

La conception d'organisations futures et les IBEOs (Illustrateur de Besoin d'Exploitation Opérationnelle)

Martine PELLEN-BLIN & Dr Alain BRY

DGA / DCE / CTSN

martine.pellen-blin@dga.gouv.defense.fr

alain.bry@dga.gouv.defense.fr

Nelly CHOUVY

DGA / DSA / SPN / ST / ASP

nelly.chouvy@dga.gouv.defense.fr

RESUME

Afin de répondre aux enjeux majeurs de la Marine Nationale à savoir la réduction des effectifs embarqués, l'EMM¹ et la DGA² ont mis au point une méthodologie d'intégration du Facteur Humain basée sur la simulation des situations de travail. Ces simulateurs nommés « Illustrateurs de Besoin d'Exploitation Opérationnelle (IBEO) » sont des outils de représentation opérative des futures situations de travail des marins. Ils permettent de déterminer les automatisations nécessaires, d'évaluer de nouvelles organisations du travail, de nouveaux modes d'exploitation ainsi que les nouvelles conditions de formation et d'entraînement. En outre, ces IBEOs basés sur une participation, active et raisonnée des utilisateurs finaux, en amont dans le processus rassemble les conditions pour une bonne adaptation de l'institution au changement de culture. L'IBEO Passerelle de Navigation Militaire en est un exemple.

MOTS CLES : Simulation de situations de travail, expérimentations, Passerelle de Navigation, organisation du travail.

ABSTRACT

In order to match to the French Navy major goal on crew reduction, the Navy Staff and DGA have developed a prospective human centered design approach based on realistic dynamic future work organisation representation using the IBEO process and simulation tools. The IBEO are developed to specify and assess the new work organisations, new automation level, new human computer interaction modes, as well as the new training characteristics. These tools allow an active and reasoned participation of final users since the very early stages of a program. The IBEO "Military Integrated Bridge System" is presented as a case.

KEYWORDS : Work situations simulations, experimentation, Bridge system, work organisation.

INTRODUCTION

Contexte

La volonté affichée de la Marine Nationale de réduire le coût global de possession des futurs bâtiments, dans un cadre de professionnalisation des équipages a naturellement conduit à une réflexion sur la réduction des effectifs embarqués.

La réduction des effectifs à bord des futurs bâtiments est un défi de modernisation raisonnée dans un contexte économique de contrôle des coûts d'acquisition. La DGA et l'Etat Major de la Marine ont entrepris une démarche centrée sur l'utilisateur afin de rationaliser l'efficacité opérationnelle au niveau de l'équipage réduit.

Les futures frégates seront conduites par un équipage restreint entraînant des changements importants au niveau technique, avec notamment des niveaux d'automatisation et d'intégration de systèmes plus élevés, et au niveau humain, du fait d'une modification profonde des modes d'exploitation et des acquis culturels.

Ces changements affectent toutes les fonctions d'exploitation, avec au premier rang les systèmes socio-techniques complexes (SSTC) qui doivent être appréhendés de façon concrète au travers d'une méthodologie précise et de moyens efficaces.

Démarche adoptée

Auparavant un processus de maquettage/prototypage était adopté pour bâtir les IHMs des systèmes de contrôle/ commande. Extrêmement limitatif, il ne rendait pas compte de la nature complexe des SSTC³. Le maquettage relevait uniquement de l'ingénierie statique de l'interaction homme-machine comportant quelques fonctionnalités d'interaction mais sans simulation. Par ailleurs, le recours à l'évaluation opérationnelle d'experts, utilisée pour élaborer un nouveau système, n'était plus suffisant. En effet, selon cette approche, et, dans une perspective de mutation importante de l'organisation, les phénomènes de charge de travail étaient difficiles à anticiper.

D'autres éléments doivent être pris en compte pour être représentatifs d'une situation de travail, en particulier :

¹ Etat Major de la Marine

² Délégation Générale pour l'Armement

³ Systèmes Socio Techniques Complexes

les conditions de réalisation de la tâche (contraintes du système, exigences temporelles, etc.), la performance attendue, les collaborations entre opérateurs, la gestion des flux de communications, la gestion d'aléas, etc.

