

Méthodologie de conception et d'évaluation du poste intégré du contrôleur de navigation aérienne

Mourad ABED, Jean-Marc BERNARD,
Renald SALVI, Jean-Claude ANGUE

Professeur d'automatique
Laboratoire d'Automatique, Valenciennes, Orly

INTRODUCTION

Le projet PHIDIAS (périPHérique Intégré de Dialogue et ASsistance) lancé par la Direction Générale de l'Aviation Civile a pour but de renouveler le poste de travail du contrôleur et forme une étape dans le projet à plus long terme CAUTRA5 qui vise à améliorer tout le système de contrôle. Ce projet a pour objectif d'une part de maintenir et améliorer la sécurité et d'autre part d'augmenter la capacité de contrôle en raison d'une augmentation du trafic aérien. Pour satisfaire ces objectifs, un grand nombre d'études sont en cours afin de fournir au contrôleur une interface adaptée et faire évoluer le système de telle sorte que le niveau d'assistance fourni soit augmenté.

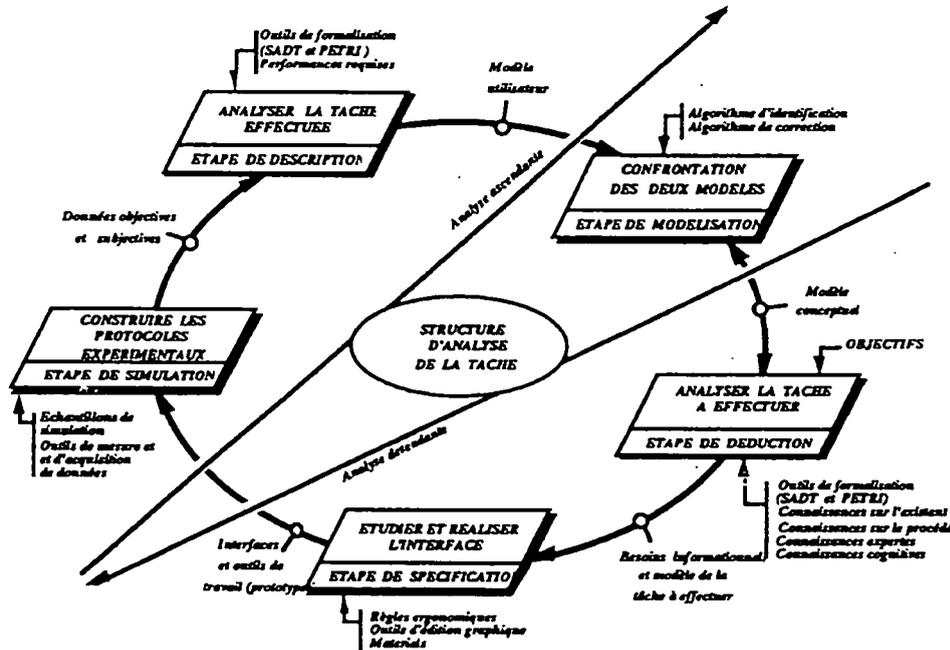
Dans le cadre de ce travail, une recherche théorique et appliquée pour la conception d'Interfaces Homme-Machine (IHM) est entamée par le LAIH en collaboration avec le CENA (Centre d'Etude de la Navigation Aérienne). L'approche méthodologique retenue dans cette recherche, qui ne sera que résumée dans ce papier, est fondée sur deux phases /ABED & ANGUE, 90/, /ABED, 90/ : une phase descendante d'analyse des tâches prescrites aux opérateurs et une phase ascendante visant l'évaluation de ce qui est effectivement fait par ces derniers. Cet article présente une application de cette méthodologie à la conception, la réalisation, et l'évaluation d'IHM sur un banc de test actif de contrôle de la navigation aérienne.

1. CADRE METHODOLOGIQUE DE CONCEPTION, DE REALISATION, ET D'EVALUATION D'INTERFACE

La méthodologie de conception, de réalisation et d'évaluation des IHM illustrée sur la figure 1 consiste en une approche "système" employant des outils de formalisation de type SADT (Structured Analysis and Design Technique) et Réseaux de Pétri (RdP). Elle s'effectue en deux étapes : descendante et ascendante.

- la première étape consiste en une description fonctionnelle du système. Dans un premier temps, le système est découpé sur le plan structurel de manière à isoler le champ d'intervention. Ensuite, une décomposition fonctionnelle progressive, partant de l'objectif global du système, fait apparaître en détail les tâches à effectuer et organise leur décomposition en sous-tâches figure 2. Des travaux similaires de méthodes d'analyse de systèmes sont proposés dans /FADIER, 90/, /CACCIABUE & all, 88/.

Figure 1 : Les différentes étapes de la démarche de conception, de réalisation et d'évaluation d'IHM.



