UNCLASSIFIED

Defense Technical Information Center Compilation Part Notice

ADP010420

TITLE: Approaches to S&T Cost Modeling at the U.S. Air Force Research Laboratory/Vehicle Aeronautics Directorate

DISTRIBUTION: Approved for public release, distribution unlimited

This paper is part of the following report:

TITLE: Design for Low Cost Operation and Support [la Conception en vue d'une exploitation et d'un soutien a cout reduit]

To order the complete compilation report, use: ADA388024

The component part is provided here to allow users access to individually authored sections of proceedings, annals, symposia, ect. However, the component should be considered within the context of the overall compilation report and not as a stand-alone technical report.

The following component part numbers comprise the compilation report:

ADP010418 thru ADP010432

UNCLASSIFIED

APPROACHES TO S&T COST MODELING AT THE U.S. AIR FORCE RESEARCH LABORATORY / VEHICLE AERONAUTICS DIRECTORATE

Robert Quaglieri and Max Blair
AFRL/VAAI Building 45
2130 Eighth St. Ste 01
Wright Patterson AFB
Ohio 45433-7542
United States

Introduction

The mission of the Air Force Research Laboratory (AFRL) is to lead the discovery, development, and transition of affordable, integrated technologies for our air and space forces -- to keep our Air Force "the best in the world." The Air Vehicles Directorate (AFRL/VA) is one of nine directorates within AFRL. VA develops and integrates fixed wing air vehicle technologies for the warfighter, and focuses resources to: (1) Demonstrate affordable and supportable options to improve capabilities in current fixed wing air vehicles and (2) Deliver revolutionary fixed wing air vehicle technologies for new warfighting capabilities.

The paradigm of "performance at any price" must change under the relentless pressure to lower military costs, and that pressure is exacerbated by the lack of a competing super power to justify present expenses. While the US is successfully performing worldwide geopolitical missions, today's national objective is to accomplish them as affordably as possible (Figure 1). Weapon affordability can be seen as a function of the parameters of weapon effectiveness and weapon system Life Cycle Cost, LCC, and is a major player in the Air Force Modernization Plan. Today there is a strong focus on properly modeling these parameters and a great deal of effort is being expended to improve the accuracy of the analyses. In the acquisition world, cost modeling is normally associated with accounting and finance, and there is a strong emphasis on achieving credible absolute values. In the Science and Technology, S&T, world, the scientist and engineer require insight into the war fighter's mission to varying levels of detail to develop affordable technology while providing an effective technology. However, analyses of the war fighting effectiveness/LCC of a potential weapon system is a new area for AFRL and that requirement means the S&T world has to take a fresh look at how it develops affordability metrics. We can not do it in the same old traditional way of independent system design followed by cost analysis. Figure 2 is 25 years old.

Generally, with respect to the weapon system price, the scientists and engineers do not require knowledge of all the contractual aspects such as fee, overhead, G&A, etc.. These serve to cloud the issue of selecting an S&T program to pursue based on benefits, both in capability and cost. But to better plan the Science & Technology program, Principal Investigators, PIs, do require a sense of the impact of their research programs on weapon system cost (Figure 3). While accounting and finance may have access to a wealth of engineering, production, operations and support cost data, it may only be available at fairly abstract levels. There are at least three reasons technology brokers in the S&T world lack useful cost data. One, because the effects of their technology are not discernable within traditional accounting and finance data or pricing approaches. Two, the technology has not reached sufficient maturity. Three, a technology can be so pervasive that it alters the design of the aircraft, introducing enormous complications in the cost analysis of a system.

Section 1
Present Cost Work at VA

The AFRL/VA, has explored two cost estimating approaches. (1) a Virtual Expert Cost-Estimator for Air Vehicle S&T (VECAST), and (2) a Cost Activity Process design Tool in a Unified Rapid modeling Environment (CAPTURE). VECAST is being built to cover the breadth of the VA technology set, effectively using existing commercially available databases and analytical relationships with appropriate extrapolations. CAPTURE is an activity-based cost approach based on the Adaptive Modeling Language, AML, which engineers can use to rapidly synthesize an integrated geometry and cost model at the early stages of design. CAPTURE presently emphasizes structural and manufacturing aspects. Currently, these are two separate activities that will mutually benefit in the far term.

Paper presented at the RTO AVT Specialists' Meeting on "Design for Low Cost Operation and Support", held in Ottawa, Canada, 21-22 October 1999, and published in RTO MP-37.

VECAST Tool Development

VECAST utilizes a surrogate LCC approach, one that focuses on determining the impact or shift in weapon system cost that an advanced technology makes. It is not dependant on modeling absolute cost, although the answers generated by VECAST could be scaled and combined with financial/price information. To this end, VECAST is a formulation for cost modeling that utilizes a constellation of existing tools to determine *increments* in the surrogate life cycle cost caused by the introduction of a new technology. As an early attempt to bring cost modeling into the routine technology development process of the Vehicle Aeronautics Directorate, VECAST attempts to mitigate the effects of inadequate tools, model inaccuracy/ lack of functional relationships and existing database lack of granularity/detail. Previous options for the S&T personnel included (a) know all the cost models, (b) get a resource that does or (c) do not do cost analysis.

The objectives of this program are to develop a tool, useable by non-experts in costing, to determine the cost impact of new technologies that is credible, traceable, timely and broadly accepted (Figure 4). The genesis of the current program came from the melding together of three Phase I Small Business Innovative Research, SBIR, contracts. Each company held a piece of an overall workable solution and the government combined them under two Phase II SBIR contracts. One company Frontier Technology Inc, FTI, has a unique, easy-to-use questionnaire within their Graphic User Interface, GUI, that utilizes Commercial Off The Shelf, COTS cost tools (i.e. those ubiquitous black boxes). Another, TECOLOTE Research Inc, TRI, accomplishes cost calculations based on specific airframe databases; while the third, Cognition Corporation, utilized a form of Artificial Intelligence, AI, to help generate cost numbers (Figure 5). AI is also to be used to guide the user to the appropriate cost model set to calculate the elements of LCC; EMD, Production, and O&S.

Integrating these three approaches into a single tool can simplify the job of the S&T engineer, while he or she is directly imputing the technical characteristics they are assisted by a virtual cost expert. The tool provides meaningful insights into the affordability issues for new or improved weapon systems. This increase in capability coupled with the change in LCC becomes a measurand of the viability of a new technology vis-à-vis the needs (increased combat effectiveness and cost reduction) of the war fighter.

The original questionnaire will be re-formulated through interviews with program PIs to cover generic airframe technologies. It will allow the user to deselect LRUs that belong to the old technology and define new LRUs to be inserted that represent the new technology. Lastly; rules, fuzzy logic, etc. techniques will be developed, based on interviewing government and industry personnel, to determine the proper application to use and in some cases guide the modification of cost models and their inherent Cost Estimating Relationships, CERs, for the specific technology being analyzed.

To implement this program requires that an airframe baseline be established at a level of detail sufficient to discern the differences brought about by the application of the new technology. Airframe specific databases will be established by Boeing, Lockheed-Martin and Northrop-Grumman based on their proprietary JAST designs of '95. This maintains continuity and consistency within each company's analysis based on previous work.

As new technologies mature, defined as achieving a Technology Readiness Level, TRL, up to 6 in a research environment, (Figure 6), they may be analyzed as to their impact on system LCC. The government will require a configuration definition of the baseline aircraft and decomposition of the data base to enable more detailed drill downs to achieve the proper depth of modeling required to do a realistic representation and analysis of a new technology's impact on costs.

The companies will build a tool that meets the difficult task of justifying future cost benefits by using numerous cost estimating tools already available and make it a simple task to describe the known, salient features of an advanced technology. The contractors will:

- Develop and implement a GUI to allow representation of VA technologies
- Decompose costs to WBS level required to isolate technology impacts
- Develop calibrated baseline LCC model based on airframe prime data
- Develop cost methodology library of selected generic CERs
- Determine appropriate COTS tools for inclusion
- Provide generic predictor of O&S for new technologies
- Develop and implement AI engine using generic shell for rules, etc.
- Provide for inclusion of airframe industry tools

VECAST can be seen as an overarching tool integrating a variety of present approaches in a way that increases the power of hitherto isolated tools only useful in reality to an expert cost modeler. It is also an augmentation of

presently available tools for Air Vehicle technologies (Figure 7). And lastly, it will allow the technical expert a way to determine the major cost drivers, their impact and the output changes due to various implementations. A limited prototype, Build 2, was developed in September. The most recent event has been to supplement FTI and TRI expertise in AI with the hiring of two professors, plus Galorath and Associates, and lastly SHAI (Stottler & Hinke Associates Inc).

CAPTURE Tool Development

The second cost-related effort in the Air Vehicles Directorate is based on the Adaptive Modeling Language, AML. It has evolved from an in-house (Materials Directorate of the Air Force Research Laboratory) feature-based design project to a commercial product in use by industries ranging from automotive, e.g., Ford Motor and Volvo; to aerospace, e.g., Lockheed-Martin, and McDonnell-Douglas; and power generation, e.g., Zurn Balke-Durr and Siemens. AML supports a multi-disciplinary environment emphasizing the structural and manufacturing aspects of interactive product-process design.

While AML has been used to capture a number of proprietary and published design products and processes, the emphasis in this effort is to develop and integrate cost modeling aspects with geometric modeling. Here, the term *integrate* emphasizes the tight relationship between the geometric model and the cost model.

