



Photo 1. Vue globale de l'écran principal (Sony 20"). Cet écran intègre l'image radar, l'agenda et la fenêtre d'intégration (dans la partie gauche). Elle est identique pour les deux contrôleurs de la position.

ERATO

Une aide au contrôleur aérien.

Le processus qui conduit la démarche ERATO est original. D'abord à l'inverse de la pensée unique s'appuyant sur l'intelligence artificielle, ERATO ancre l'homme dans son rôle de décideur. Ensuite, l'équipe en charge de ce programme a véritablement été pluridisciplinaire. Mêlant les contrôleurs en opération, les chercheurs du CENA, les développeurs du STNA. Dans cet article Marcel Leroux du CENA explique ce que peut être un concept d'aide à la décision au contrôle.

LE DOSSIER

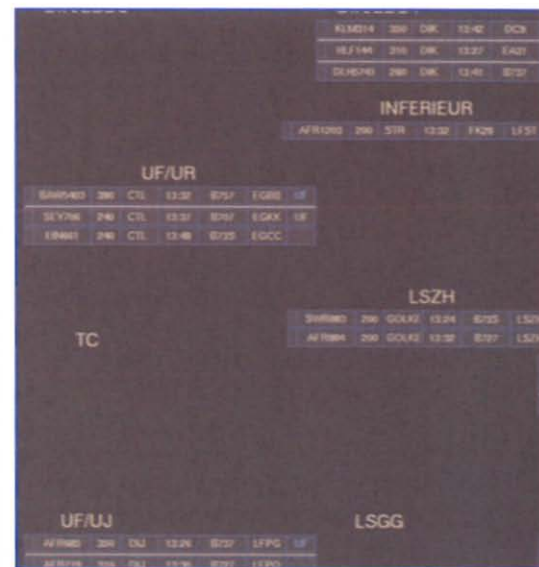
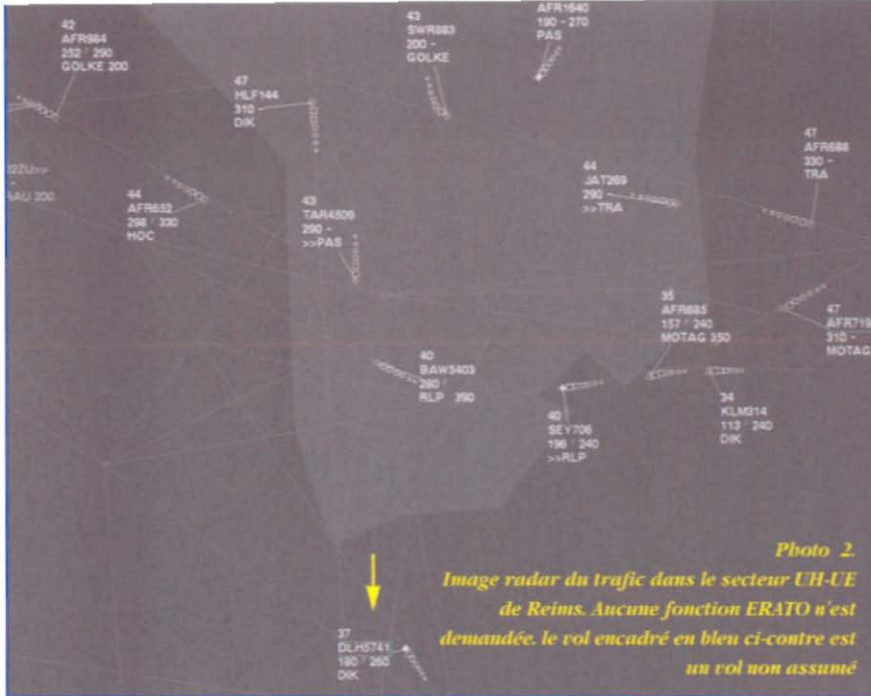
La campagne d'expérimentations qui a démarré le 20 octobre 1997 et qui se terminera le 24 avril 1998 constitue une étape importante pour le projet ERATO. Ces expérimentations vont permettre de répondre à deux questions centrales :

- La méthode de travail et les fonctions définies dans ERATO permettent-elles aux contrôleurs de construire et d'entretenir leur image mentale du trafic de façon plus efficace et moins stressante en environnement

électronique qu'en environnement conventionnel ?

- Une formation adéquate permet-elle aux contrôleurs d'acquérir une connaissance suffisante du nouveau système et une aisance satisfaisantes dans des délais et à un coût raisonnables, autrement dit la transition à ERATO peut-elle se faire en une seule fois ? Le fait de poser ces deux questions clé maintenant montre que le projet est arrivé à un niveau de maturité suffisant. En effet les fonctions d'aide à la décision telles qu'elles existent actuellement dans ERATO résultent d'un long processus itératif d'études et d'expérimentations que je décrirai dans cet article.

Si la réponse à ces deux questions est positive, il restera une troisième question à résoudre : la faisabilité technique dans



l'environnement ODS-France. L'intégration d'ERATO sera le premier test grandeur nature de la capacité d'ODS-France à accueillir des fonctions qui ne faisaient pas partie du cahier des charges initial. Les études de faisabilité sont en cours depuis plus d'un an au STNA dans l'équipe de Francis Preux.

Je vais d'abord décrire la philosophie d'ERATO en retraçant la chronologie du projet. Puis je vais décrire de façon succincte la théorie qui sous-tend le projet, ce qu'en jargon on appelle « le modèle cognitif du contrôleur », ensuite je décrirai brièvement les fonctions ERATO et la méthode de travail permettant au contrôleur de tirer profit au mieux de ces fonctions, puis les expérimentations qui sont en cours ; me plaçant dans l'hypothèse d'un résultat positif de ces expérimentations, j'aborderai enfin les problèmes de la stratégie de déploiement opérationnel et de l'après-Erato.