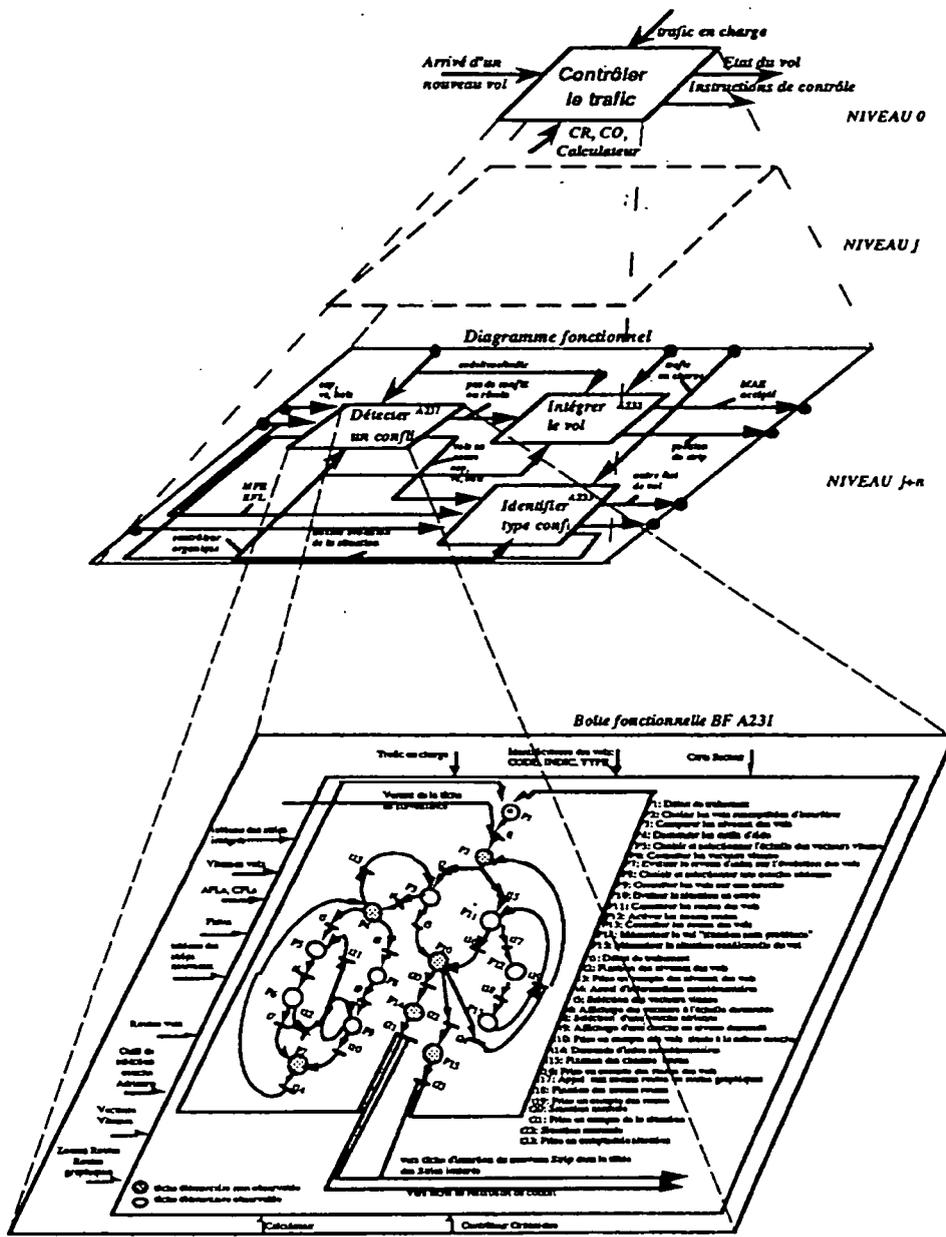
La mise en oeuvre de cette première phase implique l'acquisition d'un ensemble de connaissances spécifiques (rapport technique, guide des modes opératoires, schémas etc.) et expertes (avis d'experts ou d'opérateurs expérimentés). La description utilisée à ce niveau est basée sur le formalisme de modélisation S.A.D.T /HATELEY, 89/. A partir de l'ensemble des tâches précédemment recensées, les tâches humaines sont analysées plus en détail afin d'élaborer un modèle du comportement probable de l'opérateur exécutant sa tâche. Le modèle à priori résultant se contente, à ce niveau, de décrire des séquences d'actions possibles d'un point de vue théorique, organisées dans le temps et nécessaires à l'accomplissement de la tâche. Sa formalisation est effectuée par des Réseaux de Pétri Synchronisés (RdPS) /PETERSON, 81/ pour modéliser l'aspect interactionnel et temporel de chacune des tâches tant techniques que humaines figure 2. Ces réseaux de Pétri constituent un outil adapté à la description de l'activité, apportant des notions de synchronisation, d'interruption et de temporisation dont l'importance et le manque ont été soulignés par /SCAPIN, 90/, /DE KEYSER, 87/. A l'issue de cette étape, les diagrammes (graphes SADT et réseaux de PETRI) sont exploités pour définir les besoins informationnels de l'opérateur. Et par conséquent, ils doivent conduire à spécifier l'organisation des différentes vues à développer afin d'assurer la présentation des informations. Il s'agit de la génération de l'interface pour laquelle les recherches sont nombreuses mais les méthodes rares /COUTAZ, 90/. Elle fait généralement appel au maquettage, au prototypage, intégrant des données d'ergonomie.