As a technology broker, the Air Vehicles Directorate has a mission to develop new technology, including technology where there is more intuition than hard data. Where untested technology is planned and developments are prioritized, it is important that planners and developers have the capability to rapidly synthesize a new cost model. This can be accomplished by decomposing the model into discrete activities and materials where we can intelligently extrapolate from past experiences. Data for this model will be available from the VECAST tool development, or may come from other sources. Details of this approach follow a description of the enabling design environment.

AML is an object-oriented environment with built-in dependency-tracking and demand-driven calculations, which facilitate the integration and control of all aspects of the design process. With dependency tracking, AML facilitates the control of a large number of design alternatives with a single set of driving requirements. Dependency tracking can also be used to facilitate design parameterization. With demand-driven calculations, the designer can readily control when and how design information flows.

Native objects cover a variety of geometric constructs, non-geometric features and forms. These objects also come with an extensive suite of methods. This environment is used by a software developer to create a process which an application designer may use. In our case, AML is used to create a process for rendering geometry and assigning manufacturing and cost intent. AML provides the single open-access environment which makes it practical to model a very complex process (i.e. air vehicle design integration) with a single suite of objects and methods. References 7 – 9 are provided here for additional information.

An example where the CAPTURE cost model will be useful in the Air Vehicles Directorate arises from the current push for the development of new technology for affordable hypersonic vehicle concepts. Clearly, production data is lacking. Yet the Air Vehicles Directorate has a requirement to identify, prioritize and develop these technologies. One of the primary metrics for prioritization is cost. Consider active cooling concepts which involve the use of ceramics, hot structures and cooling channels for which we have little or no data. However, it is reasonable to expect we can develop affordability metrics at an early stage if we look at only materials and activities. We can gather this data from samples and extrapolate to a manufacturing scenario. By decomposing the data – we can target the cost and can generate a prioritized technology development strategy to reduce the cost.

With both cost and geometry objects written in AML, there is no software barrier to impede the flow of data. In fact, both the cost and geometry could not be more integrated since they are merged into the same object and object structure with automated dependency tracking. From the end-user's perspective, this means that both cost and geometry changes can be made with the same system (not separate CAD and cost programs). Furthermore, changes in the geometry are immediately reflected in the cost and if CAIV is programmed in, changes in cost are immediately reflected in the geometry.

A design process is measured by how long it takes to develop a design, how many designers are being paid (include overhead), the fidelity of the design proposal, and a probabilistic measure of risk. Automated dependency tracking will prove to reduce design time and a single system, which runs both geometry and cost, tends to reduce the number of designers. These savings can be transformed into increased data fidelity for a few designs or into increasing the number of designs at a lower fidelity.

Section 2
The Near Term Evolution

Cost is becoming a 1st order design variable – Affordability is rapidly becoming *the* metric of choice. - It is a function of system cost and combat effectiveness. However, the war fighting effectiveness/ LCC of a potential weapon system is difficult to assess. The capability change enabled by a new technology can run the gamut from simply doing the present job better or cheaper to enabling a totally new capability. The increase in capability coupled with the corresponding change in LCC becomes a measurand of the viability of a new technology vis-à-vis the needs (increased combat effectiveness and cost reduction) of the war fighter.

VECAST Improvements & Extensions

Work will need to be done in the following areas:

- Costs will need to be represented along with pertinent technologies in a real-time Collaborative Engineering Environment, CEE.
- As new systems are envisioned, the costs associated with new technologies that enable the new concepts will need to be calculated in near real time.
- Life Cycle Costs/Total Cost of Ownership of the advanced concept will become as important to the final solution as the technologies that enabled the advanced concept
- A disciplined costing approach – A widely held, well ordered approach would allow for the cost increments calculated in VECAST by different PIs for different technology programs to be accurate enough for comparison between technology programs.
- Lastly, as the present work establishes the viability of this costing approach, the construction of a commercially viable tool will need to be funded through additional SBIRs, including Phase IIIs and potentially the use of Dual-Use contractual efforts.

AML Improvements & Extensions:

In Figures 8 and 9 we begin the process to generate an engineering assessment of cost for undeveloped technology. Here, a wing structure is depicted. This was developed independently of the cost tool. The cost estimation begins by the interactive selecting parts (mouse picks) of the structure, materials, structures type and a manufacturing process. Existing processes can be edited and appended to form new object source code for future processes. Parts are stored in a "parts bin". Pointers are attached to the part design. Current work focuses on assembling the parts to form the product. The example shown highlights the work to capture the process for carbon/carbon structures manufacturing.

Geometry is the only prerequisite for implementing activity-based cost (ABC) in CAPTURE. There are currently two options in generating the geometry needed for the ABC model.

The first option is to utilize the provided geometry sketcher, thus simultaneously create both geometry and cost. This sketcher creates a conceptual wing and substructure, which can be applied to the cost model. This sketcher was reported in Reference 7. An example of a wing model is depicted here in Figure 8.

A second option involves two distinct processes. A geometric modeling expert completes the job of synthesizing a configuration and subsequently takes the geometric model to a cost expert. This cost expert uses the ABC model process in CAPTURE to develop the cost model. The practicality of this second option will become apparent in the ongoing development reported in the last section of this paper.

As indicated earlier, while the combined geometry and cost models are developed interactively, they automatically maintain dependency. Changes in the geometry can be immediately reflected in the cost model.

COMPONENTS: Once the geometry is created, the costing module can be implemented. The first task is to designate unique components. This requires the assignment of a structural type, a material type, and a manufacturing process to the displayed geometry. Assignments can be made to individual geometry objects or to a group of geometry objects that will be identical in structure, material and manufacturing process. This process is accomplished using the geometry in Figure 8, and the form depicted in Figure 9.

For each geometry selected for assignment, a component object is created and stored in a "component bin". This component object has four significant features: a pointer to the selected geometry object, a pointer to the assigned material storing physical (mechanical) and cost data, structure information such as dimensional data and area, and a sequence of operation pointers used to manufacture the component.

The assignment of a manufacturing process to any given component requires a priori knowledge of the procedure. In general terms, the manufacture of a component occurs by a single operation or by an ordered sequence of operations. Several manufacturing processes are available through the given Operation Catalog. The user can browse through the catalog and select a given process or create a new operation that will then be added to the Catalog. When the user decides on an operation, he must

transfer it to the Operation Sequence list. For a multi-step manufacturing procedure the user continues to select and transfer operations to the Operation Sequence list in a user-prescribed order. The form, which drives a carbon-carbon x-core process, is depicted in Figure 10. The cost associated with a Operation Sequence is subsequently displayed. Figure 11 portrays a detailed cost breakout for a composite laminate lay-up.

All the operations in the Operations Sequence list are stored in an "Operations Bin". The Operations Bin manages the processes for any copying, editing, or deleting prescribed by the user. When the user finalizes the Operations Sequence list, it is assigned to the active component(s) within the Components Bin.

The joining of components into sub-assemblies requires the checking out of the necessary components from the Component Bin as well as the assignment of a manufacturing process or sequence.

ASSEMBLY: The assembly functionality is the capability to select any number of components and/or sub-assemblies and apply manufacturing assembly techniques, in order to instantiate a new object known as a sub-assembly. This functionality requires a method to roll-up component and/or subassembly cost metrics for the component level (i.e. material and operation costs). In addition, it requires a method to calculate the assembly-specific operation costs, and prompt the user to apply new manufacturing assembly techniques.

The assembly mechanism is the interactive operations performed by the user to define sub-assemblies using GUIs. First the user identifies the objects which will define a sub-assembly. This occurs by accessing objects from the Component Bin through a menu list or by graphically selecting components from the screen. Second, the user assigns the manufacturing assembly techniques, such as bonding, mechanical fastening, or welding from the Operation Catalog to the sub-assembly. Lastly, the assigned sub-assembly is accessible to the user through the Assembly Bin.

Cost modeling efforts at the conceptual level must be viewed probabilistically. In order to reflect this in CAPTURE, it is planned to develop a probability-object which can be inherited along with any property-object to create a new probabilistic-property-object. In this way, probabilistic effects can be considered and rapidly calculated along with the set of deterministic quantities.

Section 3
The Future

Currently the separate activities of VECAST and CAPTURE are just beginning to come together for mutual benefit. Clearly, AFRL/VA has a goal to use VECAST to generate cost data for a wide variety of individual technologies across VA, technology integration of these into technology sets and accomplish affordability studies. These studies may be conducted with other software tools and address requirements at the mission and system levels. In the structures area for instance, CAPTURE will use baseline cost data generated by VECAST. A further melding of VECAST and CAPTURE will occur as VECAST builds depth across its breadth and capture expands its repetoire across its technology set.

AML's capabilities will also be extended under a Dual Use Science & Technology (DUS&T) agreement between the Air Force Research Laboratory (AFRL) and Lockheed Martin Electronics & Missiles (LME&M). These enhancements will be developed and integrated in two phases to provide: a multiple, simultaneous, networked user capability and a network-distributed modeling capability. This has strong implications for the next steps in our future.

Cost & Performance can be interrelated through the design and use of aircraft volume. In most current cases, "Performance still rules." However LCC, especially O&S costs, increase dramatically as the fleet ages, and as new systems become increasingly sophisticated the future burden to the defense budget is obvious - Get the cost per system down or buy fewer systems. Fighter aircraft are routinely driven to the minimum volume necessary in order to achieve maximum performance.

