport blindés	302
Camionnettes	374
Camions	586
Hélicoptères	26
Engins du Génie	61
Groupes électrogènes	218

Source : ministère de la défense. N° 280 tome IV - Avis de M_ Jean-Louis Bernard sur le projet de loi de finances pour 2008 (n°189)

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Objectifs principaux par catégorie

- pour les Aéronefs
  - une assurance sur la mission,
  - une disponibilité opérationnelle,
  - *une prédiction des fautes serait idéale, vers le Pronostic.*

- pour les Véhicules
  - une assurance sur la mission,
  - une disponibilité opérationnelle,
  - une réduction des coûts de maintenance,
  - *une réduction du coût de possession malgré une croissance importante de la complexité des matériels électroniques et optroniques embarqués.*

- pour les Générateurs et Turbines
  - une disponibilité opérationnelle en prenant en compte ces paramètres :
    - *ils doivent être utilisés sans intervention d'un opérateur,*
    - les temps d'immobilisation sont coûteux,
    - ils sont à maintenir de préférence avant l'apparition d'une faute
    - une minimisation du temps d'immobilisation est impérative.

- pour les Missiles
  (certains attachés aux aéronefs)
  - une assurance maximum sur la bonne exécution de la mission est demandée en prenant en compte des contraintes :
    - certains sous systèmes ne sont jamais mis sous tension avant le tir,
    - *la période de stockage est longue,*
    - *la fenêtre d'exécution du BIT opérationnel est très réduite,*
    - une croissance importante de la complexité du système,
    - l'échec de la mission est coûteux et critique.

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Paramètres

- Les principaux paramètres attachés au test et au diagnostic à prendre en compte sont :

  - l'utilisation de COTS (Composantes sur Etagère),
  - un parc à maintenir, d'anciens systèmes sur 20 à 30 ans,
  - une connaissance non disponible ou incomplète des systèmes.

=> ce qui implique, une nouvelle façon de soutenir des systèmes et équipements sur le terrain.

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Sommaire

- Objectifs
- Le contexte
- Le parc de systèmes ciblés
- Des approches à analyser
  - Approches traditionnelles
  - Vers d'autres approches
    - Approches avancées
    - Approches Bayésienne
    - Approches basées sur le raisonnement d'incertitude
    - Approches du diagnostic vers le pronostic
- Une approche considérée
- Une proposition de stratégie vers un atelier de traitement
- Notre besoin et exigences
- Conclusion

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Approches traditionnelles

- Dictionnaire de fautes
- Arbres de test
  - Génération d'arbres de test (statique)
    - Manuelle
    - Automatisée
    - Par modélisation des dépendances
  - Logiciels existants
    - LOGMOD (Modèle logique)
    - WSTA (Weapon System Testability Analyzer)
    - AMIDS—(NASA)
    - eXpress (DSI Intl)

Arbre de test

- Utilisation
  - Diagnostic et recherche de panne sur des systèmes
- Caractéristiques
  - Exige une définition complète des modes de défaillance du système réalisée par un expert
- Domaine
  - Où les AMDEC sont matures et où tous les modes de défaillance devraient être définis.
- Limitations
  - Construction rigide
  - Besoin d'une bonne connaissance de la conception
  - Description incomplète de tous les modes de défaillance
  - Difficile de démontrer formellement tous les liens entre les modes de défaillance et les tests (BIT)

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Vers d'autres approches

- Il faut de nouvelles approches pour :
  - Prendre en compte l'incertitude des résultats de test,
  - S'adapter aux changements de contexte,
  - Intégrer une connaissance opérationnelle et de maintenance,
  - Optimiser les ressources,
  - Apprendre de l'expérience.

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Approches avancées

Systèmes basés sur les règles

Caractéristiques

- Avéré, avec quelques applications spécifiques déployées
- La séquence d'inférence peut être facilement tracée
- Les outils (shells) sont largement disponibles

Limitations

- Le développement et la maintenance peuvent être long et coûteux
- La difficulté d'utilisation pour des systèmes anciens
- L'acquisition de la connaissance est une contrainte

Raisonnement à base de cas

Usage

- Utile pour des systèmes qui ne sont pas facilement décrits mathématiquement

Caractéristiques

- Exige une expérience complète du système.
- Suppose que les correctes décisions prisent antérieurement s'appliqueront aux nouvelles situations.

Domaine

- Base de données de cas de précédents problèmes.
- Description textuelle de problème.