• Une fois que les interfaces sont opérationnelles, la seconde étape débute par la définition de protocoles expérimentaux précis destinés à tester des situations représentatives des états statiques et dynamiques du système Homme-Machine. Pour cela un observateur (modèle informatique) collecte en temps réel des données sur l'activité de l'opérateur et sur l'état et l'évolution du système au cours de la simulation. A ce niveau, le prélèvement de l'activité oculaire des opérateurs est essentiel. Pour l'analyse des stratégies

à forte composante cognitive, il est nécessaire de recueillir et structurer les commentaires des opérateurs sur leur propre activité.

Les données enregistrées sont structurées en séquences opératoires déclenchées en réponse à certains stimuli. Ces séquences permettent ainsi la construction du modèle a posteriori de l'activité réelle observée /SENACH, 90/, /DANIELLOU, 86/. Il est construit selon le même formalisme que le modèle théorique. Ces données sur l'activité servent aussi à évaluer les actions humaines. Cette évaluation peut être rattachée aux notions d'erreur, de coût pour l'opérateur, et de performance.

Figure 2 : Exemple de décomposition de l'unité de contrôle de navigation aérienne



Pour illustrer cette formalisation, la figure 2 montre un exemple, correspondant à une structure du 3ème niveau de la décomposition de la fonction "Planifier l'entrée d'un vol sur le secteur". Ce niveau est composé de trois tâches La tâche A231 "Détecter un conflit", enclenchée par l'entrée d'un nouveau vol dans le secteur, s'enchaîne (sequence) avec la tâche A232 "Intégrer un nouveau vol" dans le cas de non présence de conflit (ou) avec la tâche A233 "Identifier le type de conflit" dans le cas contraire. Cette dernière reste en interaction (boucle) avec la Tâche A231 tant que le conflit n'est pas identifié entre les vols en cause. Ceci amène à remarquer que, la planification des tâches au niveau de chaque diagramme fonctionnel de la décomposition n'est pas faite au hasard mais reflète bien une stratégie de travail que le contrôleur pourrait adopter.

Le réseau de Pétri représente le modèle a priori de la tâche "Détecter un conflit" inclus dans la boîte fonctionnelle A231. Cette dernière commence par une vérification des vols susceptibles de converger et qui peuvent éventuellement se mettre en conflit avec le nouveau vol. Selon la méthode de travail du contrôleur, ce dernier peut adopter une stratégie basée sur la détection de croisement des routes, indiquée par la transition t4. Elle enclenche la consultation des champs informationnels routes. A ce niveau le contrôleur peut faire appel à des informations complémentaires tels que les zooms routes ou les routes graphiques P12, P13. S'il choisit une stratégie de détection de conflit par niveau de vol, indiquée par la transition t2, il enclenche la consultation des champs niveau et leur tendance P3. Pour faciliter la présentation des vols et leur comparaison, le contrôleur peut utiliser l'outil d'aide de sélection des couches aériennes P8, P9 ainsi que l'extrapolation des vitesses des vols par couche P5 ou sur l'image radar standard P6. Une fois que l'évaluation de la situation est faite le contrôleur décide l'intégration du vol quand la situation est normale t23, ce qui mène en séquence à la sous-tâche A232, dans le cas contraire, il décide de résoudre le conflit t21 et par conséquent d'enclencher la sous-tâche A233.

Ainsi, la jonction proposée entre les formalismes SADT et PETRI consiste à faire apparaître, au niveau des grandeurs d'entrées E et de contrôle C du bloc SADT, toutes les données locales nécessaires à l'évolution du réseau, qu'elles soient relatives à la machine ou à l'opérateur et de type informationnel ou événementiel. L'examen des grandeurs E et C fournit, après analyse, l'ensemble des besoins informationnels de l'opérateur. Le cadre théorique de cette approche analytique de tâche est détaillé dans /ABED, ANGUE, 90/.

Dans la suite de ce papier, un exemple d'application de la phase ascendante pour l'évaluation d'interface de contrôle de navigation aérienne, dont les spécifications sont détaillées dans /BERTIN, 89/, sera présenté.

2. ASPECT EXPERIMENTAL

L'objectif qui était fixé pour l'exemple que nous allons présenter, concernait le mode de présentation de l'ensemble des informations nécessaires à un contrôleur de navigation aérienne pour effectuer son activité de contrôle. Dans les paragraphes suivants nous présenterons les objectifs des expérimentations, les moyens mis en œuvre sur un banc de test actif ainsi que l'instrumentation du poste de travail.

Dans la dernière partie, nous présenterons une interprétation des résultats obtenus afin de tirer les conclusions quant aux objectifs fixés.

2.1. Objectifs des expérimentations

Les questions essentielles posées concernaient le mode de présentation des informations et l'adéquation entre le mode de présentation et l'activité des contrôleurs de navigation aérienne :

- Faut-il impérativement présenter toutes les informations en permanence sur l'interface des contrôleurs, ou bien peut-on proposer une organisation, une hiérarchisation de ces informations qui conduirait à ne présenter en permanence que les informations reconnues comme essentielles, les autres devenant accessibles à la demande par le contrôleur.
- Quels sont les avantages et inconvénients de chacune de ces propositions ? Quelles sont les implications réelles d'un tel choix sur l'activité du contrôleur ? Quelles sont les limites acceptables pour chacune des deux options ?