JSF is a recent example of the counter trend, where performance is to be held roughly constant and the benefits of newly developed technologies are used to lower LCC. A new approach should be considered for reducing cost, the interaction of LCC and performance as it pertains to vehicle volume. The way of balancing cost and performance may be by judicious use of vehicle downsizing. All other considerations held constant, i.e., if performance is held constant, then some of the volumetric decrease enabled by the application of new technologies might be better held in reserve and used to make the maintenance job of the ground crew easier (Figure 12). The internal volume thus retained would allow better placement of Line Replaceable Units, LRUs, Shop Replaceable Units, SRUs, etc. and facilitate maintenance "remove and replace" actions. Performance would not achieve an absolute best, but LCC and especially O&S costs could be significantly lowered.

Studies and analyses of maintenance actions, like the time to remove and replace items could be done in a virtual world using virtual prototype models, virtual aircraft models (a la the Boeing 777), and virtual production line representations to optimize box locations for service. In fact, use of virtual reality techniques could be employed to put the ground crew "in the picture" and with tactile sensations. Maintenance personnel would have "a hands on experience" with the equipment and could put their hands into the access spaces. Much further out is the possibility of altering structural elements, their positions, numbers, etc. in a cognizant, organized fashion to provide the required volume to place LRUs conveniently inside the removable panels in the outer skin/moldline. A reduction in the number of such panels may also be achievable.

A single model accessed by multiple users has the potential to integrate cost and geometric/volumetric considerations (i.e. configuration synthesis) which incorporates the simultaneous input of multiple designers and does not require the traditional pass-off of data. A fully engaged integrated product team (IPT) can conduct an electronic design meeting in which real-time, what-if vehicle design scenarios are played out.

Following today's trend, future IPT's will involve both customers and designers. For the AFRL, the network-distributed modeling capability opens the possibility to involve the end-users and the technologists in real-time design scenarios. Exactly how this would play out remains to be seen, however, it is clear that this shared modeling capability will help to shorten design decision processes and improve integrated team understanding of the design issues. Probably the most important hurdle is establishing the right cost for the right performance. The cost modeling developments in VA are certainly a healthy step in this direction.

REFERENCES

1. Air Force Scientific Advisory Board Aircraft and Propulsion Panel; "Conclusions and Recommendations," New World Vista Study; October 1995, p 137-138.
2. Beltramo, M.N.; "A Critical Look at the Development and Application of Airframe Cost Models," Society of Allied Weight Engineers, Annual Conference, 41st, San Jose, CA, May 17-19, 1992.
3. Lamar, W.E.; "A Review and Assessment of System Cost Reduction Activities," AGARD CP-289 "Design to Cost and Life Cycle Cost," Flight Mechanics Panel Symposium on Design to Cost and Life Cycle Cost, Amsterdam, Netherlands, 1980.
4. Marks, K.E.; An Appraisal of Models Used in Life Cycle Cost Estimation for USAF Aircraft Systems," Report R-2287-AF, Rand Corporation, October 1978.
5. Frederic, P. C., "A Cost Estimating Methodology For Advanced Air Vehicles: The System Cost/Technology Tradeoff (SCOTT) Model," Report CR-0918, Tecolote Research, Inc., January 1998.
6. Sjovold, A. R., "Avionics Reliability Cost (ARC) Tradeoff Model," Report CR-0385, Tecolote Research, Inc., July 1989.
7. Jeffery V. Zweber, Max Blair, Geetha Bharatram, Hilmi Kamhawi, "Structural and Manufacturing Analysis of a Wing Using the Adaptive Modeling Language", AIAA paper 98-1758 presented at the 39th AIAA/ ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20-23 April 1998 in Long Beach CA
8. Max Blair, Stephen Hill, Terrence A. Weisshaar, Robert Taylor, "Rapid Modeling with Innovative Structural Concepts", AIAA paper 98-1755 presented at the 39th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference 20-23 April 1998 in Long Beach CA.
9. Duane F. Veley, Maxwell Blair, Jeffrey Zweber, "Aircraft Technology Assessment System", AIAA paper 98-4825, presented at the 7th AIAA/NASA/ ISSMO Symposium on MultiDisciplinary Analysis and Optimization 2-4 September 1998 in St. Louis MO

FIGURES

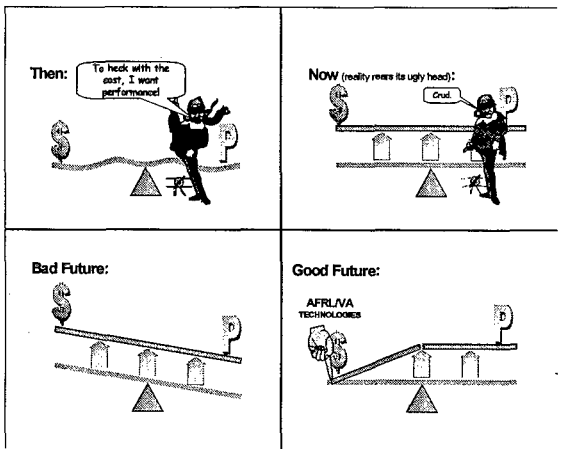

Figure 1 - Breaking the Paradigm

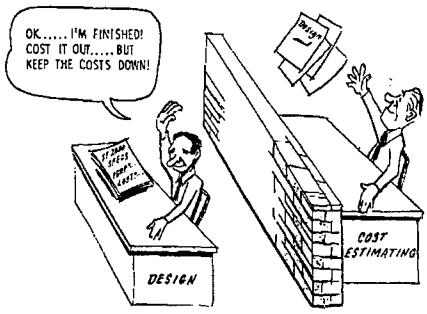

Figure 2 - Design to Cost ???