De nouvelles solutions doivent donc être adoptées :

- Un processus centré sur l'utilisateur est essentiel pour, d'une part, rendre compte de la complexité de ces systèmes, et, d'autre part, impliquer le futur opérateur en permettant de gérer les risques afférents à des évolutions importantes d'organisations, qui inquiètent toujours l'exploitant,
- Quant aux moyens, ils doivent garantir l'émergence de nouveaux concepts organisationnels acceptables par l'opérationnel donc avalisés par lui. La simulation des situations de travail à travers les IBEOs (Illustrateur de Besoin d'Exploitation Opérationnelle) s'est ainsi révélée constituer un nouveau pivot pour les activités d'intégration des Facteurs Humains au sein des programmes d'armement navals. Ces simulateurs d'étude permettent d'expérimenter de nouvelles organisations socio-techniques auprès des utilisateurs futurs pour dégager avec eux les compromis utiles à propos des nouveaux types d'automatisation, des nouvelles allocations homme-homme et homme-machine, de nouvelles modalités de formation. Ces IBEOs sont composés de postes opérateurs configurables, d'un poste instructeur pour la création/modification de scénarios, d'éléments de visualisation IHM constitués d'objets de contrôle-commande associés une tâche élémentaire de travail, de moyens d'enregistrement pour l'analyse et le jeu.

Ce processus d'accompagnement de l'ingénierie des Facteurs Humains permet aux responsables travaillant au sein des équipes de programmes d'armement de prendre des décisions techniques à la lumière des contraintes de l'exploitation embarquée. Les IBEOs représentent des outils d'aide à la décision au niveau de la direction de programmes autour de représentations partagées et très concrètes de l'activité future probable et de l'impact de certains choix [1] [2].

L'objectif consiste à terme en la reconstitution de l'ensemble des grands STTC d'un navire de guerre à travers plusieurs IBEOs interconnectés (système de combat, système de gestion de la plate-forme, système de gestion de la navigation, système d'aide au commandement, système de gestion des communications).

Les enjeux sont importants car les fonctions sous-tendues par ces systèmes sont «armées» en permanence à la mer et la diminution du personnel posté pour leur réalisation est la voie de réduction des effectifs la plus efficace. Cependant les possibilités de réduction des effectifs dans ce domaine ne doivent pas faire oublier que ces systèmes dimensionnent fortement la capacité opérationnelle d'un navire de combat. Une conception mal

adaptée à la conduite par un effectif réduit présenterait trop de risques.

UN EXEMPLE DE MISE EN ŒUVRE : L'IBEO PASSE-RELLE INTEGREE MILITAIRE

L'existant

Le fonctionnement actuel des passerelles de navigation militaires révèle de fortes contraintes techniques parfaitement contournées par la capacité d'adaptation d'un collectif de travail (voir figure 1).

Les objectifs des diverses missions sont atteints avec un haut degré de fiabilité mais le coût humain est considérable : charge de travail importante, effectif élevé, ...

En effet, une architecture non adaptée avec notamment un manque d'intégration des différents capteurs, des sources d'informations et des commandes extrêmement dispersées, entraînent, entre autres, de trop nombreuses tâches annexes de régulation, de coordination. Pour pallier à ces problèmes techniques, et dans le contexte sévère imposé par la sécurité nautique, une organisation du travail très structurée a été mise en place : une différenciation verticale assez forte comportant trois niveaux (n = élaboration de la décision et décision, n-1 = mission, ordre et supervision, n-2 = exécution). Ce dernier niveau, souvent limité à des tâches répétitives, peu valorisantes, se résume parfois à l'adage suivant : « un équipement, un opérateur ».



Figure 1: Collectif de travail au sein d'une passerelle militaire d'une frégate

L'importance quantitative des communications est la conséquence de ce système de prise de décision très hiérarchisé, peu délégataire, centré sur l'activité d'émission d'ordres, de compte-rendus et de la double surveillance

des actions. Par exemple, un Chef du quart donne un ordre de cap qui est répété par un barreur, exécuté par ce même barreur⁴ qui annonce le cap entré et vérifié par un surveillant de barre.