LES ORIGINES D'ERATO : CONSTRUIRE LE FUTUR SYSTEME AUTOUR DU CONTRÔLEUR

La plupart des projets actuels, qu'ils soient américains ou européens, partent de l'hypothèse que la meilleure façon d'aider le contrôleur, c'est de lui fournir une détection de conflits, voire une résolution, et de préférence avec une anticipation de 20 minutes. En 1985, lorsque le projet a été lancé sous l'impulsion de Jacques Villiers, nous avons pris l'exact contre-pied de cette position. Notre hypothèse est que pour rendre le système ATC plus capacitif et plus sûr (le trafic n'attend pas les améliorations du système pour augmenter, il suffit de regarder les statistiques depuis 10 ans !), il ne faut surtout pas que la machine fasse la détection ou la résolution de conflit à la place du contrôleur, mais il faut que les fonctions informatiques permettent au contrôleur de le faire de façon

plus efficace et plus carrée. **Donc, il n'y a pas de fonction de détection ou de résolution de conflit dans Erato.** Pourquoi ?

Le contrôleur traite de l'information en temps réel, de façon coopérative, sous la pression du risque, pour produire de la décision. La clé de ce processus de prise de décision est la représentation mentale du trafic que le contrôleur construit et fait vivre. Que cette représentation soit bonne, et le contrôleur a ce sentiment de puissance et d'efficacité que l'on peut caractériser par « être devant le trafic » ; que cette représentation du trafic se dégrade, et c'est « l'anticollision » avec son cortège de stress et de « peur d'avoir oublié quelque chose ».

La tâche du contrôleur est relativement facile à décrire : il faut intégrer les vols, détecter et résoudre les conflits, faire les coordinations sortantes, les coordinations avec les militaires, réaliser les conditions de sortie des avions, etc. Cependant cette description de la tâche, aussi exhaustive soit elle, ne permet pas d'appréhender ce qui fait la difficulté réelle du travail du contrôleur. Pour s'en convaincre il suffit de regarder nombre de maquettes d'environnement électronique, qui formellement devraient permettre de réaliser la tâche de contrôle et qui pourtant ne permettent pas de travailler de façon satisfaisante. L'activité du contrôleur, qui sous-tend la réalisation convenable de sa tâche, est une activité mentale et perceptive très complexe, qu'il convient de bien comprendre si l'on veut que le nouvel environnement soit efficace.

Il est possible d'identifier certains des processus mentaux permettant aux contrôleurs de construire et d'entretenir leur image mentale du trafic dans l'environnement actuel. L'ensemble de ces processus identifiés forme un modèle cognitif du contrôleur.

AFR1640	270	190	270	OBORN	REMR	HR
FK28	270	LFST	LFMN			
				13:11	13:17	13:21
DLH5741	260	180	260	ARBOS	DOLU	DANA
B737	350	LSGGEDDL				
				13:17	13:23	13:28
AFR685	350	157	240	LASON	MOROK	MOTA
B737	350	LSZH	LFPG	UF		
				13:12	13:18	13:23
KLM314	350	113	240	LASON	MOROK	EPL
DC8	350	LSZHEHAM				
				13:15	13:20	13:25

Photo 8. - Le tableau des strips filtrés est affiché automatiquement sur l'écran secondaire dès qu'un filtrage est demandé sur l'interface. Il contient l'ensemble des strips des vols, qui appartiennent au filtrage demandé, ainsi qu'une image du flux de sortie qui contient le vol de référence.

DIK/JEDD						
KLM314	350	DIK				13:42
HLF144	310	DIK				13:27
DLH5741	260	DIK				13:41

L'élaboration d'un tel modèle est la clé de la démarche. La première version de ce modèle cognitif fut élaborée de 1985 à 1991, en utilisant des techniques relevant de l'Intelligence Artificielle et de la psychologie. Cette première étape se termina par des expérimentations en Mars-Avril 1991 avec 10 contrôleurs du CRNA/Nord. Ces tests permirent de vérifier que les mécanismes mentaux identifiés étaient communs à tous ces contrôleurs. Ces expérimentations permirent aussi d'observer comment ces mécanismes mentaux évoluent, puis se dégradent, voire disparaissent, avec la charge de travail, la pression temporelle, la fatigue, le stress. En jargon Erato, ces modes de dégradation forment des « goulots d'étranglement » dans le processus de traitement de l'information et de prise de décision.

L'originalité du projet a été de définir les fonctions d'aide à la décision non pour remplacer progressivement le contrôleur en faisant à sa place la détection ou la résolution de conflit, mais pour démultiplier l'efficacité de ces mécanismes mentaux et pour retarder leur seuil de dégradation. Ainsi le modèle, à travers la mise en évidence des goulots d'étranglement, permet de définir une approche globale, cohérente, pour la spécification des outils les mieux adaptés aux besoins réels de l'opérateur : l'automatisation n'est plus conçue comme devant expulser progressivement l'opérateur du processus de prise de décision mais au contraire comme un moyen de l'y intégrer encore plus en repoussant les limites de son domaine de validité.

Chacun des mécanismes mentaux évoqué précédemment est consommateur de ressources mentales et perceptives. Nous pouvons faire un parallèle très fort entre nos ressources physiques et nos ressources mentales et perceptives. Dans les deux cas il est possible d'améliorer leur efficacité par l'entraînement, mais fondamentalement notre potentiel est limité. C'est pourquoi nous allons chercher des outils qui permettent :

- soit de démultiplier l'efficacité des ressources, (l'équivalent au niveau mental du bras de levier pour les ressources physiques) : ce sont les fonctions de filtrage de l'information
- soit d'améliorer la gestion de ces ressources cognitives : c'est l'agenda.

Ces fonctions furent spécifiées au cours de l'été 1991 et leur réalisation démarra en Septembre 1991.

Les algorithmes de filtrage ont été évalués au cours de l'hiver 1993-1994 avec 44 contrôleurs venant des 5 CRNA. Les données recueillies ont montré que les algorithmes de filtrage sont bien adaptés à tous les secteurs supérieurs français.