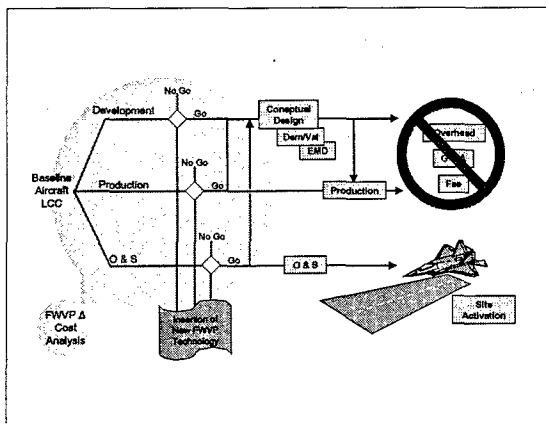

Figure 3 - Cost Increments for New FWVP Technologies

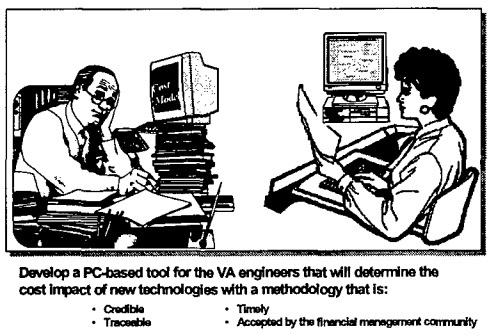

Figure 4 - VECAST Approach Changes the Culture

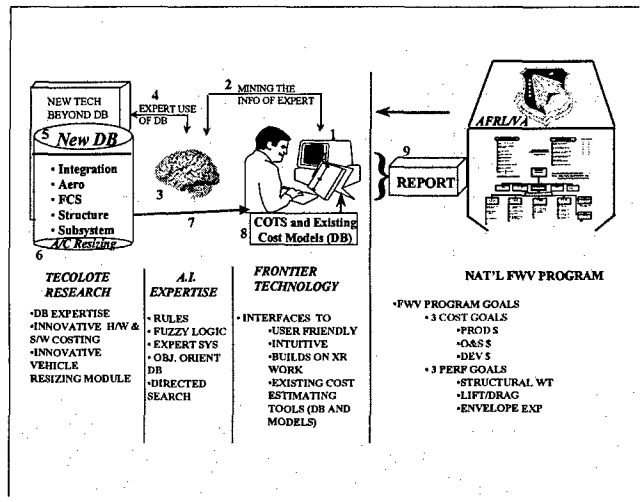

Figure 5 - Integration of Contracted SBIR Cost Efforts

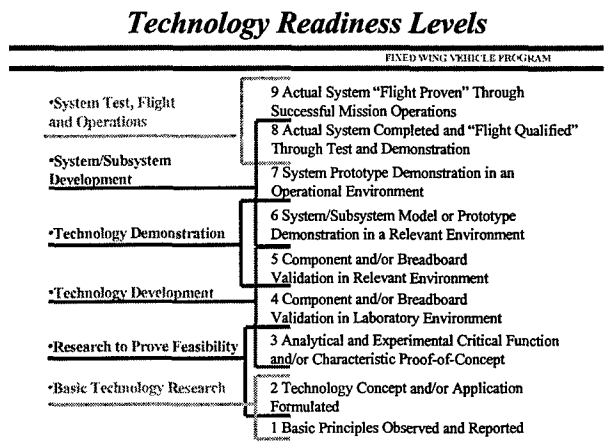

Figure 6 - Technology Readiness Levels

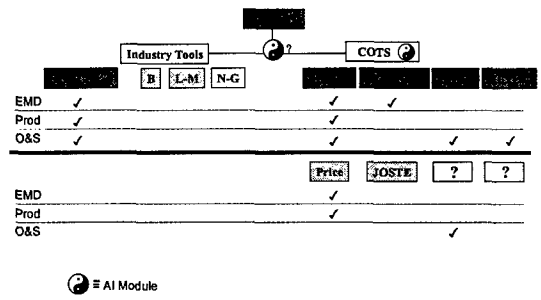

Figure 7 - Virtual Expert Cost Estimator for Air Vehicle S&T

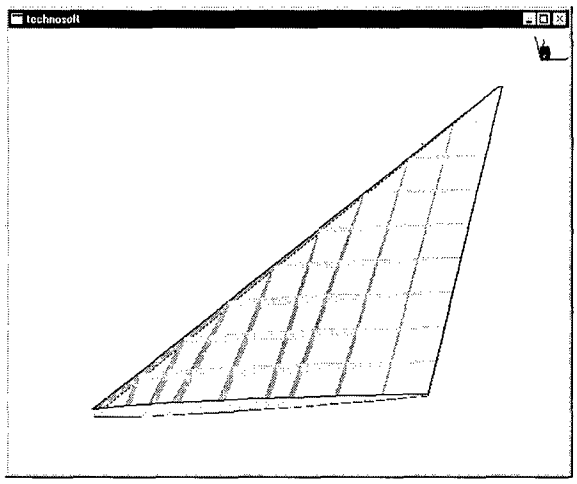

Figure 8 - AML geometry of a Wing Decomposed to Substructure

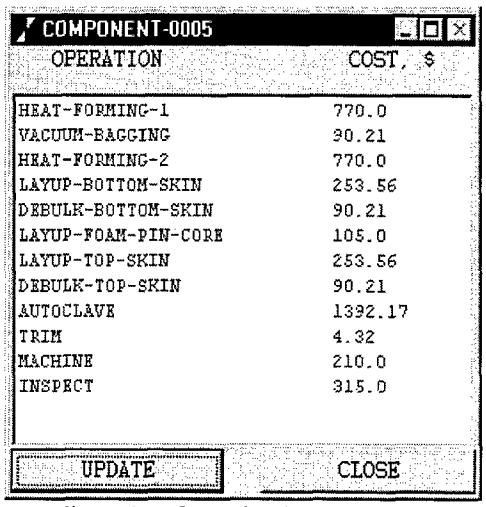

Figure 11 - Operation Sequence Cost

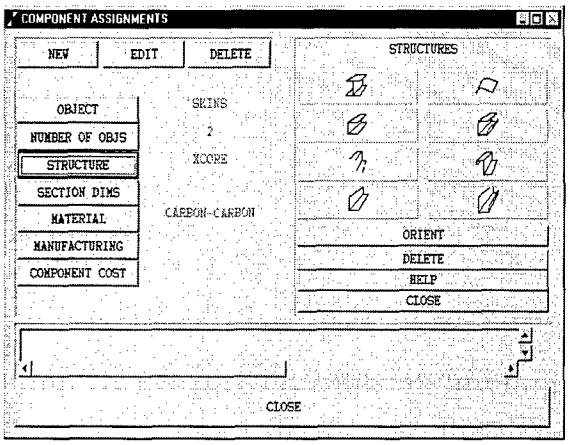

Figure 9 - Component Assignments

- Better Access Lowers O&S Costs
- Still Allows Performance Improvements Due to Partial Size Reduction

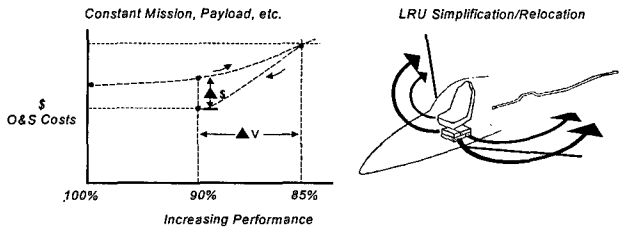

Figure 12 - Performance/O&S Trade Chart

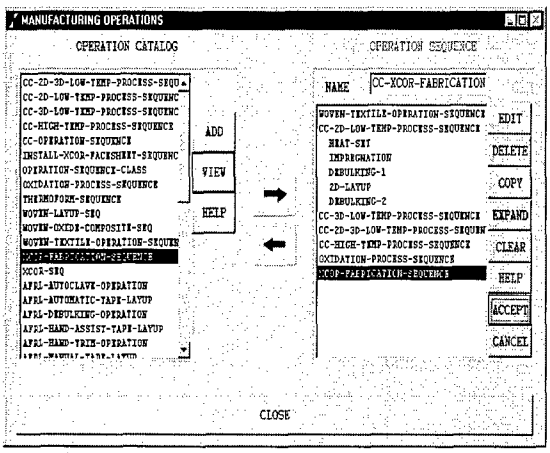

Figure 10 - Manufacturing Operation Sequence

Une expérience de l'ingéniérie concourante de navires de guerre et de leur soutien logistique

Jean-Philippe Carillon
DGA/DPM/MCO
26 Boulevard Victor
00460 Armées
France

1. Introduction

L'article est consacré aux problèmes d'intégration de la conception et de maîtrise du coût global sur la durée de vie des navires de guerre. Quelques voies de solutions simples et immédiates, utilisables quotidiennement, sont proposées. Un exemple illustratif est développé.

Un navire de guerre représente un exemple de " super-système ". Sa mise en œuvre nécessite l'association de plusieurs systèmes complexes, en premier lieu le système de combat. Ces systèmes comprennent eux-mêmes des installations et équipements très divers : transmissions, radars, sonars, contre mesures, armes, propulsion, usines de génération d'énergie, distribution d'énergie, distribution de fluides et d'air, commande de plateforme, sécurité incendie, conditionnement d'air, logements et restauration, etc. Les technologies de ces systèmes, installations et équipements utilisent de plus en plus les logiciels et l'électronique. On peut parler d'une coopération entre l'équipage et des systèmes "intelligents".

L'analogue civil peut être recherché dans la gestion des grandes agglomérations ou dans les grands projets de l'industrie ou de l'ingéniérie. La domotique présente également des similarités, à une échelle différente.

2. Position du problème : l'adaptation au changement continu

Il serait inutile de prétendre que l'ingéniérie concourante, telle qu'elle est décrite dans les manuels, est mise en œuvre quotidiennement dans nos marines. On y trouve, cependant, diverses applications pratiques. On y trouve aussi de la matière à réflexion pour l'avenir, concernant l'utilisation des nouveaux outils de conception proposés sur le marché et la pérennité de la capacité de (re)conception d'un navire au cours de sa période d'utilisation.

2.1. Résumé schématique de l'état de l'art en conception des navires

La conception assistée et la fabrication assistées par ordinateur existent depuis très longtemps dans le domaine de l'architecture et de la construction navales : étude des formes des navires, découpage et formage des tôles, étude des installations, découpage et mise en forme des tuyautages, études de simulation et maquettages de systèmes de combat, etc.

Mais l'intégration des diverses spécialités de conception, pour obtenir un navire qui soit à la fois un bon flotteur, un bon maneuvrier, un bon système de combat, robuste, bien habitable, correctement maintenable, autonome et respectueux de l'environnement.... est restée un art jusque tout récemment. La conception à coût global minimum, qui doit tenir compte de l'intégralité des coûts d'acquisition et d'exploitation, des premières esquisses jusqu'au démantèlement, est restée une discipline indépendante, utilisée seulement à quelques occasions au cours des études et de la vie d'un navire.

2.2. Questions en vue de l'utilisation pertinente de nouveaux outils

Il n'est pas certain que les outils récents de conception, notamment ceux qui calculent et visualisent en trois dimensions, soient facilement maîtrisables en vue d'intégrer les très diverses spécialités qui concourent à la conception puis à l'exploitation d'un navire de guerre.

Dans le domaine du meuble, les fabricants et distributeurs de meubles de cuisine réalisent depuis longtemps des maquettes virtuelles en trois dimensions à l'intention des clients, au moyen de

Paper presented at the RTO AVT Specialists' Meeting on "Design for Low Cost Operation and Support", held in Ottawa, Canada, 21-22 October 1999, and published in RTO MP-37.

logiciels de conception et fabrication par ordinateur. L'intégration avec la fabrication n'a pas toujours été un plein succès et il semble que l'on revienne à des outils différents, bien qu'interconnectés, pour le marketing et pour la fabrication. L'enjeu et les difficultés sont d'un ordre de grandeur encore plus élevé pour des navires de guerre.

Les nouveaux outils intégrateurs doivent donc encore faire leurs preuves.

2.3. Questions relatives à la préservation de la capacité de conception après la livraison

Des outils de conception d'un navire doivent rester à disposition pour réaliser les refontes et évolutions techniques au cours des 25 à 40 ans de la période d'exploitation et permettre de garantir la conservation des performances d'ensemble et des qualités d'intégration.

En effet, une seule refonte à mi-vie du navire, et en particulier de son système de combat, ne suffit plus car la rapidité d'obsolescence technologique oblige, de toute façon, à réaliser des raffraîchissements presque en continu, pas toujours dans l'ordre prévu, souvent avec une amplitude non souhaitée de divers éléments du navire.

Tentons d'être encore plus réaliste : les outils de conception d'origine du navire deviennent eux aussi obsolètes et finissent par disparaître au bout de quelques années alors que la durée de vie d'un navire est de quelques dizaines d'années. Certes, tout n'est pas négatif, car on bénéficie du progrès et on réalise des performances supérieures avec moins d'investissement, mais cet investissement dans l'apprentissage de nouveaux outils de conception est plus fréquemment renouvelé et le facteur humain peut devenir prédominant en tant que facteur limitatif.