Dans certains contextes spécifiques comme un appareillage, un ravitaillement à mer, au cours desquels la sécurité nautique est primordiale, un nombre important d'opérateurs est, du coup, investi dans la réalisation des tâches, accentuant les activités de coordination.

Indissociable de l'existant « technique », l'activité collective a dû s'adapter pour faire face à ces nombreuses contraintes et réguler la charge de travail induite.

Quant à l'activité individuelle, de nombreuses tâches engendrent une intervention humaine sans réelle valeur ajoutée (calcul des écarts de route prévue / réelle, établir la position sur carte papier). Des sources d'informations dispersées obligent certains opérateurs, à pratiquer eux même une « fusion des données » pour élaborer une représentation mentale de la situation en cours, et, à créer leurs propres supports d'informations pour alléger la charge mnésique (voir figure 2).



Figure 2: Inscription d'informations sur les vitres de la passerelle par le Chef du Quart

Les futures passerelles

Les futures passerelles des bâtiments de la Marine Nationale devront être conçues pour être mises en œuvre par un effectif réduit (de 2 à 5 opérateurs selon les contextes au lieu de 5 à 16 personnes actuellement). L'influence de l'organisation des passerelles civiles intégrées a inspiré cette volonté de changement chez les exploitants et concepteurs. Toutefois, les performances de

ce système homme-machine devront être garanties pour les situations spécifiquement militaires afin d'assurer une navigation fiable et sûre et limitant l'appel à de trop nombreux renforts qui ne pourront plus être offerts par l'effectif réduit.

L'orientation prise pour aborder ces changements a consisté en une approche par simulation permettant de tester des organisations du travail dans des conditions proches de la réalité [1].

Plusieurs raisons ont présidé à ces choix :

La complexité du système de gestion de navigation.

Plusieurs dimensions sont en interaction : la tâche et ses composantes, les contraintes du système, le collectif de travail.

Les tâches à réaliser sont fortement dépendantes du contexte et des contraintes qu'il engendre. Une tâche de suivi de route sera très différente si elle est exécutée dans un contexte de transit (ralliement d'un point à un autre sans contraintes particulières) ou lors d'opérations spécifiques (décollage d'un hélicoptère, ravitaillement à la mer ou situation de combat naval). La performance attendue est également fluctuante allant d'un niveau de précision et de réactivité extrêmes à des valeurs plus grossières.

L'environnement nautique (conditions météo, navigation commerciale) constitue également un élément aléatoire non maîtrisable évoluant indépendamment des actions de l'opérateur.

Le collectif de travail au sein de la passerelle de navigation interagit avec d'autres systèmes du navire (système de combat, système propulsif, etc.) créant ainsi des zones de collaboration.

Une aide à la gestion des situations à risque.

L'anticipation des situations à risque, ses conséquences sur l'organisation du travail (réorganisation de la répartition des tâches) et la performance associée ne sont guère appréhendables lors d'une démarche classique. Des scénarios issus de l'IBEO, illustrant des situations dégradées, nous aident à comprendre les stratégies développées par les opérateurs et à adapter le système Homme-Machine.

Les limites du retour d'expérience et des recommandations associées.

Si l'analyse de l'existant reste incontournable, les premiers niveaux de recommandations liés au facteur humain ont trait au degré d'automatisation requis et aucun maquetage ne permet de refléter un réalisme suffisant pour supporter une communication efficace avec les ingénieurs. Auparavant ces grands choix étaient effectués sans une véritable démarche facteur humain. L'IBEO autorise ces échanges pluridisciplinaires et offre un espace de discussion concret lors du partage des fonctions homme-machine sur la base des proposi-

⁴ Opérateur chargé de la commande de la barre

tions industrielles ou étatique autour de la maturité des automatismes à l'horizon de conception considéré.