Limitations

- Les solutions fournies sont en général « suboptimales» à moins qu'une grande base de données historique puisse être prise en compte.
- Difficile à faire évoluer et à maintenir. (Si le système n'est pas un moteur de la connaissance centralisé mais utilise de multiples stations autonomes qui doivent être synchronisées)
- un diagnostic ne peut commencer qu'une fois la base de cas adéquate construite.
- Typiquement, les cas rassemblés sont d'un domaine spécifique et ne peuvent être appliqués généralement

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Approches Bayésienne

- Bayes Decision Theory
  - Diagnosis via Bayes Decision Theory
  - Naïve Bayes Algorithm

Bayes Decision Theory

- *Usage*
  - Combinaison de résultats par différents indicateurs et classificateurs probabilistes
- *Caractéristiques*
  - Une connaissance a priori de diverse fonction de répartition des probabilités impliquées est exigée
- *Domaine*
  - En sortie des algorithmes de détection et de classification
- *Some Limitations*
  - Complexité des calculs
  - Représente-t-il en juste proportion une incertitude ?
  - Les pré-requis des tests peuvent-ils être pris en compte?

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Approches basées sur le raisonnement d'incertitude

- Neural Networks
- Fuzzy Sets/*Fuzzy Logic*
- Théorie Dempster-Shafer
- Support Vector Machines

Neural Networks

- *Usage*
  - Classification dans des systèmes complexes typiques non déterministe.
- *Caractéristiques*
  - Structure créée par l'intermédiaire d'un apprentissage dirigé
  - Peut expliquer des aspects mal compris de système.
  - Peut s'adapter pour expliquer de nouvelles connaissances.
- *Domaine*
  - Observation de caractéristiques paramétrique
  - Peut être utile en cas de bruit ou de coupures dans l'enregistrement des données.
- *Limitations*
  - Difficultés à mettre au point et à valider
  - Exige un apprentissage considérable

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Approches basées sur le raisonnement d'incertitude

Fuzzy Logic

- *Usage*
  - Système de contrôle et système de classification où les entrées et sorties peuvent être et devraient être décrit en langage plain .
- *Caractéristiques*
  - Permet d'obtenir une estimation sans une connaissance détaillée.
  - Facilité de développement et de compréhension (Langage)
  - Utilise le concept de vérité partielle.
- *Domaine*
  - Toutes données pouvant être organisées en catégorie.
- *Limitations*
  - La sortie peut être (Aberrante, absurde)

Dempster-Shafer

- *Usage*
  - Les systèmes à logique floue utilisent cette méthode
  - Combinaison de réseau d'opinion
- *Caractéristiques*
  - Généralisation du bayésien, qui permet l'incertitude (l'information de probabilité que nous n'avons pas.) Intègre des notions d' « opinion » et de « vraisemblance>
- *Domaine*
  - Sortie des algorithmes de détection et de classifications.
- *Limitations*
  - La sortie peut être (Aberrante, absurde)

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Approches du diagnostic vers le pronostic

- Basée sur la fiabilité
  - Patterns of Failure, or Failure Distribution
  - Modeling Failure: Markov Processes
- Basée sur la physique de faute
  - Fatigue analysis
  - Degradation analysis
  - Stress analysis
  - Thermal Analysis
- Les aspects temporels
  - Time-Series Analysis
  - Time Failure Propagation Graph Model
- Réseaux Neuronaux
  - Recurrent Neural Networks
- Réseaux Bayésiens
  - Diagnostic BBN (Bayesian Belief Networks)
  - Tree Augmented Naïve Bayes
- Réseaux Bayésiens Dynamiques
  - Kalman Filters
  - Hidden Markov Models HMM

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Approches du diagnostic vers le pronostic

Modèle de Markov

- *Usage*
  - Modélisation de la fiabilité de composantes système (ex : Equipements électroniques)
- *Caractéristiques*
  - L'évolution de système est indépendant de l'état actuel.
- *Domaine*
  - Description d'état de système.
  - Peut générer MTTF & MTBF.
- *Limitations*
  - Un processus interactif peut être consommateur de ressources

Réseaux Bayésiens

- *Usage*
  - Raisonneur de haut niveau
- *Caractéristiques*
  - Description des entités
  - Description des interrelations
    - Processus
    - Physique
    - Proximal
  - Encapsule une connaissance « a priori»
- *Domaine*
  - Permet un diagnostic robuste à partir d'une connaissance ou de possibilités de modélisation incomplète

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Sommaire

- Objectifs
- Le contexte
- Le parc de systèmes ciblés
- Des approches à analyser
- Une approche considérée
  - Une recherche des technologies applicables
  - Un environnement d'apprentissage
  - Processus EDC
- Une proposition de stratégie vers un atelier de traitement
- Notre besoin et exigences
- Conclusion

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Une recherche des technologies applicables à…

Electronique

◈ ◈ ◈ analyse des résultats des BIT « hiérarchique ».