Les évolutions du monde industriel, notamment à travers les concentrations, ne facilitent pas non plus la tâche de maintien de la bonne intégration d'un "super-système" tout en restant au coût global minimum. Qu'est devenu le maître d'œuvre intégrateur de conception et de fabrication après dix ou vingt années, à supposer qu'il ait correctement rempli son rôle et que la continuité de ce rôle ait été prévue pour la durée de vie du navire ? Le rôle d'un maître d'œuvre intégrateur du soutien du navire, éventuellement différent du maître d'œuvre de conception, face à des systèmiers et équipementiers, dont certains sont des entreprises régionales, d'autres appartiennent à des grands groupes multinationaux est-il seulement réactif ou bien doit-il anticiper, planifier.... tous les types d'évolutions technologiques, industrielles ? La réponse est certainement oui à la deuxième série d'options, mais quel industriel peut prétendre apporter un tel service et garantir le niveau de qualité de ce service sur longue durée ?

2.4. Importance des outils de management des informations techniques

Dans la perspective d'une continuité de la conception, au moins partielle, tout au long du cycle de vie d'un navire, les outils de gestion des informations techniques prennent une importance toute particulière.

Dans la pratique, les outils traditionnels s'avèrent à peine suffisants. Même les outils récents qui intègrent, par exemple via un workflow, des processus de travail entre acteurs, en s'appuyant sur divers applicatifs, et notamment une gestion de configuration, ne semblent adaptés qu'au traitement des problèmes au niveau des systèmes, mais pas au niveau d'un " super système ".

Pour préserver la capacité de (re)conception et d'évolution d'un super-système, il faut une gestion d'un autre ordre de grandeur.

Pour illustrer ce point, prenons l'exemple du soutien des logiciels, qui représentent l'une des technologies les plus répandues et les plus évolutives à bord d'un navire de guerre.

Il n'est pas suffisant de connaître la décomposition des éléments logiciels inclus dans chaque système d'un "super-système" : la gestion à réaliser est par nature " transversale " entre les systèmes et un modèle purement hiérarchique des informations de management est insuffisant.

Pourquoi cela ? Il faut savoir rapidement évaluer quels logiciels seront impactés par une modification d'interface matériel - par exemple avec un bus de données-, quels logiciels sont à modifier pour obtenir une fonctionnalité supplémentaire ou améliorer la réalisation d'une fonction

opérationnelle. Il faut gérer non seulement les logiciels embarqués, mais les ateliers à terre chez les industriels, d'intégration et de programmation, qui permettent de modifier et valider les logiciels, ainsi que les relations contractuelles avec les industriels, parfois entre industriels, concernant notamment les compétences humaines.

Les difficultés dues à l'obsolescence et aux changements du monde industriel, en l'occurrence non seulement les sociétés de service en informatique mais aussi les producteurs de " logiciels de base ", sont égalemement très présentes. On ne peut espérer, dans le domaine de la configuration des logiciels, figer une situation au-delà de quelques années : les générations d'ordinateurs se succèdent ainsi que les générations de logiciels de base et la compatibilité ascendante n'est pas systèmatique ; elle est même assez systèmatiquement remise en cause à chaque progrès important.

La communication entre le soutien à terre et le personnel spécialement formé à bord est à organiser dans le détail, à la fois pour permettre un enregistrement pertinent et une bonne remontée des faits techniques et incidents, ensuite pour assurer un premier niveau de soutien aux utilisateurs et garantir la configuration actuellement utilisée. Ce dernier point n'est pas un détail lorsque l'essentiel des ordinateurs à bord sont des machines du commerce susceptibles d'être reconfigurées très facilement par des moyens à la portée de la plupart des utilisateurs.

Ainsi, pour un " super système " tel qu'un navire, on doit envisager un système intégré d'informations techniques permettant de traiter chacun des types de problèmes évoqués. Une gestion des informations techniques de type classique ne permet pas de le faire.

2.5. Ingéniérie concourante, ingéniérie du changement

Le vrai problème qui se pose avec une acuité accrue, c'est de maîtriser plusieurs causes de changements continus et concomitants : les besoins des utilisateurs, les technologies mises en œuvre (y compris celles de la conception), le monde industriel qui "supportent" l'ensemble.

Ainsi, l'ingéniérie concourante devient de facto une manière de vivre pour un grand nombre d'acteurs, pas seulement ceux de la conception et de la fabrication initiales, mais aussi tous les acteurs du soutien en service. Le besoin d'outils d'intégration simples, utilisables par des communautés d'acteurs industriels et étatiques, apparaît logiquement, à côté des outils de spécialistes.

Par opposition, il est à craindre que certains nouveaux outils de conception intégrée ne puissent servir à traiter que les problèmes du passé selon une vision plutôt livresque des besoins des acteurs. Le niveau d'investissement nécessaire à l"acquisition et surtout à l'apprentissage de ces nouveaux outils ne permettra probablement pas de se dédire à ceux qui en feront l'acquisition. Cette acquisition ne les dispensera pas d'opérer une récupération et une mise à niveau des informations contenues dans leurs anciens outils. Enfin, il leur faudra réapprendre que, pour espérer maîtriser le niveau de complexité d'un "super-système", il est nécessaire de préserver une flexibilité, des degrés de liberté et des découplages, qu'un outil intégrateur unique ne peut pas offrir, par nature.

Cependant, les leçons du passé peuvent être tirées et utilisées pour ébaucher une ligne de conduite raisonnable en fonction des divers types de changements à maîtriser.

Des solutions " mythiques " ont représenté l'idéal de l'ingéniérie concourante avant l'accélération des besoins d'évolutions continues sur le cycle de vie que nous connaissons actuellement. Il est intéressant de les réexaminer en regard des nouveaux besoins.

Nous commencerons donc par examiner rapidement deux " solutions " mythiques avant de proposer des principes pratiques puis d'exposer un exemple limité mais significatif d'application de ces principes.

3. Examen critique de deux solutions historiques

Pour être exact, les deux solutions examinées ici n'ont jamais été présentées comme exclusives ni exhaustives. Le soutien logistique intégré et la normalisation des échanges de données informatisées sont totalement complémentaires en

vue de l'ingéniérie concourante sur la durée de vie des systèmes.

3.1. Le soutien logistique intégré

Le soutien logistique intégré est une discipline d'ingéniérie du soutien, exercée concouramment à la conception.

La méthodologie générique est celle décrite dans l'ex MIL-STD 1388-1A. Elle exige une adaptation particulière à chaque programme, pour tenir compte des problèmes spécifiques à ce programme.

On pourrait penser que le soutien logistique intégré fournirait un bon cadre de travail pour l'ingéniérie concourante au cours de la période d'exploitation des navires.

Mais, en pratique, cette discipline a été exercée par des spécialistes du soutien logistique plutôt que par les concepteurs. Elle a surtout servi à dimensionner des lots de rechanges, et à tenter d'optimiser ponctuellement la répartition des opérations de maintenance entre les divers opérateurs étatiques et industriels.

Au cours de la période d'utilisation en service des navires, la méthode a parfois servi à redimensionner des lots de rechanges en fonction du retour d'expérience. En réalité, on s'est vite aperçu que les rechanges à bord d'un navire de guerre, qui représentent plusieurs milliers de référence, sont pour la plupart des pièces qui ne seront jamais employées. Ces pièces de rechange ont été placés à bord " au cas où " et elles y resteront pour cette même raison d' "essentialité ", quels que soient les analyses et calculs d'optimisation que les logisticiens fassent, si rien ne change par ailleurs.

Une véritable optimisation des éléments de soutien logistique à bord des navires suppose, en réalité, plusieurs actions concomitantes, dont aucune ne fait partie du soutien logistique intégré tel qu'il a été appliqué traditionnellement :

- réévaluer, de manière critique, l'importance relative des systèmes (et non pas de leurs rechanges), dans la réalisation des fonctions opérationnelles exigées le plus souvent en pratique, en tenant compte des redondances architecturales entre ces systèmes ; définir des lots à embarquer seulement pour les missions spécifiques et abandonner le concept " toujours prêt à tout partout à tout moment " au profit d'un niveau de risque raisonnable ;
- mettre en place une communauté logistique efficace entre les navires d'un même type, avec visibilité totale et instantanée des stocks à terre et des en cours de transport des ressources vers les navires, réalisation de transports rapides, fourniture de moyens d'assistance aux équipages pour la maintenance, etc.
- mettre en place une " supply chain " à terre, conduite par une cellule intégrée associant des opérationnels, des techniciens et des acheteurs, de manière à n'approvisionner que le strict minimum et en tenant compte à la fois des facteurs d'obsolescence, de la durée de vie à couvrir jusqu'à la prochaine refonte ou jusqu'au prochain raffraîchissement technologique, des campagnes de production des industriels.

Le soutien logistique intégré n'a pas été conçu pour remettre en cause des organisations et des procédures, ni pour maîtriser le changement en continu.

Maintenant que la coupure entre la période d'étude et de réalisation des navires s'estompe, avec l'augmentation de fréquence des raffraîchissements technologiques et des refontes partielles, on pourrait penser que le soutien logistique intégré va connaître un renouveau. Ce serait logique, mais peu probable. Il faudrait, en effet, qu'il renaisse plus beau et plus intelligent qu'il n'a jamais été, et puisse directement servir à maîtriser les logiciels et les matériels de technologies évolutives. Dans ces conditions, on peut préférer le remplacer carrément par autre chose, qui reste à formaliser et même à nommer, plus proche de l'ingéniérie du vivant.