Cependant l'existence de ces algorithmes ne



Salle d'expérimentation d'ERATO à l'ENAC

résout pas en soi le problème. Encore faut-il définir l'interface et la méthode de travail permettant d'en tirer le meilleur profit. L'expérience dans d'autres domaines, comme celui de la supervision de centrales nucléaires par exemple, nous montre que les concepteurs doivent avoir une vision globale du problème à traiter. Le fait de poser le problème en terme de «aider le contrôleur, ou plutôt le binôme de contrôleurs sur un secteur, à construire une représentation mentale efficace du trafic», impose tout naturellement de définir préalablement la méthode de travail (pour mettre en oeuvre les mécanismes permettant la gestion du trafic), puis la méthode de coopération entre les deux contrôleurs, et enfin de la méthode d'utilisation de l'interface. Une première expérimentation globale en 1994-1995 avec 18 contrôleurs (venant de Bordeaux, Brest, Paris et Reims) a permis de vérifier que les concepts étaient pertinents. Par contre il était nécessaire d'améliorer l'utilisabilité de l'interface, et de la compléter, notamment par l'adjonction du tableau des sortantes. L'agenda, enfin, apparaissait clairement comme la meilleure source d'augmentation de capacité et de confort pour le contrôleur, à condition de mieux préciser la méthode de travail.

Ces expérimentations ont été complétées par un travail intense en groupe de suivi d'octobre 1995 à mars 1997. Le groupe de suivi a impliqué environ 25 contrôleurs venant au CENA par binôme, pour des périodes allant de 2 à 5 jours. Ces séances de travail ont permis d'affiner de façon itérative la méthode de travail en environnement électronique, l'interface la mieux adaptée à cette méthode de travail, puis la formation à cet environnement. C'est le résultat de ce travail

qui est en train d'être évalué.

LES FONDEMENTS THÉORIQUES

Le modèle qui a été développé dans le cadre d'Erato permet de distinguer les mécanismes cognitifs selon quatre axes : les mécanismes propres à la gestion du trafic, à l'activité coopérative, à la gestion de l'interface et enfin à la gestion par le contrôleur de ses propres ressources cognitives. Je vais en décrire sommairement quelques uns afin d'illustrer la complexité de la définition du nouvel environnement ERATO : au moment de la conception de cet environnement il faut que chaque fonction soit conçue pour préserver ou améliorer chacun de ces mécanismes, avec une méthode de travail appropriée, au moment des expérimentations, il faut s'assurer que tel est bien le cas.

Les mécanismes

propres à la gestion du trafic.

Le contrôleur doit produire de la décision en temps réel, sous la pression du risque, de façon coopérative, à partir de données très volumineuses (en situation chargée le contrôleur peut avoir jusqu'à 600 ou 700 informations élémentaires sous les yeux) et qui dépendent du temps pour leur disponibilité, leur précision, leur flux.

Prise de décision dans un état d'ignorance partielle.

La non-disponibilité de certaines données essentielles (par exemple le top de descente ou



ERATO en démonstration auprès d'un groupe d'expert de la FAA.

les profils effectifs de montée ou de descente, ou les intentions effectives du pilote) nécessite des mécanismes de prise de décision dans un état d'ignorance partielle. Ces mécanismes sont basés sur un mode de raisonnement par défaut associé à la surveillance du comportement effectif des avions sur l'image radar.

Le contrôleur anticipe sur la base d'un comportement routinier. «normal», des avions, que nous appellerons le monde par défaut. Ce comportement est décrit par les contrôleurs à l'aide d'expressions comme «normalement un avion à destination d'Orly commence sa descente à une trentaine de miles nautiques de CHW (balise de Chartres)». Le contrôleur ignore le top de descente, mais il sait d'expérience que, «en général, ça se passe à peu près à cet endroit». Par conséquent, il va ignorer les éventuels conflits qui pourraient se produire si cet avion descendait beaucoup plus tôt pour concentrer toute son activité sur les conflits les plus probables. C'est donc un moyen efficace de réduire le champ des possibilités à envisager et d'augmenter l'efficacité.

A priori tous les avions sont traités comme s'ils suivaient la règle générale. Mais pour traiter les exceptions lorsqu'elles se présentent, les contrôleurs surveillent certains paramètres, que nous appellerons « paramètres sentinelles ». Tant que ces paramètres restent dans une plage normale, les décisions ou les diagnostics élaborés précédemment, en s'appuyant sur le monde par défaut, restent valides. Par contre si un paramètre sentinelle évolue en dehors de sa plage normale, alors toutes les conclusions précédentes doivent être révisées : de nouveaux conflits peuvent être créés par ce comportement non routinier.

En situation normalement chargée, ce mode de raisonnement associé à un processus perceptif de surveillance de paramètres, est un moyen efficace de prendre des décisions. Par contre on peut observer que, dans les situations chargées, cette tâche de surveillance devient une tâche secondaire et peut même ne plus être exécutée. Au delà de son domaine de validité, c'est-à-dire dans les situations trop chargées, ce mécanisme peut devenir source d'erreurs graves.

Diagnostic sur des données incertaines et floues.

De même nous pouvons mettre en évidence les mécanismes permettant de traiter des données incertaines ou floues. La détection-résolution de conflit est le plus souvent le résultat d'un processus de lever de doute. Afin de lever le doute de façon efficace, le contrôleur associe des paramètres pertinents à chaque situation ambiguë, la surveillance de ces seuls paramètres lui permettant d'affiner son diagnostic. La mise en œuvre de ces processus de lever de doute constitue une part importante de l'activité des contrôleurs. Le processus de traitement de l'information permet une structuration dynamique de l'information pertinente en fonction des problèmes prévus, ce qui a pour conséquence de réduire considérablement le volume des données utiles à traiter en temps réel. Les mécanismes impliqués ont en commun ce qu'en jargon on appelle l'inférence plausible et le raisonnement révisable : le mode de raisonnement n'a rien à voir avec la logique classique de type mathématique, les conclusions ne sont pas certaines mais plausibles ; il est donc normal de revenir sur une conclusion antérieure et de changer d'avis («tiens, j'aurais

cru que ça passerait mieux !»). Ces mécanismes associent de façon très étroite à cette activité cognitive une activité perceptive permanente d'acquisition sur l'image radar et/ou le tableau de strips des paramètres permettant de mener à leur terme les processus de lever de doute. Ils sont donc à la base des mécanismes mentaux et perceptifs permettant d'extraire l'information pertinente de flux de données très denses. Les mécanismes liés au raisonnement révisable permettent à l'opérateur de rattraper des micro-erreurs ou des erreurs de diagnostic et sont un important facteur de sécurité : le nouvel environnement devra impérativement faciliter la mise en œuvre de ces mécanismes mentaux et perceptifs.

Les problèmes de mémorisation.