◈ ◈ ◈ surveillance des alimentations

◈ ◈ ◈ diagnostic/ surveillance

◈ ◈ ◈ **capteur/Données**

◈◈ ◈ **vers la simulation: Etats Stables**
◈◈ ◈ ◈ **Détection d'impulsions**
◈◈ ◈ ◈ **Validation capteur**
◈◈ ◈ ◈ **Validation signal**

Hydraulique

◈ ◈ ◈ modèles injection, pression.

◈ ◈ ◈ modèles physique (Pompes et Valves).

Systèmes de contrôle

◈ ◈ ◈ modèles temps réel contrôles, réponses

◈ ◈ ◈ modèles d'actionneur

Composantes mécaniques

◈ ◈ ◈ surveillance vibration

◈ ◈ ◈ modèles boîtes de transfer

◈ ◈ ◈ isolation de faute sur des engrenages

◈ ◈ ◈ modèles engrenages embrayages

Compresseurs turbines, moteurs

◈ ◈ ◈ diagnostic/ surveillance

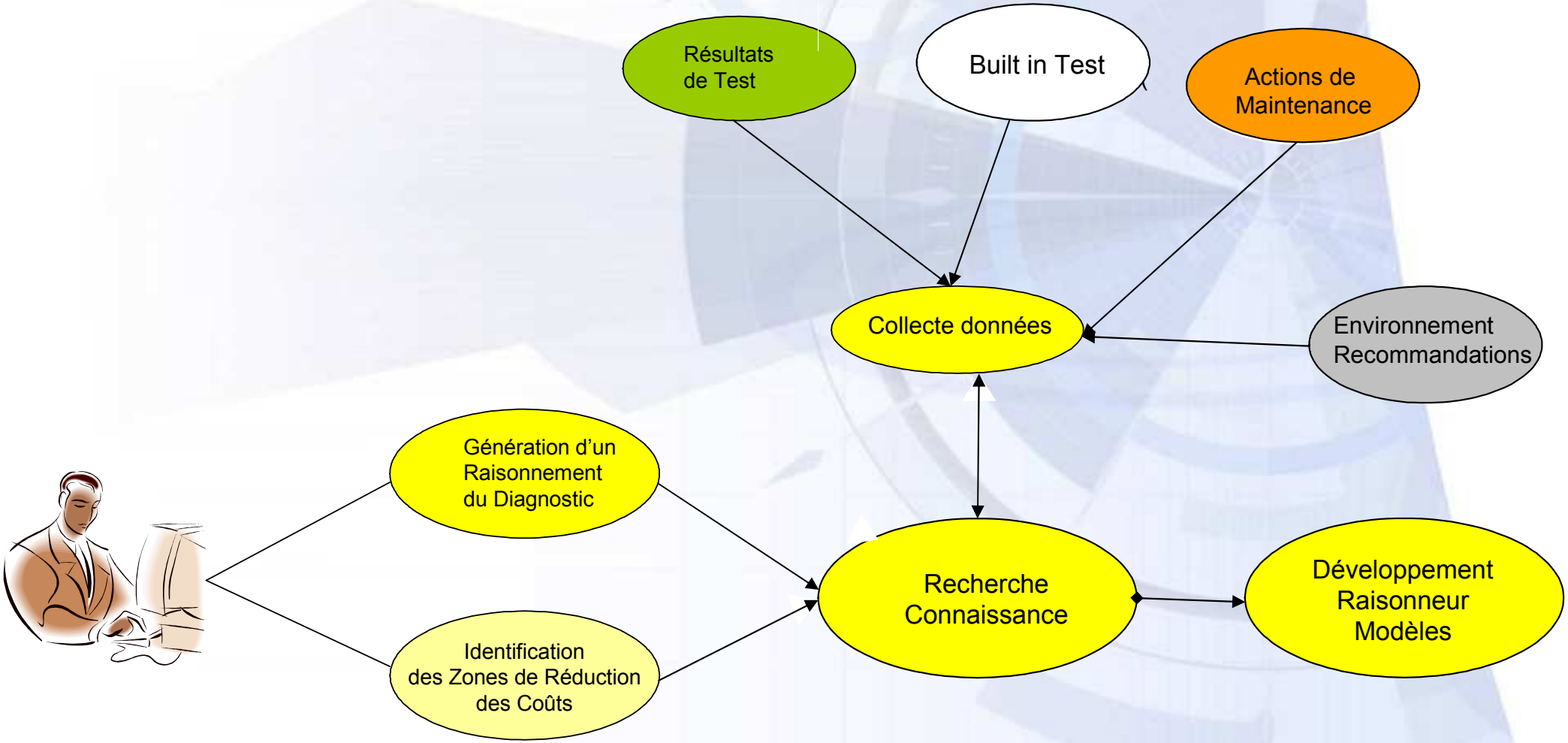
◈ ◈ ◈ diagnostic de performances

◈ ◈ ◈ modèles systèmes d'injection, surveillance de la carburation

Les ◈ ◈ ◈ sont les approches à définir par technologie.
Les modèles cités dans cette figure, sont des modèles à réaliser, si certaines approches sont retenues (ex : Approche basée sur la modélisation physique de faute)

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Approche considérée : un environnement d'apprentissage



© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

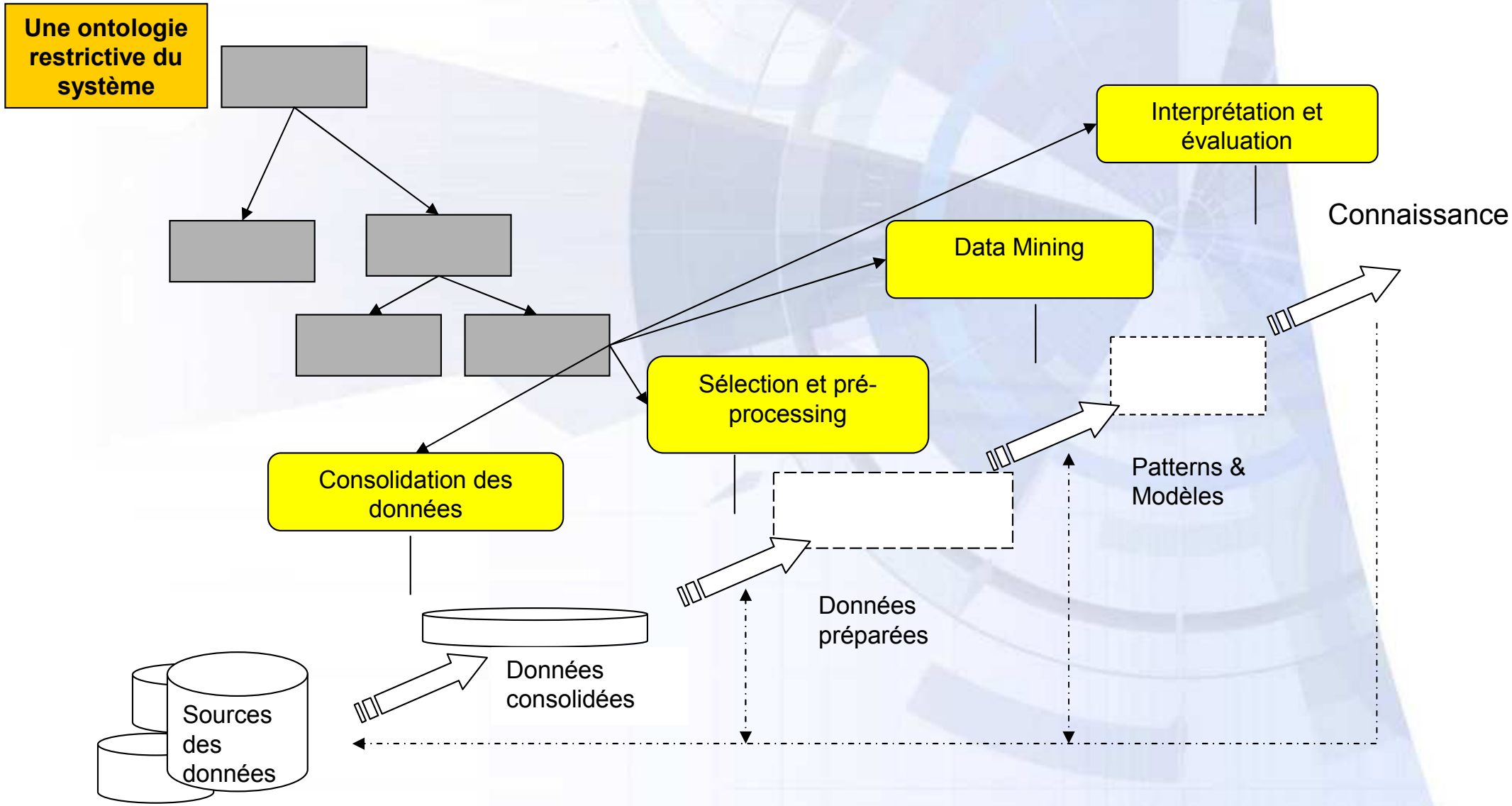
Un environnement d'apprentissage

- **Collecte des données.**
  - Corrélation des bases de données (conception, maintenance, logistique, performance …) des informations associées à tous les niveaux de maintenance. Stockage de toutes les données pertinentes liées à tous les niveaux de maintenance, y compris les BIT des systèmes, données d'environnement, résultats de test et actions de maintenance.
    - Collecte les données,
    - Transfert les données
    - Corrèle les données
    - Stock les données
- **Génération d'un raisonnement de diagnostic.**
  - Scan des données et recherche de relations entre les données. Apporte une signification à ces relations. Découvre des inférences basées sur les relations causales dans un contexte de diagnostic donné. (Knowledge Discovery, Data Mining).
    - Analyse les données basées sur la connaissance antérieure (c.-à-d. arbres de défaillance, tableaux des fautes)