3.2. La normalisation des échanges par voie informatique

La communication entre les acteurs doit être efficace, aussi bien pendant la conception et la réalisation du navire, que pendant son exploitation et son soutien en service. On a vu que son automatisation était souhaitable. Quelles sont les bases possibles de cette automatisation ?

L'évolution de la signification de l'acronyme CALS, qui désigne à l'origine une stratégie de l'US DOD en matière d'échanges de données informatisées, est caractéristique :

- Computer Aided Acquisition and Logistic Support : l'accent est sur l'ordinateur, les travaux ont porté principalement sur des normes d'échanges entre ordinateurs ;

- Continuous Acquisition and Life-cycle Support : l'accent est sur la continuité, les travaux ont porté principalement sur l'organisation, les procédures, les outils permettant la coopération entre acteurs sur la durée de vie d'un système;

- Commerce At Light Speed : l'accent est sur les affaires, et sur leur accélération.

Il est édifiant de comparer le résultat des premiers travaux avec ceux qui sortent à présent. Les premiers travaux ont produit (parfois simplement reproduit) des normes basiques de détail qui sont actuellement soit périmées, soit tombées dans le domaine public. Les travaux suivants ont permis, entre autres, la réalisation de prototypes de travail de projet en groupe (workflow) à grande échelle entre industriels et organismes étatiques dans le domaine des projets de systèmes d'armes. L'un des enjeux des travaux en cours est la communication directe entre les forces armées et l'industrie, afin que cette dernière puisse efficacement vendre ses produits et réaliser des prestations d'après-vente, y compris des fournitures de faible valeur nominale.

Il est probable que l'époque des normes détaillées très contraignantes au plan de la forme est révolue, au profit de métanormes. Ces dernières sont les plus susceptibles, en effet, de permettre la satisfaction des besoins très divers d'échanges entre acteurs à un coût raisonnable et dans des délais courts, en s'appuyant sur des principes syntaxiques et des dictionnaires de données. Au contraire, l'imposition d'un alignement sur des modalités détaillées ne durerait pas plus longtemps que les produits informatiques commerciaux qui les supporteraient et les coûts de mise à niveau à engager par les divers acteurs seraient forcément importants, donc non synchronisés...

A titre d'illustration, on comparera utilement une métanorme telle que XML et une norme classique telle qu'EDIFACT. On notera que l'industrie automobile fonctionne depuis plus de 15 ans avec des échanges informatisés permettant aux usines de montage de commander les fournitures en flux tendu chez les équipementiers ; l'une des principales difficultés de mise au point a été la prise en compte des cas d'erreurs (exemple : le produit livré par l'équipementier n'est pas le bon bien qu'il porte la bonne référence) ; jamais l'informatique ni la norme d'échange n'ont constitué une difficulté de premier ordre.

Un enjeu très important, dans le cas des systèmes navals, réside dans la capacité d'exploiter d'anciennes bases de données conjointement avec des nouvelles. Il existe, en effet, un décalage entre les générations informatiques mises en œuvre par des programmes sucessifs de navires et les bases propres à chaque programme contiennent un capital considérable. Comme beaucoup d'éléments du soutien logistique, à commencer par la plupart des contrats d'après-vente de systèmiers et d'équipementiers, recouvrent plusieurs programmes, il est indispensable de pouvoir exploiter toutes les données existantes. S'il existe un espoir de faire communiquer efficacement de manière automatisée des "anciennes" bases de données avec des nouvelles, c'est bien en robotisant la capacité de reconnaissance des procédures adaptées d'échange entre agents informatiques, plutôt qu'en tentant d'imposer une modalité unique d'échange ou un modèle unique. Chaque base possède son dictionnaire de données et sa structure, ses protocoles d'accès. Une métanorme peut permettre d'exprimer cela, et permettre les échanges entre des bases existantes en l'état. Bien entendu, un contrat d'échange conclu entre les entreprises industrielles ou organismes détenteurs des diverses bases doit préexister.

Dans le cadre d'une " supply chain " du type évoqué au paragraphe sur le soutien logistique intégré, on peut envisager l'échange des faits techniques et des configurations concernant les systèmes en service, l'échange des plannings d'interventions de maintenance des acteurs étatiques et industriels, la communication des campagnes de production des industriels, la communication des niveaux de stocks et en cours, etc. Ces échanges existent déjà de facto pour certains systèmes ou installations navals, de manière formelle ou informelle, mais sans informatique autre que le fax. Il est clair que les acteurs utiliseront l'informatique seulement si elle offre rapidement une amélioration,

au moins sur le plan de la convivialité ou de l'apport de fonctionnalités nouvelles, par exemple à travers l'enregistrement à caractère quasi-notarial des échanges. Car l'échange de données par voie informatique n'est pas un but en soi.

Dans la pratique, les informations échangées entre des acteurs, y compris par voie informatique, n'ont qu'une durée de pertinence limitée. Parallèlement, un capital de données informatisées voit sa valeur diminuer automatiquement avec le temps s'il n'est pas mis à jour des évolutions des configurations réelles des systèmes navals en utilisation. Le cœur du système d'informations pour le soutien d'un navire de guerre se déplace vers tout ce qui permet d'assurer la mise à jour rapide du noyau traditionnel (configurations des installations navales, inventaires des ressources disponibles en stock) en fonction des évolutions et de réagir rapidement à une sollicitation opérationnelle imprévue. Ce sont les protocoles d'échanges contractuels avec les industriels réalisant le soutien qui deviennent de facto le nouveau cœur du système d'informations, après avoir été longtemps considérés comme périphériques. On peut même prévoir que le noyau traditionnel sera un jour physiquement réparti entre les industriels, au fur et à mesure que les politiques d'externalisation du soutien logistique se traduisent dans les faits. De toute façon, toute organisation étatique sera incapable, à terme, de justifier le coût de mise à jour du capital des données nécessaires, de l'organiser et de l'effectuer avec la réactivité souhaitable.

Comme au paragraphe consacré au soutien logistique intégré, on peut conclure que la forme ne peut remplacer le fond et que l'outil ne peut remplacer l'intention. Pour chaque acteur étatique ou industriel, la gestion des systèmes d'informations s'assimilera de plus en plus à la gestion des échanges avec d'autres acteurs.

4. Quelques principes pratiques d'organisation pour maîtriser le changement continu

Les principes proposés sont destinés à permettre l'ingéniérie concourante des navires et de leur soutien logistique dans un monde en évolution continue. Ils ne sont évidemment pas tous spécifiques au domaine des navires de guerre.

Faire partager aux acteurs une vision commune sur ce qui sera important dans la vie du programme, c'est-à-dire la période d'utilisation qui suivra les études et la réalisation.
Exemple de thèmes à marteler : l'évolution de la répartition du coût global entre l'acquisition et l'exploitation au profit de cette dernière, l'accroîssement de la part des logiciels et des technologies évolutives utilisant du logiciel dans les systèmes, la responsabilisation des industriels systémiers et équipementiers sur leur après-vente, etc. Sinon, comment espérer que le coût global d'un programme soit sérieusement étudié s'il reste traité comme un exercice accessoire sans impact réel sur les choix d'architecture ni l'exploitation ?

Faire travailler en commun, pour des objectifs précis, des étatiques et des industriels, chacun dans leur rôle, dans des cellules de projet.
C'est ce qui est appelé ailleurs l'IPT, Integrated Product Team. Cela fonctionne bien si chacun a une idée précise du résultat attendu et de la nature de sa participation individuelle.

Respecter l'autonomie de chaque cellule de projet selon son horizon temporel, respecter l'horizon temporel des utilisateurs.
Cette évidence n'est pas toujours bien comprise. Un exemple pris dans l'industrie sera plus illustratif qu'un exemple de bureau d'études : un groupe d'emballeuses assure journellement le ramassage et l'expédition de commandes de produits pharmaceutiques ; il y a des grosses et des petites commandes qui induisent une charge très différente dans les différentes étapes du processus ; l'erreur est d'imposer un contrôle détaillé sur chacune des différentes étapes du processus, alors qu'il vaut mieux laisser le groupe d'emballeuses s'organiser de manière autonome; on ne soumet à un contrôle journalier que l'indicateur d'expédition de toutes les commandes prévues pour la journée, c'est-à-dire le résultat final, sans intervenir sur les règles du jeu internes au groupe.
Dans un projet, les jalons de projet délimitent les horizons temporels.
Il peut être nécessaire de refuser un horizon temporel inadéquat. Les problèmes de mise au point des systèmes de commande et automatismes sont parfois imputables à un horizon distendu, entre le moment où les études ont été approuvées et le moment où le système réel est livré. On est alors obligé de traiter sur le tas des défauts de prise en compte des modes dégradés, qu'un maquettage

intermédiaire aurait pu révéler parce que certains facteurs ne peuvent pas être étudiés seulement sur le papier. Les découvertes tardives sont typiquement les suivantes : le système en fonctionnement nominal exige peu de l'opérateur, alors qu'il faudrait dix opérateurs pour espérer traiter certains modes dégradés ; ou bien l'opérateur en situation de prendre des décisions difficiles va être bombardé d'informations vocales et lumineuses qui risquent d'augmenter son niveau de stress jusqu'à l'acte irrationnel.