La mise en œuvre de ces mécanismes peut être interrompue à n'importe quel moment par un événement extérieur, par exemple l'appel d'un avion. La gestion des interruptions impose une activité mnésique extrêmement dense et complexe : il faut mémoriser le contexte de la tâche interrompue, restaurer le contexte de la nouvelle tâche, etc.

De même, la résolution d'un problème peut nécessiter l'exécution d'actions de contrôle dans des intervalles de temps à la fois éloignés et très brefs. Si un contrôleur laisse passer « le bon moment » pour agir, la nature et la difficulté du problème à résoudre peuvent évoluer très rapidement. La seule façon d'éviter cette situation est d'observer le plus souvent possible l'évolution de ce problème, ce qui est très coûteux. Ce mécanisme impose au contrôleur de passer très fréquemment d'un problème à l'autre. A chaque changement de problème-cible, il doit reconstituer le contexte de résolution. Lorsque le conflit est très complexe, cette tâche peut devenir difficile sous la pression temporelle, même pour des contrôleurs expérimentés.

La coopération.

Dans les situations denses, la coopération entre les deux (voire plus) contrôleurs est très étroite. La plupart de ces processus peuvent être effectués par les deux contrôleurs, successivement ou en parallèle. L'efficacité de la communication entre les contrôleurs nécessite trois conditions :

- ils doivent avoir le même savoir faire pour qu'une situation donnée génère les mêmes types de processus de lever de doute, le même ensemble de schémas de résolution possible etc.,
- ils doivent avoir la même représentation du trafic,
- ils doivent avoir simultanément du temps disponible pour échanger les informations.

1 ↘ AEF329 EDDL

AEF329	B737		350
HBVDX	DA10		190

2 × IXILU 310

SAB670	B737		310
BTU682	BA11		310


1 ↘ AEA862 EDRS

2 ↗ PAA91 SWR138 LSZH

13:30:30

L'agenda ERATO :
 Cette Photo présente les différents objets de l'agenda :

- les deux formats d'étiquettes, réduit ou zoomé, les trois états correspondant au codage couleur :
 - bleu (étiquette non consultée),
 - blanc (étiquette consultée),
 - noir (étiquette proposée en destruction).
- l'axe des temps, vertical, avec une graduation toutes les trois minutes,
- et la poubelle.



Ces deux dernières conditions peuvent se dégrader au point de conduire à l'éclatement de l'équipe dans les situations extrêmes. Ceci met en évidence les limites d'un mode de coopération fort répandu chez les contrôleurs qui est la délégation et/ou l'auto-attribution implicites de tâches.

La coopération est très dépendante des ressources de l'environnement. Il me vient à l'esprit ce cri du cœur d'un des premiers contrôleurs ayant participé aux expérimentations de 1994-1995 :

« Il ne peut pas y avoir de communication entre nous deux, il n'y a pas de tableau de strips, la seule chose qui est commune entre le contrôleur organique et le radariste c'est le tableau de strips, or là tu l'enlèves ! Il n'y a plus de communication. Les mecs, ils s'occupent des strips, et ils n'arrêtent pas de s'occuper des strips, de les tirer, de les marquer, d'écrire dessus, tous les deux... Là tu le vires le tableau ! Il ne peut plus y avoir de communication ! ».

Cette réaction très forte montre la nécessité de définir la méthode de travail en même temps que l'on définit les fonctions et l'interface. Le nouvel environnement électronique supprime toutes les ressources de l'environnement auxquelles les gens sont habitués. Or la coopération dépend très fortement de ces ressources environnementales. Il est donc impératif de pouvoir montrer comment acquérir de nouveaux automatismes dans le nouvel environnement, cela ne peut se faire de façon spontanée : c'est le but de la définition de la méthode de travail. L'intérêt de la démarche proposée dans Erato est de pouvoir définir en même temps que les composants informatiques, la méthode de travail qui permet de mettre en œuvre les processus fondamentaux. Malgré cela, cet exemple montre que le succès n'est pas garanti. Il est par contre évident que si cette définition préalable d'une méthode de travail efficace n'est pas faite, il n'y a pratiquement aucune chance de succès.

Le passage à l'environnement électronique est un problème complètement nouveau à résoudre, il n'y a plus évolution progressive du système par amélioration de fonctions existantes, ou par ajout d'une nouvelle fonction, il y a remplacement, donc rupture. D'où la nécessité de s'assurer que l'interface permet effectivement la mise en œuvre de cette méthode de travail. Cela peut tenir à d'infimes détails : par exemple les premiers contrôleurs qui ont fait les expérimentations de 1994-1995 n'arrivaient pas à coopérer de façon satisfaisante. Cela était dû à la disposition des écrans. Ils étaient trop éloignés (70 cm) et dans le même plan : il était pratiquement impossible pour un contrôleur de savoir ce qui se passait sur l'écran de l'autre, alors que les écrans rapprochés et faisant un angle de 15 degrés le permettent.

La gestion de l'interface.

Dans les environnements complexes, comme l'est le contrôle aérien, l'interface peut être décrite comme une petite fenêtre sur le monde réel, avec

un verre de mauvaise qualité : les informations qu'elle fournit sont incomplètes et peuvent être d'assez mauvaise qualité. Le coût de la gestion de l'interface n'est pas seulement dû à la plus ou moins grande difficulté de sa manipulation, mais surtout au coût des mécanismes perceptifs et mentaux permettant d'aller chercher l'information pertinente et de la traiter. L'interface peut faciliter ou au contraire rendre très difficile (voire impossible) la mise en œuvre des mécanismes mentaux nécessaires à la construction de l'image mentale du trafic. Nous avons également vu combien l'activité coopérative était tributaire des propriétés (bonnes, mauvaises) de l'interface.

L'interface n'est pas seulement un support d'informations plus ou moins facile à interpréter, c'est également une source de déclencheurs. Nous appelons déclencheur tout stimulus capté de façon volontaire ou opportuniste dans l'environnement et qui permet au contrôleur d'initialiser ses processus mentaux. L'enchaînement de l'activité du contrôleur n'est pas déterministe, il est en partie guidé par la détection et le traitement de ces déclencheurs (l'autre partie étant guidée par l'acquisition volontaire d'informations dans l'environnement). Les expérimentations de 1994-1995 ont montré à quel point il est important d'identifier quels sont les déclencheurs dans l'environnement actuel afin de déterminer comment les remplacer de façon efficace en environnement électronique. Cette tâche est rendue complexe par la saturation du canal visuel. L'abondance de couleurs et de codages graphiques divers noie les déclencheurs pertinents au milieu d'une masse énorme d'informations.