Une aide à la conduite du programme. L'illustrateur de besoin d'exploitation autorise une co-construction de représentations partagées de l'activité future probable au sein des programmes. L'illustrateur permet d'entamer un dialogue en amont de ces programmes et d'offrir ainsi des IBEOs dits « de référence » à tester ou à modifier dans le cadre des programmes selon un protocole établi entre la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre. Cet outil permet de comprendre ensemble, dans un premier temps, les besoins d'automatisation et d'intégration et de les spécifier dans les documents de conception et, dans un second temps, de spécifier plus facilement les interfaces homme-machine.

Par ailleurs, dans les phases de développement/réalisation, la simulation de situations représente une aide à la qualification du système futur et notamment permet de déterminer la conformité du système fourni par l'industriel au besoin traduit initialement sur l'IBEO.

L'élaboration de l'IBEO Passerelle intégrée militaire

La conception de l'IBEO a été sous tendue par une démarche ascendante (prise en compte de l'existant pour appréhender la complexité des situations) et descendante (recommandations sur les choix organisationnels et technologiques). Une analyse préliminaire ou analyse technico-opérationnelle a fixé le niveau de réalisme de la situation simulée et a permis l'élaboration d'un premier modèle de tâches [3].

Méthodologie développée. L'analyse préliminaire est constituée des étapes suivantes (voir figure 3).

- 1ère étape : le point le plus important est sans aucun doute l'allocation des fonctions homme-machine à partir d'hypothèses sur les niveaux d'automatisation en fonction de la performance souhaitée. En support de cette allocation nous utilisons :
 - l'analyse fonctionnelle de la passerelle de navigation qui permet d'accéder à la structure fonctionnelle et l'arborescence produits,
 - l'analyse de l'existant qui aide à comprendre l'activité réelle de l'opérateur, à cerner les tâches les plus coûteuses en personnel, les tâches incompatibles... et à distinguer les classes de situations dimensionnantes et leurs invariants,
 - l'analyse de nouvelles technologies ou de produits COTS⁵ qui incite à faire évoluer les fonctions.

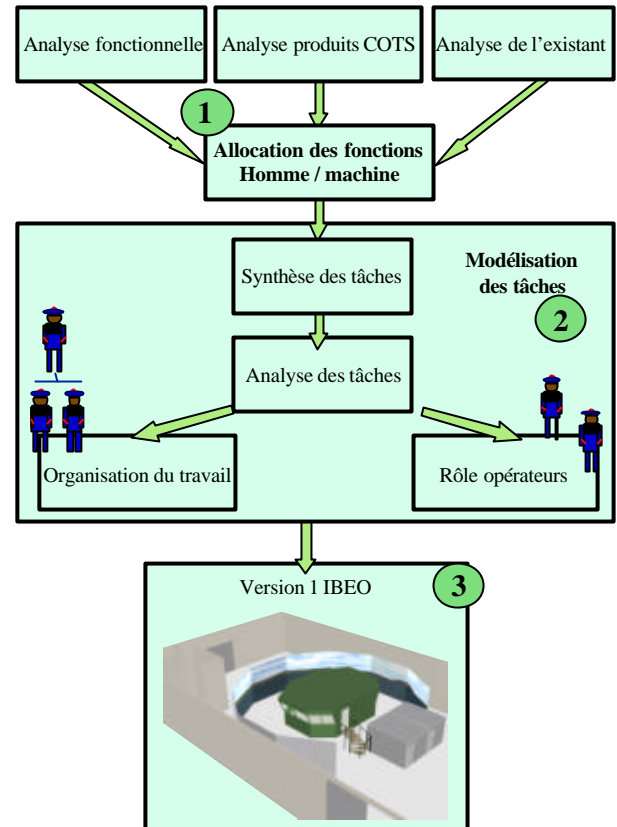


Figure 3 : Méthodologie de spécifications des IBEOs

- 2^{ème} étape : après l'allocation des fonctions homme-machine, un premier modèle de tâches est réalisé et des éléments de charge de travail sont anticipés et associés au modèle.
- 3^{ème} étape : une spécification est proposée pour permettre l'élaboration d'un système socio-technique reconstituant le lieu de commande et contrôle des fonctions concernées par l'IBEO et qui reproduit les caractéristiques choisies comme pertinentes lors des étapes précédentes (modèles de simulations du système futur, nouvelles interfaces homme – machines, nouvelles aides opérateurs...) [4] [5].