Assurer la cohérence d'ensemble au moyen de modèles adaptés permettant la communication entre acteurs, entre cellules projets.
Des modèles d'ensemble du navire ou de sous-ensembles importants, simples, interactifs, permettent de visualiser l'influence des divers paramètres. Dans ce type de modèle, on ne doit pas sacrifier une vue globale, même si elle n'est pas totalement exacte, au profit du détail ni de l'universalité. Un exemple est présenté au chapitre suivant.

5. Exemple de modèle global d'un navire de guerre

Le modèle proposé ici comme illustration de modèle global est utilisé dans tous les programmes majeurs de la marine française depuis quelques années. Sa création a été motivée par les considérations développées aux chapitres 2 à 4 ci-dessus.

5.1. Domaine du modèle proposé comme exemple

Le modèle est destiné à montrer l'influence sur la disponibilité opérationnelle du navire

- des choix architecturaux de coopération entre systèmes
- des paramètres de fiabilité et de maintenabilité des systèmes physiques.

Il peut être utilisé à toutes les phases de faisabilité, de conception et de réalisation, ainsi qu'au cours de l'utilisation en service.

Les utilisateurs du modèle sont des opérationnels, des concepteurs, des logisticiens.

5.2. Description du modèle

Chaque fonction opérationnelle du navire est modélisée par un arbre logique développant les sous-fonctions, jusqu'aux systèmes physiques. C'est un arbre des contributions fonctionnelles.

Un porte avions peut être ainsi représenté par seulement une dizaine de fonctions opérationnelles, telles que " lancer les avions ", " récupérer les avions ", " se protéger contre les attaques ", " communiquer avec les autres navires de la flotte ", etc.

L'exemple d'une fonction " préparer les avions pour la mission " donne une illustration commode à la présente description (figures 1 et 2).

Les noeuds logiques dans un arbre sont de quatre types : AND, OR, AND/OR type A0, AND/OR type A1. Ces deux derniers types permettent de représenter les deux types de redondances fonctionnelles entre systèmes.

Le type A0 sert aux cas de coopération entre systèmes de natures différentes à la réalisation d'une sous-fonction ; par exemple, la réalisation d'une sous-fonction de maneuvre et de stabilisation de plateforme suppose le fonctionnement de logiciels de commande et de régulation, d'un gouvernail, de divers systèmes de stabilisation physique, d'un propulseur secondaire à l'avant, etc.; la contribution d'un système coopérant est mesurée par la perte d'efficacité de la fonction lorsque ce système n'est plus disponible.

Le type A1 sert aux cas habituels de redondances partielles ; par exemple plusieurs radars embarqués peuvent, avec un niveau d'efficacité différent, réaliser une sous-fonction donnée. Le niveau d'efficacité mesure la contribution.

Les contributions des auxiliaires, tels que conditionnement d'air, distribution d'énergie, qui apparaissent très souvent dans les arbres fonctionnels, peuvent être recueillies plus facilement dans un tableau croisé avec les divers systèmes physiques présents dans les arbres des contributions fonctionnelles. L'inclusion de ces systèmes auxiliaires directement dans les arbres en est ensuite facilitée.

5.3. Fonctionnement interne

Le but du modèle est l'étude de sensibilité des divers paramètres traités, sur la disponibilité opérationnelle de chaque fonction. Parmi les paramètres traités, les contributions des systèmes dans les divers cas de redondance donnent, eux aussi, lieu à analyse de sensibilité.

Pour chaque système physique, les paramètres sont les suivants :

- MTBCF estimé en cours de mission à la mer (Mean Time Between Critical Failure)
- MDTR estimé en cours de mission à la mer (Mean Down Time to Repair)
- niveau de réparabilité à la mer (qui conditionne le MDTR)
- taux d'utilisation à la mer

Le niveau de réparabilité à la mer représente la probabilité que le système considéré soit, au moment de la fin de mission, dans l'un des états suivants : totalement opérationnel, opérationnel dans un mode dégradé sans panne critique, en panne réparable par les moyens du bord (ce qui suppose qu'il reste à bord tout ce qu'il faut pour réaliser la réparation). Ce niveau de réparabilité induit à lui seul toute la logistique embarquée et la conception du système pour qu'il soit réparable au niveau souhaité.

Le modèle évalue la disponibilité opérationnelle en fin de mission et calcule les sensibilités des paramètres par un calcul analytique. Le temps de calcul est conditionné par le nombre d'apparitions multiples de systèmes dans l'arbre. Les systèmes sont classés, pour chaque analyse de sensibilité, par gravité décroîssante.

On trouvera un exposé des principes de calcul analytique dans la référence suivante :
Une méthode pratique d'allocation des objectifs, J-Ph Carillon, A. Petit, G. Seguin, O. Natta, Dixième Colloque National Fiabilité et Maintenabilité Lambda Mu 1996.

5.4. Logiciel associé

Un logiciel bilingue, français ou anglais au choix par une option de menu déroulant, a été développé pour tourner sur toute machine PC sous un système Windows 9x ou NT. Il permet de saisir les arbres de contributions fonctionnelles, éventuellement en réutilisant des éléments d'autres arbres déjà saisis.

Le logiciel les calculs pour l'arborescence à traiter et fournit les résultats dans un rapport, ainsi que dans chaque élément de l'arborescence traitée. Les résultats peuvent être conservés et rappelés.

La documentation du logiciel présente à la fois les principes de fonctionnement et d'utilisation. Les aides du logiciel rappellent les principes d'utilisation, notamment la gestion des arbres fonctionnels.

L'ensemble logiciel et documentation tient sur trois disquettes, et bien entendu sur un seul CDROM.

5.5. Caractéristiques intéressantes pour l'ingéniérie concourante

A. Le modèle est autonome et simple; il utilise très peu de paramètres. Mais ces paramètres ont beaucoup d'implications au plan de l'architecture des systèmes et de l'exploitation du navire. Des outils de spécialistes sont indispensables pour approfondir les conséquences ou étudier les arbitrages en fonction des paramètres détaillés propres à chaque discipline par système ou par technologie.

B. Le modèle s'appuie sur une description fonctionnelle globale établie avec le concours des utilisateurs futurs ou des utilisateurs actuels, selon que l'on traite d'un navire en conception ou en utilisation.

C. Les calculs reposent sur des formules analytiques dont les résultats sont directement accessibles sans besoin d'interprétation par des spécialistes.

D. Le modèle permet et incite à travailler toujours en relatif à partir des analyses de sensibilité sur la totalité des paramètres introduits. Les systèmes physiques sont classés selon leur rang d'impact possible sur la disponibilité opérationnelle, ce qui met en évidence les progrès à faire mais aussi les possibilités de diminution des exigences ; en tous cas, un débat se crée autour d'un raisonnement global, plutôt que sur des bases propres à une discipline ou à une expertise spécifiques.

E. Les arbres fonctionnels et le modèle peuvent être utilisés en exploitation pour rendre compte de l'état de disponibilité du navire par fonction opérationnelle.

Ce modèle est donc, typiquement, un outil de communication et de synthèse.

F. Une dernière caractéristique intéressante : le modèle n'a aucune prétention à l'universalité. Par exemple, les facteurs humains, les études de sécurité, les études de performance des armes et du système de combat... exigent en général d'autres modèles globaux du navire.

6. Conclusion

Sauf à faire une confiance aveugle à des mythes anciens, l'ingéniérie concourante d'un super-système complexe et de son soutien logistique doit s'appuyer sur des modèles globaux complémentaires entre eux, simples, permettant de hiérarchiser l'essentiel par rapport à l'accessoire, et ...d'exploiter intelligemment les outils des spécialistes.

On ne doit pas se tromper dans le choix des outils : ceux qui sont destinés à gérer des systèmes ne suffisent pas à la gestion et au soutien dans la durée d'un super-système qui devra subire des évolutions fréquentes et globalement importantes.

Le facteur humain et la vision d'ensemble sont primordiaux. La technique de l'ingénieur et le management des organisations se traitent ensemble, en continu, sur toute la durée de conception de réalisation et d'exploitation des systèmes.

L'auteur. Jean-Philippe Carillon, architecte naval, après une carrière de 15 ans dans diverses industries civiles de production et de logistique, se consacre depuis 8 ans à la transposition des avancées civiles à la conception et au soutien des systèmes d'armements, principalement dans le domaine naval.
Adresse : DGA/DPM/MCO, 26 Boulevard Victor, 75015 Paris (France).
Le présent article a été rédigé spécialement pour l'atelier « Design for Low Cost Operation & Support » organisé en octobre 1999 à Ottawa par la NATO Research & Technology Organization.