    - Identifie les divergences entre la connaissance antérieure et les données brutes.
    - Corrige les divergences
    - Actualisation/publication des Algorithmes de diagnostic
- **Identification des zones de réduction de coûts et génération de recommandation.**
  - ressource de test,
  - stockage et logistique
  - personnels dédiés,
  - …
- **Réalisation/exécution de cette recherche de la connaissance.**
  - Scan des données collectées pour des relations.
  - Chargement des données
  - Classification des données
  - Analyse les données pour des patterns (relations statistiques)
- **Développement du raisonneur et des modèles associés exprimant ces relations**
  - Développement des raisonneurs basés sur les relations
  - Développement des modèles basé sur les relations

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Processus ECD

Extraction de connaissance à partir de données (KDD Knowledge Discovery and Data Mining)



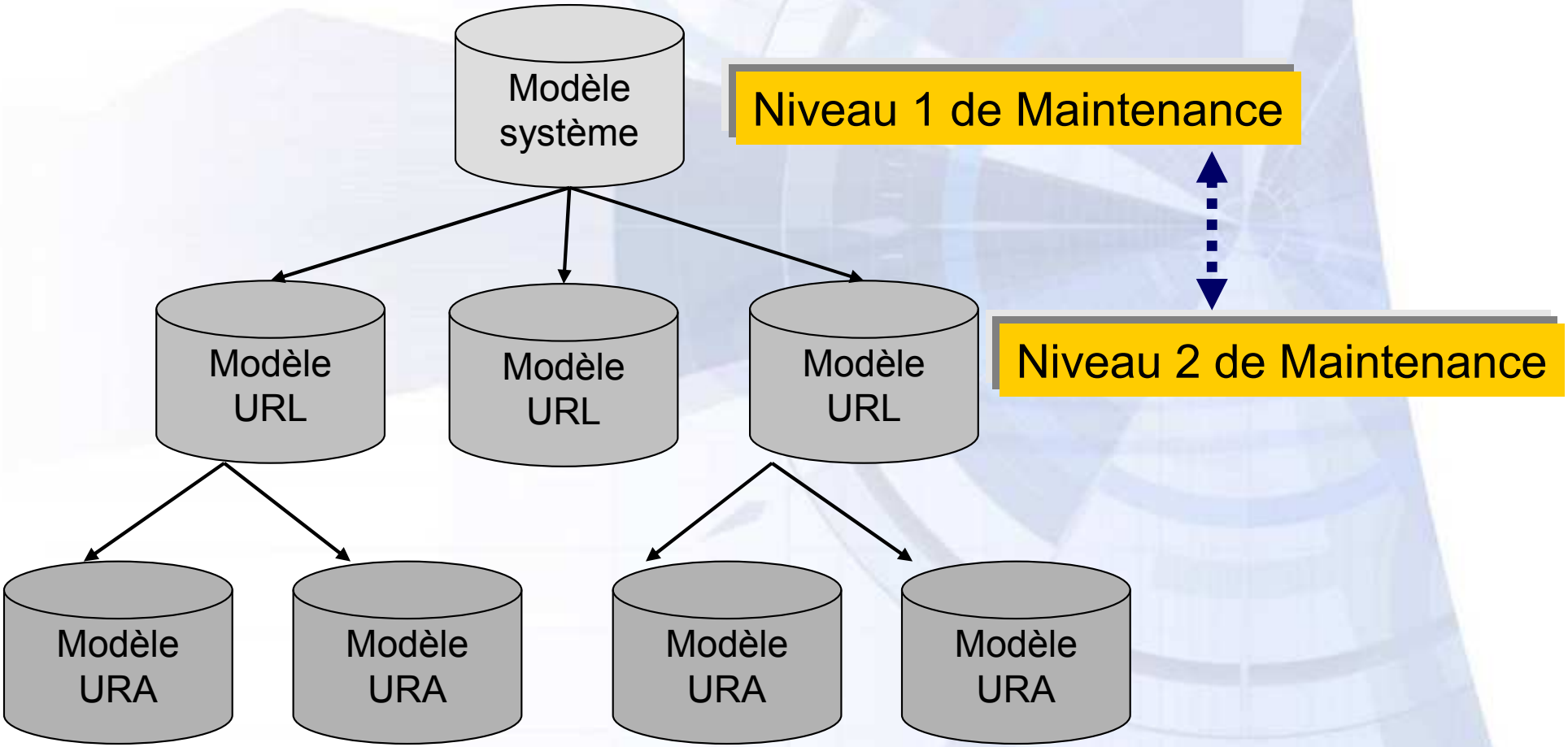
© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Sommaire