Les points spécifiques à étudier concernent :

- Le temps de prise en compte d'un nouveau vol par le contrôleur, c'est-à-dire la détection et le temps de consultation des informations de base d'un vol (niveau de vol réel, niveau de vol autorisé, destination, etc ...).
- La consultation des informations complémentaires d'un vol qui ont trait aux caractéristiques techniques des avions, aux routes à suivre, etc ...).

La mise en situation des points spécifiques sus-cités est réalisée sur un banc de test actif, décrit dans les paragraphes suivants. On y présentera aussi l'instrumentation du poste de travail.

2.2. Description du dispositif expérimental

Les échantillons de trafic que les contrôleurs ont à tester sont simulés sur un ordinateur temps réel qui génère et transmet les données des vols vers une plate-forme d'imagerie graphique (voir figure 3). Le dispositif expérimental est décomposé en deux sous-ensembles qui sont le banc de test actif et l'instrumentation oculométrique.

2.2.1. Le banc de test actif

Le banc de test est fonctionnellement décomposable en cinq parties :

- L'expérimentateur général : il initialise l'ensemble du banc de test et assure le cadencement de toutes les opérations au cours d'une simulation.
- Le poste pilote : un pseudo-pilote y joue le rôle des pilotes des avions, en renseignant le simulateur de trafic conformément aux instructions de contrôle fournis par le contrôleur sujet par voie radio.
- Le poste contrôleur adjacent : un contrôleur y simule l'activité de contrôle sur les secteurs voisins du contrôleur sujet : il gère les coordinations inter-secteurs entrantes et sortantes.
- Une base de données de trafic qui contient les plans de vols de chacun des avions d'une simulation et une base de données de simulation dans laquelle sont stockées toutes les opérations relatives à l'activité de contrôle.
- Une plate-forme d'imagerie supportant les interfaces graphiques constituent l'outil de travail du contrôleur sujet et à partir desquelles il prend connaissance des données des vols évoluant dans le secteur. Il renseigne le contrôleur sur toutes les modifications effectuées sur les vols.

Afin de réaliser les objectifs des expérimentations, il a été nécessaire de développer deux maquettes contrastées sur la présentation des nouveaux vols et des informations

complémentaires. Les caractéristiques essentielles des deux maquettes sont présentées figure 4.

- La première maquette présente l'ensemble des informations en deux couches sur un écran SONY (de dimensions : 20" x 20" et de définition : 2048 x 2048). Les informations jugées importantes sont présentées en permanence en première couche, les autres, dites annexes, sont accessibles sur demande.
- La seconde maquette présente en permanence les mêmes informations sur l'écran SONY ; quant aux informations annexes, elles sont constamment présentées sur un deuxième écran SONY.

Pour les deux maquettes, l'image radar est constituée d'un fond de carte (couloirs aériens), de pistes matérialisant les avions. L'évolution du contenu et de la position des entités graphiques, en fonction de l'état réel des avions, fait de l'image radar un ensemble d'éléments dynamiques, qui imposent leur suivi pour déterminer en temps réel l'objet observé par le contrôleur et l'information qu'il traite.

A la différence de la première maquette, la deuxième présente un tableau de strips dynamique (un strip est un regroupement ordonné et affiché en permanence des données d'un vol). Ces strips sont regroupés par paquets de vols selon le flux auquel ils appartiennent et par rapport à un certain nombre de balises aériennes dans le secteur. Dans le tableau de strips on trouve aussi des mini-strips qui annoncent l'arrivée d'un nouveau vol sur le secteur.

Sur la maquette un écran on trouve des pistes temporisées qui ont le même contenu et la même fonction que les mini-strips de la maquette deux écrans (annoncer les nouveaux vols) ; l'accès aux informations complémentaires y est effectué par l'ouverture de macros étiquettes, alors que pour la maquette deux écrans, toutes les informations sont disponibles en permanence sur tableau de strips.

Les modifications des instructions de contrôle sont effectuées par l'ouverture de fenêtres de dialogue sur les macros étiquettes dans la première maquette, et sur les strips et mini-strips dans la seconde.

Les nouveaux vols apparaissent sous forme de pistes temporisées dans le cas de la première maquette et sous forme de nouveaux strips dans le cas de la seconde.

Ces deux maquettes sont complétées par un écran tactile (non représenté), qui offre au contrôleur diverses possibilités, à savoir annuler la dernière action entreprise, choisir l'échelle de l'image radar, régler des paramètres, etc.

Toutes ces informations subsistent, selon l'état des vols, un codage couleur et/ou graphique et une organisation spécifique.