Il est donc nécessaire de définir une économie globale de la présentation d'information sur l'interface et in fine une méthode de travail s'appuyant sur un parcours visuel efficace.

L'efficacité d'une interface peut s'évaluer à travers des techniques que l'on regroupe sous le terme d'utilisabilité. Ces techniques permettent d'évaluer la pertinence des informations présentées, la plus ou moins grande difficulté d'accéder aux informations (et de les interpréter), l'efficacité des moyens de saisie, et, de façon générale, la plus ou moins grande capacité de l'interface à favoriser l'activité perceptive et mentale.

La gestion de la charge de travail

Chacun des mécanismes perceptifs ou mentaux mobilise des ressources cognitives. Comme ces ressources sont limitées, lorsque la charge de travail augmente, il finit par y avoir conflit dans la répartition des ressources entre la gestion du trafic, la coopération et la gestion de

330		AFR688	EA31	:LSAZ	LIPE
	298	AFR652	B727		LIML
290		TAR4509	B737	:LSAG	DTMB
		JAT269	B73S	:LSAZ	LYBE
		HLF327	B737		LEIB
	252	AFR984	B727		LSZH
280		BAW5403	B757	UF	EGBB
270	190	AFR1640	FK28		LFMN
260	180	DLH5741	B737		EDDL
240	196	SEY706	B707	UF	EGKK
	157	AFR685	B737	UF	LFPG
	113	KLM314	DC9		EHAM
	AFL	EIN661	B73S		EGCC
230		AFR1203	FK28		LFST
200		SWR883	B73S	:LSZH	LSZH

Photo 4. Le tableau des vols, visualisé sur l'écran secondaire (19"), affiche l'ensemble des ministrips des vols connus de la position. Les ministrips sont regroupés par niveau de vol autorisé.

l'interface. Par exemple, le contrôleur va éviter de gérer trop de lever de doute (en résolvant de façon anticipée les conflits pour lesquels il n'est pas « sûr que ça passe », alors qu'en situation moins chargée il aurait peut-être « laisser venir »), ou la répartition des tâches va évoluer, ou la gestion de l'interface va se réduire au strict minimum, etc.

C'est la raison fondamentale pour laquelle tout nouvel environnement doit être testé lors de simulations de trafic chargées mais réalistes, dans un environnement aussi réaliste que possible (deux contrôleurs, secteurs adjacents réalistes, etc.) afin que la charge cognitive des contrôleurs soit correctement répartie entre la gestion du trafic, de la coopération et de l'interface et ne puisse se concentrer sur la seule manipulation de l'interface.

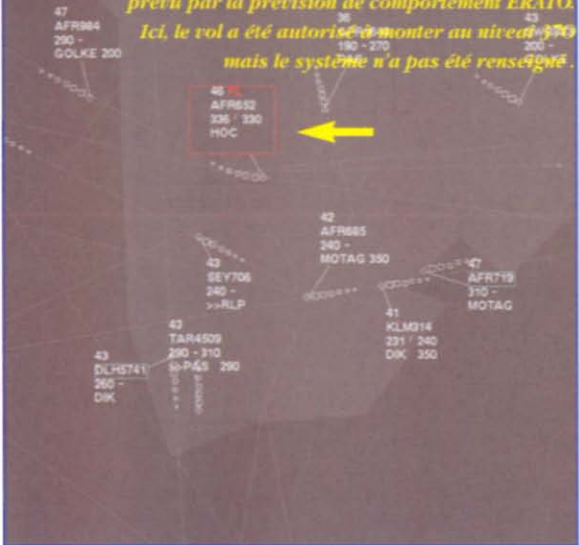
DEUX DIRECTIONS
POUR AIDER LE CONTRÔLEUR.

Les techniques de filtrage de l'information.

Le but du filtrage de l'information est de démultiplier l'efficacité des ressources cognitives. Le filtrage permet au contrôleur d'exercer son savoir faire sur une présentation de l'information qui a été dépouillée de la majeure partie des informations inutiles dans le contexte où il se trouve.

Les deux types de présentation d'information décrits ci-dessous permettent une construction instantanée de la représentation mentale. En

Photo 14. - Activation d'une alarme monitoring.
On indique au contrôleur que le filtrage de base du vol est dégradé car l'avion est à un niveau non prévu par la prévision de comportement ERATO.



ce sens elles sont également des aides au rafraîchissement de la mémoire et à l'activité coopérative.

Le tableau des sortantes et le tableau des vols.

L'environnement actuel présente toutes les données disponibles en permanence, ce qui impose une activité systématique d'élimination de l'information non pertinente pour le traitement en cours. Les contrôleurs font de multiples actions de filtrage, de mise en évidence de l'information pertinente : décalage de strips, écriture de warnings, de grigris divers, etc. L'environnement électronique permet de trier dans toutes les données disponibles celles qui sont suffisantes pour effectuer une tâche donnée. Par exemple le tableau des sortantes (Photo 3. page 67) trie

les avions par flux de sortie. A l'intérieur d'un flux de sortie les avions sont classés par niveau prévu de sortie, et pour les avions au même niveau, par heure sur la balise de référence du flux. Cette présentation permet un balayage très rapide des sortantes par l'organique (ou le radariste, à la demande).

De même le tableau des vols (Photo 4. page 71), dans lequel les vols sont classés par niveau autorisé, permet de faire le tour du secteur niveau par niveau : le positionnement du curseur sur le champ «niveau» particularise sur l'image radar tous les vols autorisés vers ce niveau.

Le fait de pouvoir éliminer automatiquement une grande partie de l'information contextuellement non pertinente améliore considérablement l'efficacité des traitements,

puisque cela permet de se concentrer sur les données utiles.

Le filtrage «orienté problème» des avions.