- Objectifs
- Le contexte
- Le parc de systèmes ciblés
- Des approches à analyser
- Une approche considérée
- Une proposition de stratégie vers un atelier de traitement
  - Un diagnostic hiérarchisé communiquant
  - Architecture envisagée
  - Une stratégie envisagée
  - Architecture envisagée
- Notre besoin et exigences
- Conclusion

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

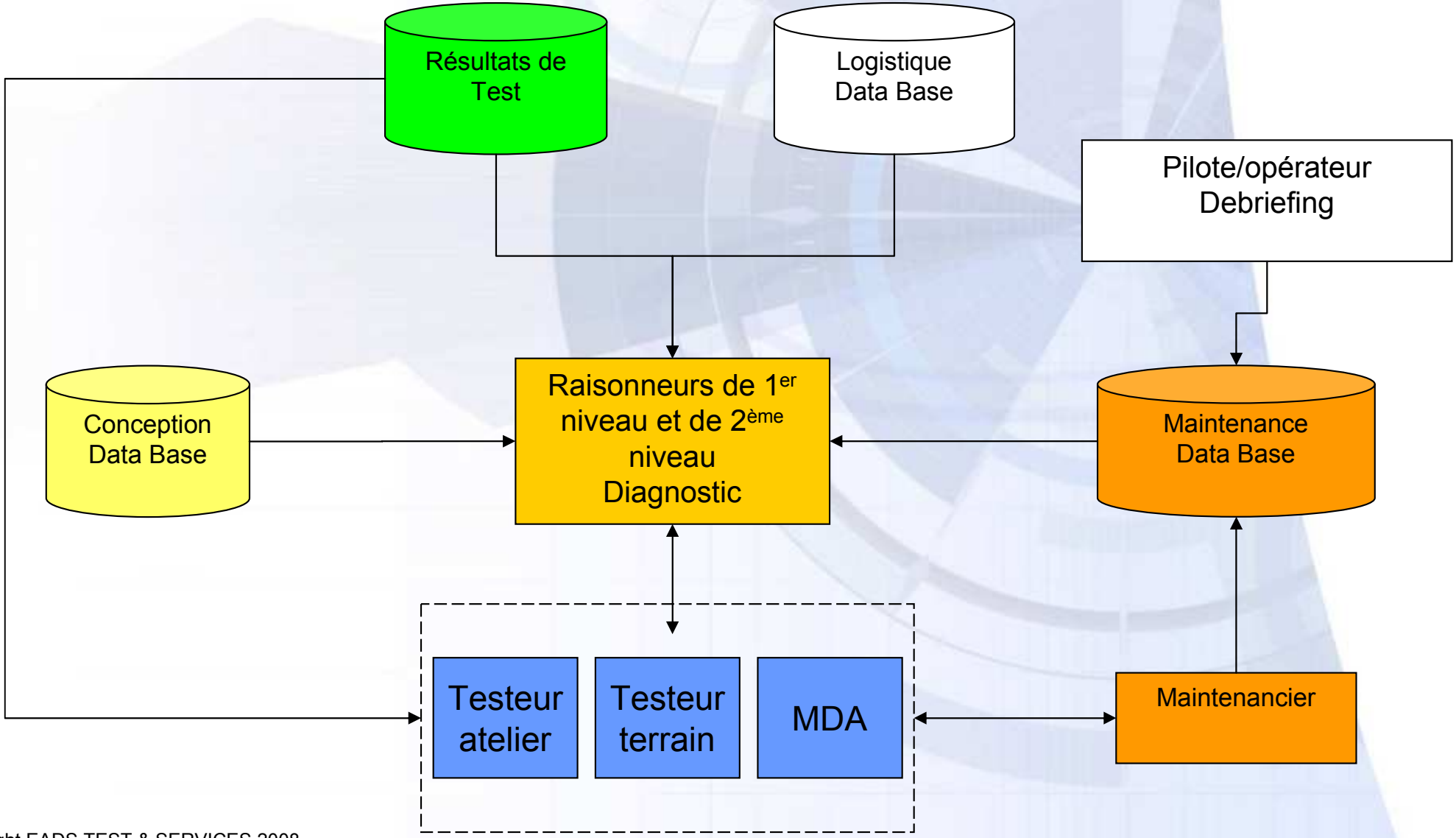
Un diagnostic hiérarchisé communiquant



URL = Unité Remplaçable en ligne
URA = Unité Remplaçable en Atelier

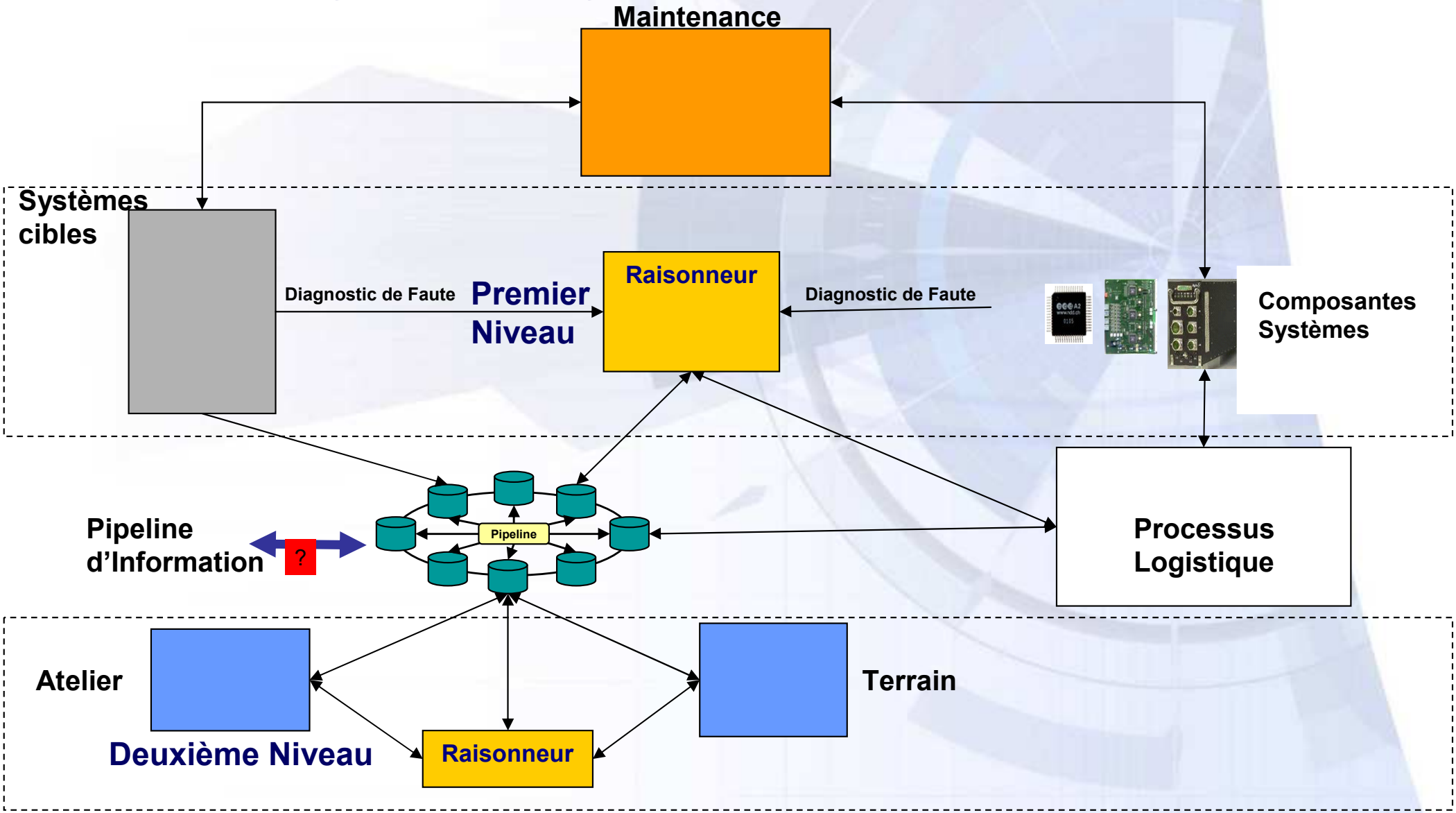
© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Architecture envisagée



© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Une stratégie envisagée



© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Sommaire

- Objectifs
- Le contexte
- Le parc de systèmes ciblés
- Des approches à analyser
- Une approche considérée
- Une proposition de stratégie vers un atelier de traitement
- Notre besoin et exigences
- Conclusion

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Notre besoin

- Etablir un référentiel pour collecter les données du parc ciblé

- Evaluer et valider avec des équipes de recherche universitaires
  - les différentes approches de diagnostic (Tree Augmented Naïve Bayes, …)
  - une architecture générale de l'atelier attaché à chaque sous-système défini
  - une stratégie vers un premier prototype d'atelier.

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Sommaire

- Objectifs
- Le contexte
- Le parc de systèmes ciblés
- Des approches à analyser
- Une approche considérée
- Une proposition de stratégie vers un atelier de traitement
- Notre besoin et exigences
- Conclusion

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Synthèse

- Une première approche considérée d'une stratégie vers un atelier d'apprentissage et de traitement de l'information du diagnostic, est à confirmer.
  - Le diagnostic basé sur une faute unique (ex : arbre de test basé sur un coût minimum) peut être amélioré.
  - Une analyse de fautes multiples, précise et minimaliste n'est pas une tâche facile.
  - Construire un modèle de diagnostic précis est une tâche complexe.
  - Envisager le pronostic rend le problème significativement plus complexe.

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Conclusion

- Notre principale exigence est de trouver des universités, des chercheurs pour évaluer les différentes méthodes et technologies.

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008

Référence

- [1] Larry Butler *Designing for Health; A Methodology for Integrated Diagnostics/Prognostics*. eXpress User Meeting 2006 Orange
- [2].M. Kaufman, J. Sheppard, J. Hopkins, T. J. Wilmering *Diagnostic Modeling and Application Development* Autotestcon 2006/2007
- [3]. *Source : ministère de la défense. N° 280 tome IV - Avis de M_ Jean-Louis Bernard sur le projet de loi de finances pour 2008 (n°189)*
- [4] « Faute » selon la définition LIS *Guide de la sûreté de fonctionnement* Mai 1995
- [5) Cerquides, J. (1999a). Applying General Bayesian Techniques to Improve TAN Induction. In Proceedings of the International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, KDD99.24
- *[6] Practical Applications of Timed Failure Propagation Graphs for Vehicle Diagnosis* Stanley Ofsthun (Boeing, USA); Sherif Abdelwahed (Vanderbilt University ,USA)
- [7] An Algorithm for Diagnostic Reasoning Using TFPG Models in Embedded Real-Time Applications; Embedded Real-Time Applications Larry Howard, Institute for Software Integrated Systems, Vanderbilt University
- [8]Model-Based Fault-Adaptive Control of Complex Dynamic Systems; Institute for Software Integrated Systems; Vanderbilt University, USA; Department of Measurement and Information Systems;,Budapest University of Technology and Economics
- [9] Research Perspectives and Case Studies in System Test and Diagnosis John W. Sheppard, William R. Simpson
- [10] System Test and Diagnosis John W. Sheppard, William R. Simpson

© Copyright EADS TEST & SERVICES 2008