2.2.2. Instrumentation oculométrique

Le système de mesure des mouvements des yeux peut être décomposé en deux parties (voir figure 3) :

- l'oculomètre /ASL, 90/, dont le rôle est de calculer la position du regard par rapport à la tête et de ré-incruster le résultat des calculs sur l'image observée par le contrôleur.
- le système de traitement d'image développé au LAIH ainsi que les logiciels d'exploitation qui l'accompagnent ; sa fonction principale est de transformer et de filtrer les données de direction du regard relatives à la tête de l'opérateur fournies par l'ASL en mesures absolues par rapport à l'interface

Figure 3 : Dispositif expérimental d'enregistrement de l'activité.

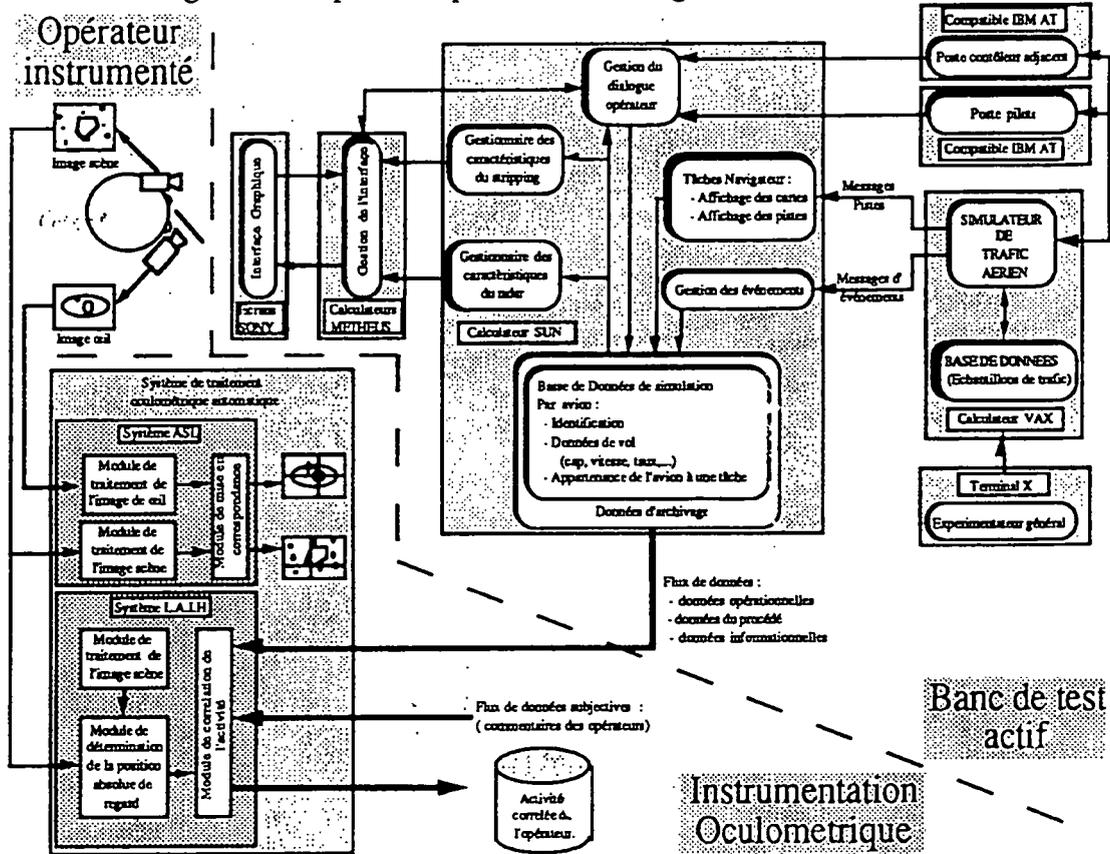
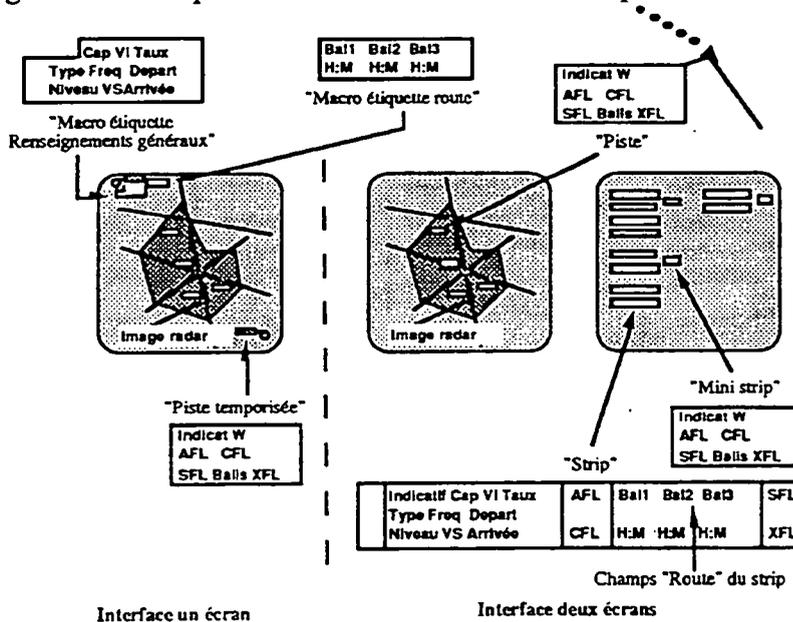


Figure 4 : Description sommaire des informations présentées sur les interfaces.



3. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Le protocole expérimental spécifie la population étudiée, les différentes données à acquérir et le déroulement d'une expérimentation.

3.1. Population étudiée et déroulement de l'expérience

Les contrôleurs testés sont très expérimentés de manière à limiter les différences interindividuelles. Sur cette hypothèse le nombre de contrôleurs est fixé à 5 pour chacune des maquettes.

Une expérience d'une demi-journée est composée d'une phase préalable d'entraînement à l'utilisation des fonctionnalités des interfaces d'une heure suivie de l'expérience proprement dite et d'une durée équivalente.

3.2. Acquisition des mesures

Dans le but de limiter la durée des dépouillements, seul le second tiers d'une expérimentation de 45 minutes fait l'objet de mesures oculométriques. Cette période a été choisie en fonction de l'adéquation entre la charge de trafic et l'utilisation des fonctionnalités des deux maquettes.

En phase d'acquisition de mesures, le calculateur gérant la simulation, archive chronologiquement toutes les données spécifiques à l'activité du contrôleur relative à l'arrivée d'un nouveau vol et à la demande d'informations complémentaires. Le calculateur LAIH acquiert trame par trame les données fournies par l'oculomètre ASL ainsi que les positions des cibles matérialisant les repères absolus.

C'est en temps différé que s'effectue la mise en correspondance spatiale et temporelle de ces données pour déduire la position absolue du regard sur l'interface.

3.3. Description de l'activité d'un contrôleur de navigation aérienne

Un contrôleur doit effectuer, pour chaque vol qui se présente sur son interface, l'enchaînement des trois phases suivantes :

- La première est l'accueil d'un vol. Elle consiste à prendre connaissance et à détecter si le vol pose un problème. Si tel est le cas, il négocie les paramètres du vol avec le contrôleur adjacent en fonction de son propre trafic. Cette phase se termine par l'intégration du nouveau vol parmi ceux qu'il a déjà pris en compte.
- La seconde phase consiste à surveiller la traversée du vol dans le secteur et à intervenir en cas d'éventuels conflits radar.
- Enfin, la troisième phase correspond à la négociation de la configuration de transfert du vol avec le contrôleur du secteur suivant, avant que le vol ne quitte son secteur.

Toutes ces phases doivent respecter trois objectifs globaux :

- assurer les séparations réglementaires,
- veiller à répondre au mieux aux demandes des pilotes quant à leurs paramètres de vol,
- éviter d'induire une charge de travail pour le contrôleur lui même et le pilote, par la mise en cause des paramètres de vol.

4. PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS

Dans les paragraphes suivants, on comparera les maquettes sur la présentation des nouveaux vols, sur le temps de prise d'information relatif à la route et sur le temps de consultation des mêmes informations affichées en permanence ou accessibles à la demande.

4.1. Comparaison des maquettes à l'arrivée d'un nouveau vol

Deux types de mesures ont été envisagées pour la comparaison des maquettes à l'arrivée d'un nouveau vol : le temps moyen entre l'apparition et la détection d'un nouveau vol, et le temps moyen de la première consultation d'un nouveau vol. Le but de ces mesures est de déterminer si la forme de la présentation favorise la détection et la consultation des informations de base d'un vol.

4.1.1. Temps moyen entre l'apparition et la détection d'un nouveau vol

Quelque soit le type de maquette et de contrôleur voir figure 5, le délai moyen pour la détection d'un nouveau vol est d'environ 40 secondes sans mesurer une différence significative ; il semble donc que le temps de détection des nouveaux vols ne dépende pas du mode de présentation de l'information mais plutôt de la disponibilité du contrôleur. Cette hypothèse se vérifie au cours de l'étude des commentaires des contrôleurs.

Figure 5 : Temps moyen entre l'apparition et la détection d'un nouveau vol pour les deux types de maquette.

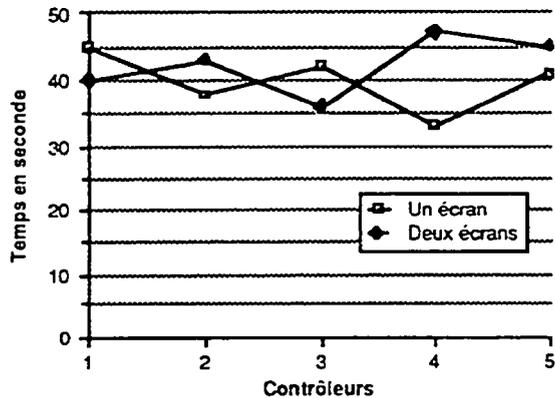
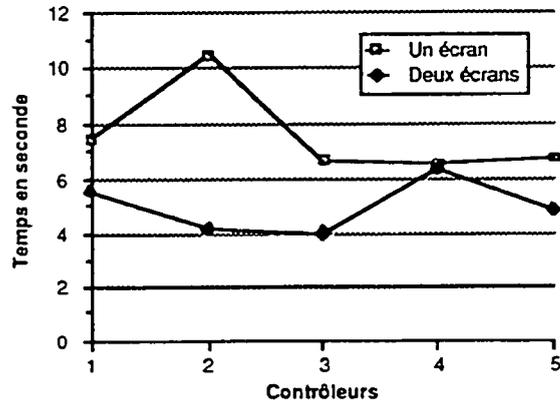


Figure 6 : Durée moyenne de la première consultation d'un nouveau vol pour les deux types de maquette.