C'est la fonction emblématique du projet, peut être parce que c'est celle qui a été développée et présentée en premier. De mon point de vue, elle l'est parce que c'était le premier exemple concret qui a montré qu'il était possible d'aider efficacement le contrôleur sans faire le travail à sa place, et donc en préservant son identité et son savoir-faire. Cette fonction permet, à la demande du contrôleur, par un clic sur l'étiquette de l'avion choisi, de mettre en sous-brillance les avions qui ne peuvent en aucun cas être pertinents pour l'analyse du vol concerné, et de laisser les autres en sur-brillance (Photo 26. ci-contre). Cet ensemble des vols pertinents doit à l'évidence comprendre au moins tous les vols susceptibles d'être déclarés conflictuels par le contrôleur, mais aussi tous ceux qui sont susceptibles d'interférer avec une résolution quelconque d'un conflit impliquant l'avion de référence.

Si l'on considère un problème donné, la détection et la résolution seront instantanées si les quelques avions concernés doivent être extraits d'un contexte comprenant moins d'une douzaine d'avions. Le contrôleur peut d'entrée concentrer toute son activité sur un problème bien formulé et ainsi mettre en oeuvre de façon plus efficace tous les mécanismes mentaux qui sont source de bonne performance. Le rôle de cette fonction n'est pas de résoudre le problème, mais d'aider le contrôleur à bien formuler ce problème, de façon à ce qu'il puisse ensuite activer efficacement son savoir-faire pour le résoudre.

Les algorithmes de filtrage ne traitent que les informations actuellement connues du contrôleur : les informations contenues sur

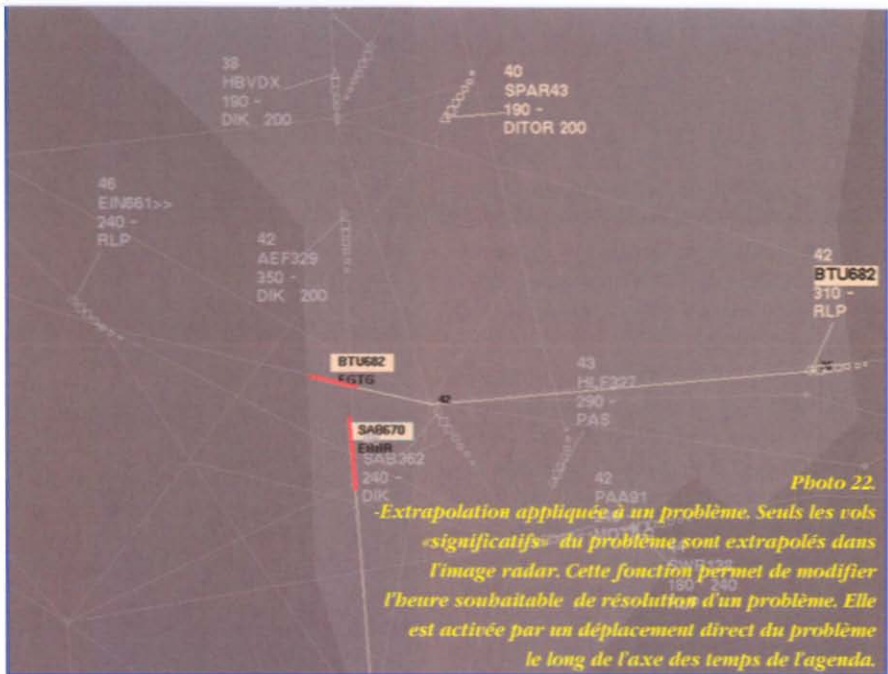


Photo 22.
-Extrapolation appliquée à un problème. Seuls les vols «significatifs» du problème sont extrapolés dans l'image radar. Cette fonction permet de modifier l'heure souhaitable de résolution d'un problème. Elle est activée par un déplacement direct du problème le long de l'axe des temps de l'agenda.

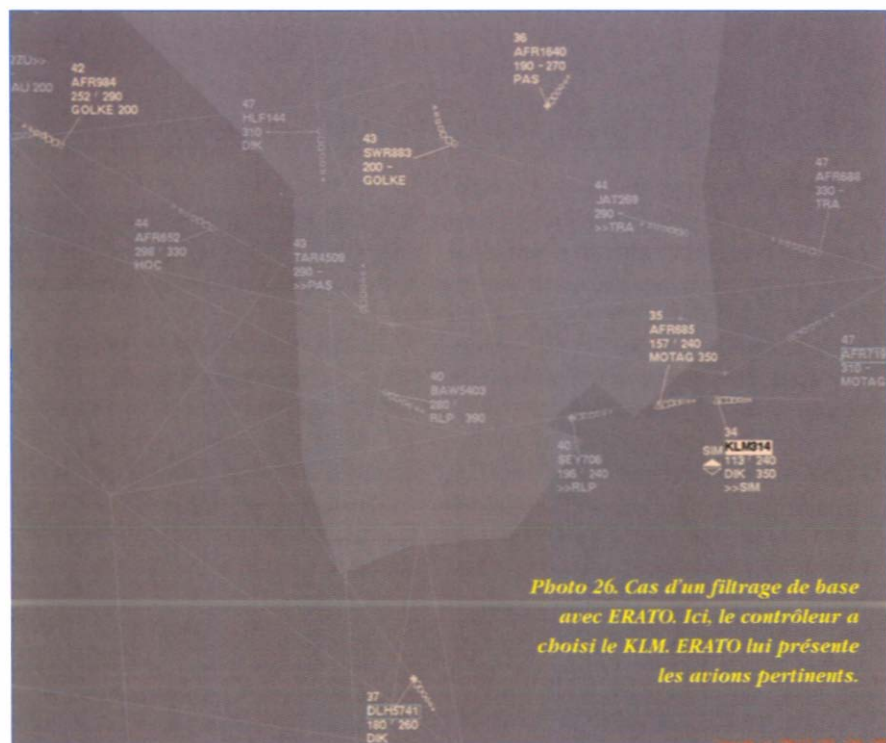
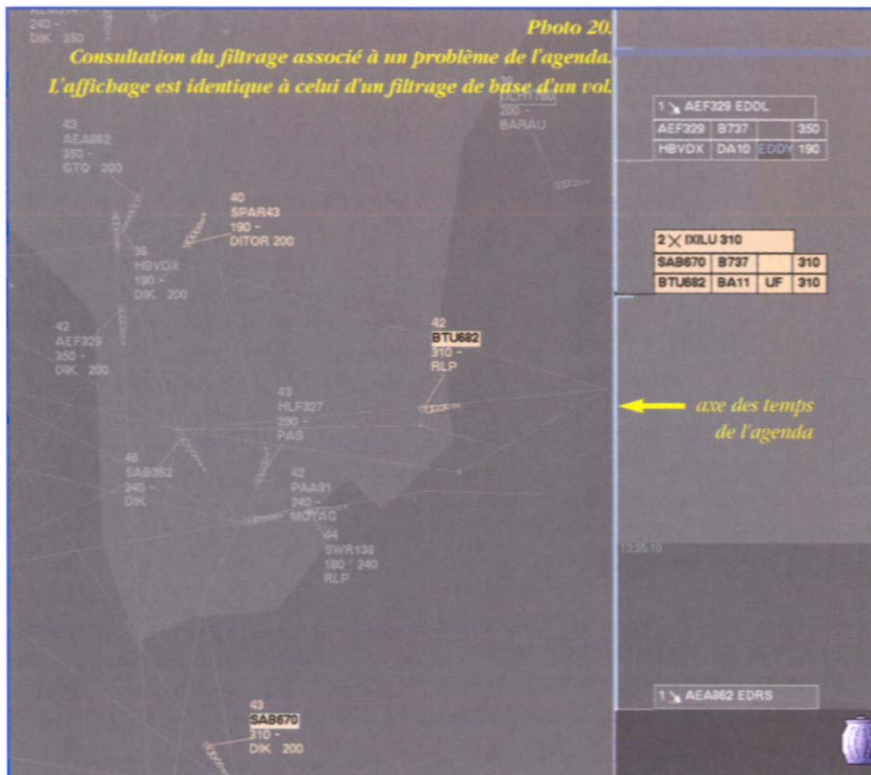