Représentativité de la simulation. L'analyse technico-opérationnelle, et notamment l'analyse fine de l'existant, a guidé l'élaboration de l'IBEO et tout particulièrement les choix des caractéristiques du simulateur.

Ceci permet de conserver dans la situation simulée, les traits essentiels de la tâche telle qu'elle apparaît dans la situation réelle, tout en étant capable d'introduire les modifications émergeant des expérimentations. Les exemples suivants montrent le niveau de fidélité à la situation future probable.

⁵ Commercial On The Shelf = produit sur étagère

Une des tâches relative à l'évaluation des dangers (risque de collision et/ou d'échouement) consiste à confronter les informations fournies par les systèmes (radar, cartographie marine, etc.) aux éléments réels observés dans le champ visuel à l'extérieur de la passerelle. Cette tâche est totalement conservée dans la situation simulée grâce à un dispositif permettant de présenter le visuel d'un environnement nautique de 270° avec diverses situations météorologiques (visibilité, jour / nuit, pluie, brouillard etc.), des conditions variables de trafic maritime (voir figure 4).



Figure 4 : Simulation de la proximité d'un navire ravitailleur sur l'IBEO PIM

Le visuel de l'IBEO PIM est similaire à un simulateur d'entraînement utilisé pour la formation initiale à la navigation côtière et au pilotage ainsi qu'à la requalification des équipages.

Le comportement cinématique du navire virtuel est également proche de celui d'un bâtiment réel. Il est soumis également à des modèles de dérive dus aux vents et courants. Cette fonctionnalité est indispensable pour des situations d'appareillage / accostage où la gestion de la manœuvre peut s'avérer délicate surtout dans des conditions d'environnement perturbateur (vent, courant). Les exigences de représentativité perceptivo-visuelles sont élevées pour une mise en situation réaliste. D'autre part, la cabine de la passerelle a été physiquement réalisée avec un haut degré de réalisme (voir figure 4) vis à vis d'une passerelle actuelle. L'organisation des postes opérateurs traduit en revanche un niveau jugé suffisant de réalisme (ils incluent notamment les dispositifs de communications verbale) permettant également des réaménagements (ajouts d'écrans, déplacement des postes de travail...) ; l'ergonomie finale des postes de travail étant à trouver à l'issue des expérimentations.

Par ailleurs, l'interaction importante entre la passerelle de navigation et les autres systèmes du bâtiment est, pour le moment, simulée. Ces échanges sont introduits par l'expérimentateur et/ou « joués » par un pseudo opérateur (les communications par exemple). A terme, les divers IBEOs seront interconnectés et simuleront l'exploitation globale au sein d'un navire virtuel. Un scénario global sera joué et l'activité générée par l'un des systèmes simulés impactera sur les autres. Par exemple, des exigences exprimées par le système de combat lors de la mise en œuvre des armes auront des conséquences directes sur la manœuvrabilité du navire donc à la passerelle de navigation. La notion de collectif de travail sera étendue à l'ensemble du navire et non plus limitée à des collectifs de sous systèmes. Dans ce cadre, un objectif affiché pour la réduction des effectifs est de réduire les frontières créées par l'existence de sous-systèmes ne dialoguant pas entre eux. En règle générale, ces domaines extrêmement bornés engendrent de nombreuses communications opérateurs. Identifier, lors des expérimentations sur les divers IBEOs, ces dialogues entre opérateurs, permettra de spécifier les échanges d'informations nécessaires entre sous systèmes. Ceci aura pour effet de rendre le système navire plus flexible et, a priori, plus adaptable à ses missions futures.

LES EXPERIMENTATIONS ET LE PROCESSUS IBEO

Au travers d'itérations successives, nous adoptons pour traiter nos expérimentations, une approche prédictive croisée avec une approche expérimentale.