4.1.2. Durée moyenne de la première consultation d'un nouveau vol

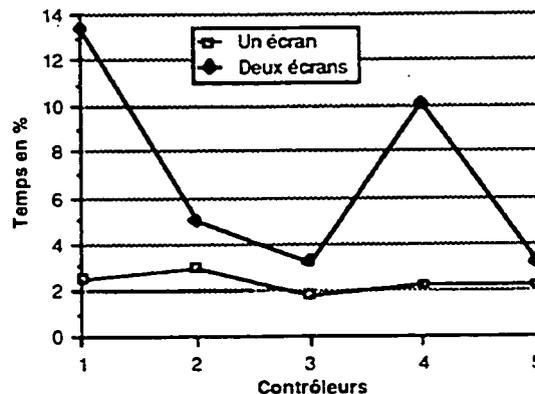
Pour chaque contrôleur la durée de la première consultation d'un nouveau vol avec la maquette un écran est supérieure de 1 à 6 secondes à celle mesurée pour la maquette deux écrans.

On peut considérer que la prise d'information sur un support graphique concentré comme celui de la maquette un écran incite le contrôleur à lire toute l'information contrairement au cas des strips sur la maquette deux écrans dont la scrutation nécessite un balayage oculaire important assimilable à un échantillonnage rapide si le trafic est chargé ; il en résulte des temps de consultation plus faibles.

4.2. Comparaison du temps de prise d'information relatif à la route des vols

Il apparaît figure 7 une prépondérance de la consultation du champ route des strips sur l'écran des strips : 7%, par rapport à la consultation des macro étiquettes routes de la maquette un écran : moins de 3%. Cela signifie que lorsque cette information est disponible le contrôleur l'utilise beaucoup, alors que lorsqu'elle est accessible à la demande et sous cette forme, il ne le fait pas. La forme est en effet importante car avec un trafic important, l'image radar de la maquette un écran est vite surchargée ; en outre les actions nécessaires à l'ouverture puis à la fermeture des macros-étiquettes est pénalisante en temps ; cela veut dire que plus le trafic augmente, moins le contrôleur va chercher cette information ; il faudra donc évaluer l'influence de cette décision sur sa performance, sur sa charge et sur sa stratégie.

Figure 7 : Pourcentage du temps de consultation des informations concernant la route des vols.



4.3. Comparaison du temps de consultation des mêmes informations en permanence ou accessibles à la demande

La figure 8 met en évidence que pour la maquette un écran, l'image radar occupe 91% du temps alors que pour la maquette deux écrans, ce temps se répartit en 55% sur l'écran radar et 35% sur l'écran strip.

De plus, la différence des pourcentages des temps sur les fenêtres de dialogue est faible ; elle occupe dans les deux cas moins de 10% du temps. Un test de significativité sur la moyenne des temps montre que la différence n'est pas significative avec un seuil de 10%.

Si on compare maintenant le temps consacré aux informations présentées en permanence sur les strips (35% du temps) et le temps consacré aux mêmes informations accessibles à la demande (moins de 3% du temps), on retrouve le résultat très marqué que le contrôleur ne fait pas l'effort d'accéder à ces informations et compense ce manque par une activité mentale accrue.

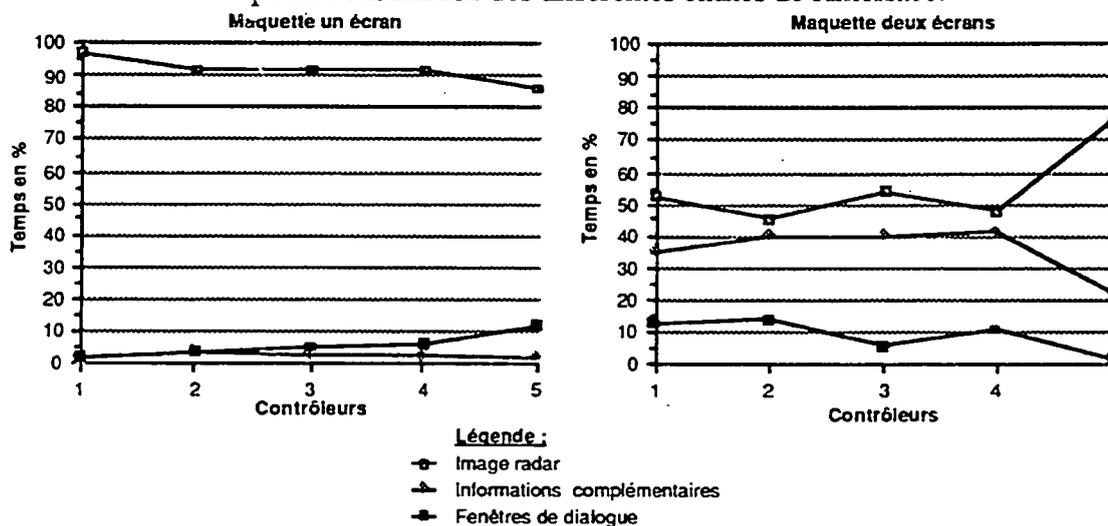
Si ce phénomène s'accroît lorsque le trafic augmente cela veut dire qu'à fort trafic, le contrôleur ne consultera plus par manque de temps.