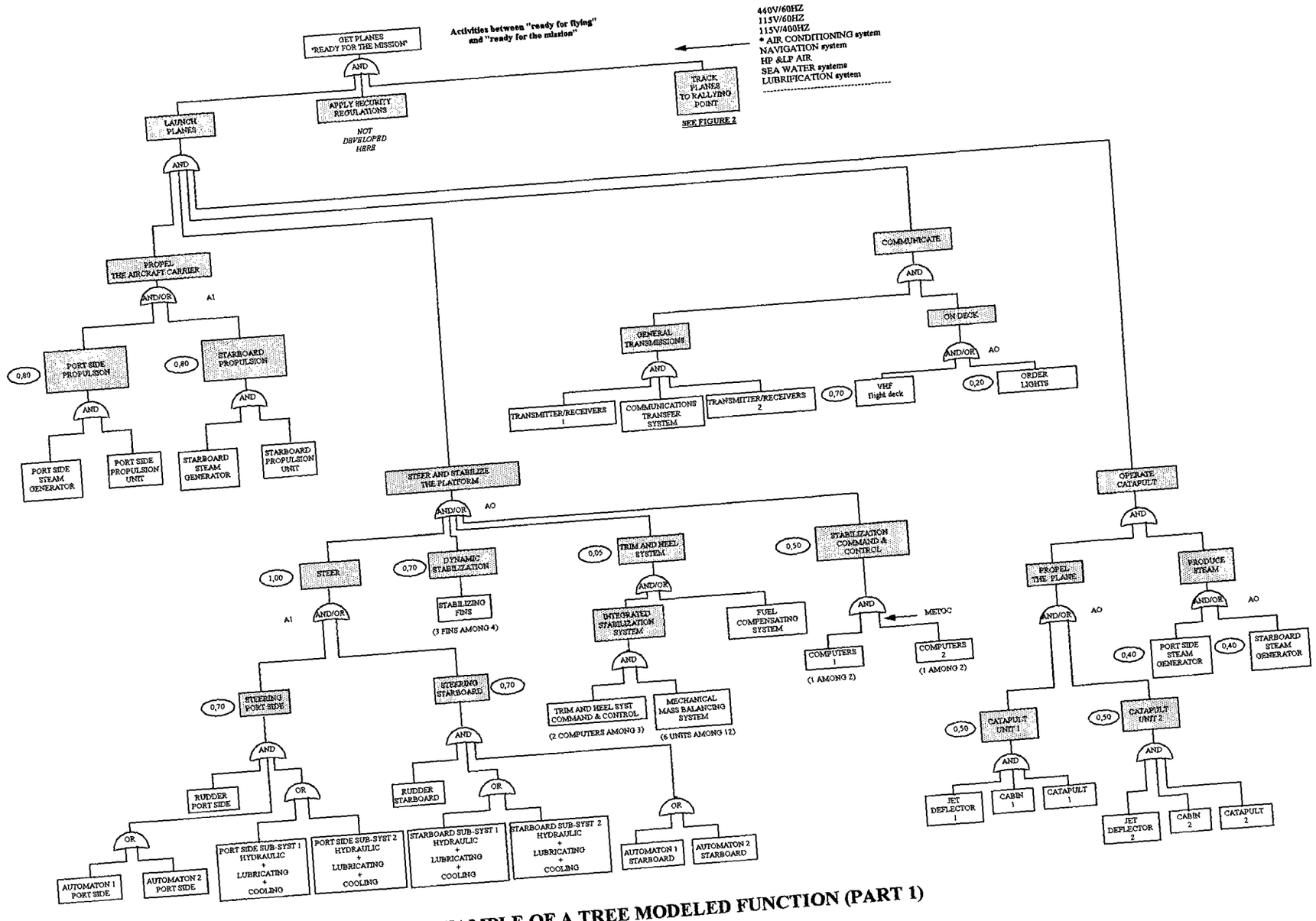

FIGURE 1 : EXAMPLE OF A TREE MODELED FUNCTION (PART 1)

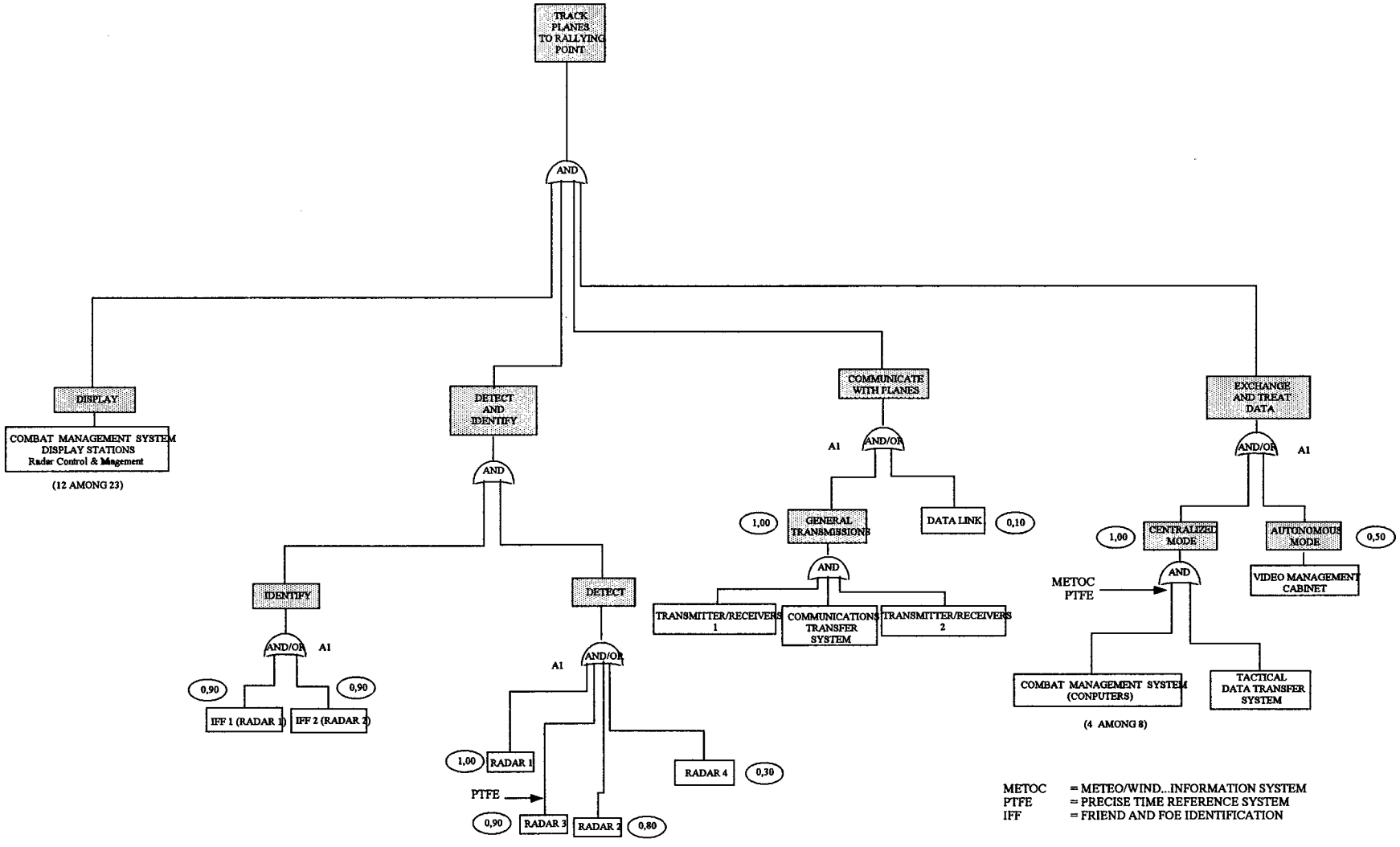

FIGURE 2 : EXAMPLE OF A TREE MODELED FUNCTION (PART 2)

An Experience in Concurrent Re-Engineering of Warships and their Logistics, as a Usual Business - English Abstract -

Jean-Philippe Carillon
(Ministère de la Défense, DGA/DPM/MCO)

A reform in the acquisition of weapon systems is currently in progress in some major countries. But the consequences are still to be derived in the domain of optimization studies.

Really user friendly models to be used by participants in integrated program teams are still lacking. Moreover, as the frontiers between program stages fades away due to the need for continuous technological refreshements - among other reasons - and integrated program teams will have to support the product thru life, continuous reingeneering will arguably become a requirement for survival. The following questions should also be addressed :

- which should be the adequate tools to design then support an "integrated" complex super system thru life,
- by whom (Gov't or industry) should they be operated..

Respected methodologies and strategies such as Integrated Logistic Support and CALS have never been designed for coping with a changing world where both new and legacy design and support tools are to be maintained, operated, sometimes themselves reingeneered. Moreover, as the complexity of newer weapon systems and their cooperative use on the battlefield increases, the aim for support can no longer be simply in terms of maintaining the systems but in terms of delivering the operational capability in various situations thru life.

The paper advocates the use of simple models on Gov't side, that should be based upon representations how the weapon system operates (instead of how it might fail). Dedicated independent simple models should be developed for each major discipline in a given program, for example, safety, availability, human factors, rather than downloading supposedly relevant data from an overall database. The point is that these models should be used as communication tools between the participants in integrated teams, that typically will have different cultures and skills.

Regular detailed models, for example simulation models, would be operated by specialists and experts in various disciplines, mainly in industry.

To illustrate the concept, a modeling tool and methodology is described. It is being used in all major warships acquisition programs in France and also as a reingeneering tool. It aims at relating the operational availability of each top level operational function of a given weapon system, for example an aircraft carrier. Very few parameters will describe the rate of use, the repairability at sea, the mean time between critical failure, the mean down time of each physical major component.

The overall logic of operations of an aircraft carrier can be described with 12 sheets of paper, each one showing the logic of contributions to a given top level function. The logic of contribution of components to intermediate functions then iteratively upwards to each top level function is described by a tree like representation. The contribution coefficients are entered by the sailors since they entirely depend how they use the product.

Various types of partial functional redundancies, as they will show up in real life, can be represented.

A software program allows entering the tree like representation on a PC. It then evaluates the probability of fulfilling each top level function at end of mission time, and computes the sensitivity analyses of all parameters, including contribution coefficients. The internal model is an analytical one.