Après avoir fixé les hypothèses organisationnelles, le modèle prédictif (modèle hiérarchique de tâches, modèle de l'activité future probable et performances attendues) est confronté aux performances réalisées durant les expérimentations.

Ces expérimentations sont réalisées avec des équipages constitués reproduisant le collectif de travail habituel.

Les résultats sont analysés et de nouvelles spécifications peuvent être émises.

Ce processus itératif permet de définir au fur et à mesure des solutions d'exploitations intégrant les contraintes techniques. En effet, dès le stade de l'allocation des fonctions homme-machine, la maîtrise d'oeuvre industrielle intervient pour vérifier la faisabilité technique des options envisagées.

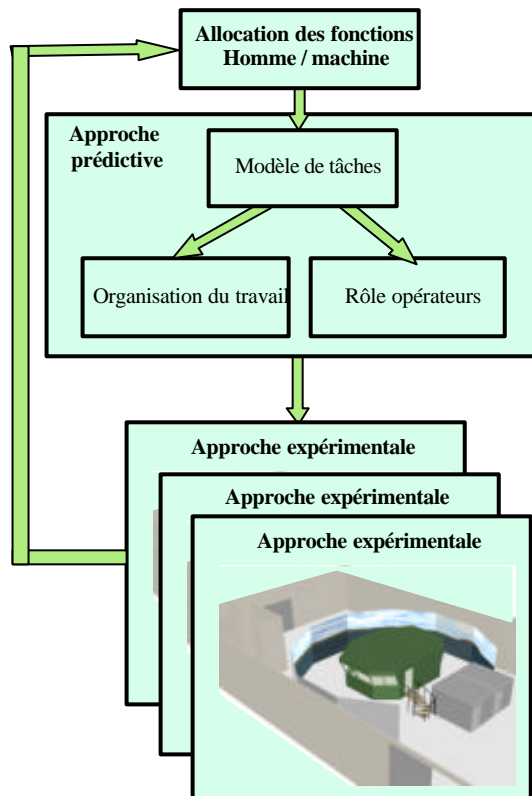


Figure 5 : Méthodologie de définition des nouveaux concepts organisationnels

CONCLUSION

Devant la complexité croissante des SSTC, le processus IBEO est une véritable méthodologie d'analyse réaliste des futures situations de travail et confirme ainsi son rôle dans le processus de conception.

Lieu d'échanges, les IBEO fournissent un modèle opérationnel concret au service des directions de programmes chargées de l'acquisition des systèmes et confortent la place des Facteurs Humains dans les programmes grâce à une matérialisation de l'activité future probable permettant des prises de décision factuelles. Ils permettent aux experts Facteurs Humains de réaliser leurs travaux d'analyse et de spécification des organisations de travail avec efficacité en s'intégrant totalement dans les processus de conception en lien avec la maîtrise d'oeuvre.

BIBLIOGRAPHIE

1. Garrigou A, Thibault JF. Jackson M. & Mascia F. (2001), Contributions et démarche de l'ergonomie dans les processus de conception, in Processus de conception Pistes 3/2 <http://www.pistes.uqam.ca/v3n2/articles/v3n2a6.htm>
2. Béguin P., Weill-Fassina A. et coll. (1997), La simulation en ergonomie : connaître, agir et interagir. Toulouse, Octarès
3. Amalberti R, de Montmollin, & Theureau J, (1991), Modèles en analyse du travail, Liège, Mardaga
4. Programme d'étude amont navire à effectif réduit. IBEO Passerelle intégrée. Contrat Q T6 00 77 039 du 27/12/2000 réalisé par DCN Ruelle et sous-traitants CS/SI et SODENA. Corpus documentaire de référence : Etat de l'art et Analyse des accidents de mer (03/2001) / Analyse technico-opérationnelle / Scénarios (06/2001).
5. Programme d'étude amont navire à effectif réduit. IBEO Passerelle intégrée. Contrat Q T6 00 77 039 du 27/12/2000 réalisé par DCN Ruelle et sous-traitants CS/SI. Corpus documentaire de référence : Spécification des IHMs d'aide (11/2001)