En conclusion, les informations qui sont accessibles en permanence sont beaucoup plus utilisées que les mêmes informations accessibles seulement à la demande. Deux hypothèses peuvent être envisagées :

- ces informations ne sont pas nécessaires au contrôleur et leur suppression n'a pas d'importance,
- ces informations sont nécessaires mais lorsque le trafic augmente, le temps lui manque pour y accéder ; il pallie ce manque par un effort de mémorisation. Ceci justifie des expérimentations complémentaires à très fort trafic.

D'autres études spécifiques à l'évaluation des interfaces (comme par exemple l'évolution du nombre de détection des nouveaux vols en fonction de la charge du trafic, l'évolution de la fréquence de consultation en fonction de la charge de travail du contrôleur, etc.) ont été conduites dans le cadre du projet PHIDIAS. D'autres études portent plus sur l'aspect de modélisation des comportements des contrôleurs /BERNARD & all, 90,91/.

Figure 8 : Comparaison sur l'accès aux informations complémentaires, pourcentage du temps de consultation des différentes entités de l'interface.



5. CONCLUSION

Sur le plan de l'évaluation des interfaces Homme-Machine présentées dans ce papier, l'exploitation d'une forme de stripping intelligent et une présentation hiérarchisée des informations sont généralement bien accueillies même si de nombreuses améliorations doivent être apportées pour mieux répondre aux contraintes opérationnelles des contrôleurs. Les principaux problèmes soulevés concernent essentiellement l'utilisation d'un seul support de visualisation et l'efficacité des moyens et des procédures de dialogue qui ont été mises en œuvre.

Actuellement, d'autres prototypes d'interface sont développés pour évaluer d'une part de nouveaux modes de présentation et de dialogue ainsi que des futurs outils d'aide au contrôle et d'autre part, de mettre en situation des coopérations entre plusieurs opérateurs. Au niveau méthodologie, l'utilisation des méthodes de formalisation basées sur S.A.D.T. et les Réseaux de Petri permettent un dialogue entre des spécialistes de disciplines différentes à partir d'une représentation graphique et/ou mathématique claire, concise et compréhensible par tous. Les formalismes implémentés sous cette forme constituent une première étape. La mise en œuvre de la méthode dans le contexte de la navigation Aérienne démontre son efficacité.

REFERENCES :**/ABED., 90/**

Thèse de Doctorat , Laboratoire d'automatique industrielle et humaine Université de Valenciennes

/ABED, ANGUE, 90/

Using the measure of eye movements to modelize an operator's activity.

Ninth European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control Varese Septembre 1990.

/A.S.L 90/

Helmet Mountet a Eye View System, Oculometer model 1996 HMO. Applied Sciences Laboratories, 335 Bear Hill Road, Waltham, Massachusetts 02154, USA

/BERNARD & all, 90, 91/

Utilisation de la saisie visuelle pour comparer différentes présentations de l'information du contrôleur de trafic aérien. Contrat CENA n° C.0010 Rapport final des travaux de janvier 1991.

/CACCIABUE. PC, DECORTIS. F, DROSDOWICZ. B, 90/.

Modélisation cognitive de l'activité d'un opérateur contrôlant un système complexe. Symposium sur la Psychologie du travail et les Nouvelles technologies- Université de Liège, 17-18 Mai 1990.

/CENA, 89/

Spécification de projet d'expérimentation document CENA/R89-09 avril 89

/COUTAZ J, 90/

Interfaces Homme-Ordinateur -conception et réalisation - Edition Dunod Avril, 1990.

/DANIELLOU, 86/

La modélisation ergonomique de l'activité de travail dans la conception industrielle. Le cas des industries de processus continu Thèse de doctorat d'ergonomie, conservatoire national des arts et métiers Paris Octobre 1985.

/DE KEYSER, 87/

Dossier stratégies. Interaction Homme-Machine. Université de psychologie du travail de Liège Contrat CCE - DGXII Mars 1987.

/FADIER. E, 90/.

Fiabilité Humaine: Méthodes d'analyse et domaines d'application. In J. LEPLAT et G. DE TERSSAC. Editeurs, les facteurs humains de la fiabilité dans les systèmes complexes Edition Octarés, 1990.

/HATLEY. E, 89/

SADT un langage pour communiquer IGL technologie Edition Eyrolles.

/PETERSON, 81/

Petri net theory and the modelling of systems, Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1981

/SENACH, 90/

Evaluation ergonomique des interfaces Homme-Machine. Revue de la littérature, rapport de recherche INRIA, N°1186, Mars 1990.

/SCAPIN, 88/

La conception ergonomique d'interface -problèmes de méthodes - Rapport de recherche n° 957, INRIA, Decembre 1988.