Photo 26. Cas d'un filtrage de base avec ERATO. Ici, le contrôleur a choisi le KLM. ERATO lui présente les avions pertinents.



le strip et, lorsqu'elles sont disponibles, les informations radar. De même que le contrôleur prend ses décisions dans un état d'ignorance partielle par rapport aux avions, les algorithmes de filtrage ne peuvent connaître les intentions du contrôleur. Ce module affecte à chaque avion un volume de manoeuvre 4D (le temps, le plan horizontal et le plan vertical). Ce volume contient en quelque sorte l'ensemble des trajectoires applicables à l'avion en fonction des règles de l'art. Ceci revient à définir une représentation par défaut du contrôleur, qui est satisfaisante dans la très grande majorité des cas, mais qui par nature ne peut l'être dans tous les cas. Une fonction de surveillance est associée aux données radar. Ce processus détecte toute sortie d'un avion de son volume de manoeuvre 4D. Dès qu'un tel écart est détecté, le système avertit le contrôleur que l'information filtrée sur laquelle il travaillait jusqu'à maintenant n'est plus suffisante et qu'elle vient d'être mise à jour (Photo 14, page précédente en haut à gauche). Dans cet exemple le vol AFR652 n'a pas stabilisé au niveau 330 vers lequel il était autorisé, cela provoque l'affichage d'une alarme « FL » rouge sur la première ligne de son étiquette. En cliquant sur cette étiquette, le contrôleur aura un filtrage qui prend en compte ce dépassement de niveau. Ce processus de surveillance permet au module de filtrage de s'adapter de façon très souple à l'erreur ou à la créativité de l'opérateur : dans l'exemple précédent l'avion aurait pu être autorisé vers 370, le

contrôleur ayant omis de renseigner le système ; le monitoring détecte ainsi toute incohérence entre les données observées et les données attendues, il peut donc être un moyen utile pour détecter et rattraper les erreurs de saisie qui sont inévitables en environnement électronique.

L'agenda : une fonction pour mieux gérer sa charge de travail

L'agenda est une fenêtre dans laquelle une étiquette est associée à chaque problème en cours ou prévu. Un problème est une situation conflictuelle qui peut regrouper plusieurs avions, en fonction de règles de l'art. Les étiquettes sont positionnées en fonction de l'urgence de la résolution du problème. La simple visualisation de ce degré d'urgence permet au contrôleur de ne pas se consacrer à des tâches mineures ou non urgentes alors que la situation à très court terme se dégrade ; en situation normale, cela lui permet de définir plus objectivement la gestion de sa charge de travail.

Les problèmes rencontrés lors du développement et de l'évaluation de cette fonction permettent d'illustrer l'interdépendance entre la spécification des modules algorithmiques, la spécification de l'interface et la définition préalable de la méthode de travail.

Dans 75% des cas seulement la partition en problèmes d'une situation de trafic donnée est identique chez tous les contrôleurs. Dans les autres cas, la variabilité s'explique par des différences de culture d'un contrôleur à

l'autre, ou, pour un contrôleur donné, par la charge de travail ressentie et par l'incidence de la stratégie de gestion des ressources cognitives. En effet plus la sensation de charge de travail élevée grandit et plus le contrôleur va avoir tendance à considérer de « petits » problèmes. Il n'existe donc pas d'algorithme permettant de diviser une situation de trafic de façon complètement adaptée aux besoins du contrôleur.

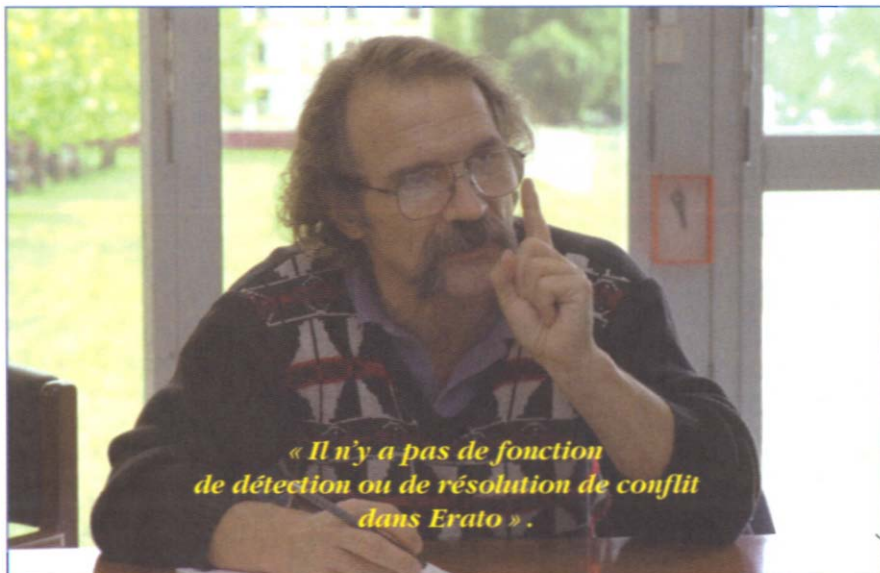
En même temps que sont définis les algorithmes permettant de fournir la bonne réponse aussi souvent que possible, il est donc nécessaire de définir les fonctions de l'interface permettant au contrôleur d'adapter ces réponses aux besoins ressentis en fonction du contexte. L'agenda n'est donc pas une détection automatique de conflits et ne peut pas l'être, ce n'est qu'une esquisse que le contrôleur doit absolument adapter en fonction de son analyse.

L'adaptation des problèmes de l'agenda est normalement faite par le contrôleur organique alors que les résultats sont essentiellement destinés au radariste. Mais la spécification des fonctions d'édition n'aurait pas de sens sans une définition préalable de la méthode de travail (comment mettre en oeuvre les mécanismes cognitifs de base cités précédemment) et de la méthode de coopération entre les deux contrôleurs. Ce n'est que lorsque ces deux éléments sont définis que l'on peut aborder la spécification de l'interface.

L'agenda est un support essentiel à l'activité coopérative. Il rationalise et optimise la coopération entre les deux contrôleurs, telle qu'elle se fait maintenant en situation chargée. Il remplace le tableau de strips pour la mise en évidence des problèmes de façon commune aux deux contrôleurs.

Une étiquette agenda comprend un nom (C.f. Photo 20, ci-dessus) **2X IXILU 310** signifie : deux avions se croisant verticale IXILU au niveau 310) ainsi que les mini strips des avions impliqués dans le problème (les avions significatifs). Le filtrage associé est l'union des filtrages associés à chaque avion significatif.

Les fonctions d'édition permettent de supprimer ou de créer des étiquettes, d'ajouter ou d'enlever des avions significatifs, etc. La fonction la plus importante est celle qui permet de positionner sur la trajectoire de chaque avion significatif l'endroit auquel le contrôleur a l'intention d'agir (Photo 22, page ci-contre en haut à droite). Cette fonction consiste à positionner les curseurs rouges sur l'image radar. Ces curseurs disparaissent dès que le positionnement est terminé. L'agenda calcule le temps qui sera nécessaire à chaque avion pour atteindre cet endroit et



« Il n'y a pas de fonction de détection ou de résolution de conflit dans Erato » .

positionne l'étiquette de l'agenda sur l'axe temporel vertical en fonction de ce temps. Bien entendu ce temps est périodiquement mis à jour en fonction des données STR afin de prendre en compte les vitesses sol effectives des avions.

Si l'étiquette n'a pas été détruite auparavant par un des deux contrôleurs, lorsque le premier de ces avions passe verticale ou travers le point visé, les deux avions sont particularisés en jaune sur l'image radar (Photo 24. ci-dessous) : il se comporte alors comme un « filet de sauvegarde » basé non sur la proximité physique des avions mais sur les intentions d'action manifestées au préalable.

Ainsi non seulement l'agenda fournit une vision globale du trafic commune aux deux

contrôleurs, mais en plus, grâce à ce positionnement spatial et temporel des étiquettes, il permet de mieux gérer son temps et de mieux anticiper sur la charge de travail à venir.

La spécification simultanée de la méthode de travail, des fonctions et de l'interface.

L'identification des mécanismes mentaux qui sont le fondement de l'activité du contrôleur, de leur mode de dégradation, puis la définition des outils pour améliorer l'efficacité de ces mécanismes mentaux permettent de décrire comment utiliser les outils Erato pour mettre en œuvre efficacement ces mécanismes mentaux, ce que nous appelons la méthode de travail.

Il existe par nature une imbrication totale entre la définition de la méthode de travail, de l'interface et des algorithmes. Le même logiciel utilisé avec des méthodes de travail différentes donnera des résultats très différents. Lorsque le groupe de suivi s'est mis en place après les expérimentations de l'hiver 1994-1995, le premier travail a été de tirer les enseignements des expérimentations en ce qui concerne la méthode de travail en environnement électronique ERATO, pour affiner celle-ci, et en tirer les conséquences du point de vue de la spécification de l'interface. Ce travail a été très itératif. Les maquettes de l'interface servaient à tester la méthode de travail sur des simulations de trafic. Les retours de ces tests portaient autant sur la méthode de travail que sur l'utilisabilité de l'interface. L'utilisabilité de l'interface est sa plus ou moins grande capacité à faciliter la mise en œuvre de cette méthode de travail. On peut dire que le travail de maquettage a porté autant sur la méthode de travail que sur l'interface.

L'environnement ERATO.

C'est d'abord l'environnement ODS-France tel qu'il est décrit dans ce numéro spécial, en version entièrement électronique. Cet environnement électronique comprend essentiellement 3 fenêtres sur l'écran Sony (Photo 1. page 66) : l'image radar, l'agenda, et une petite fenêtre dans laquelle apparaissent les vols lors de la coordination entrante, et une fenêtre sur le 19'', qui peut être soit le tableau des vols, soit le tableau des sortantes.

Lorsqu'un filtrage est demandé, les strips correspondant aux avions appartenant à ce filtrage apparaissent sur le 19'' (Photo 8. page 67 colonne de droite). Ces strips sont classés par niveau autorisé.

En plus de ces fonctions majeures, le contrôleur dispose de fonctions de saisie (niveau autorisé, niveau de transfert, route directe, cap, vitesse, taux de montée/descente, coordinations avec les militaires, préparations de directe et de niveau), de fonctions de simulation, d'extrapolation et d'une fonction «marqueur géographique».

Les fonctions de simulation permettent d'obtenir le filtrage correspondant à une simulation d'autorisation de niveau ou de directe.

La fonction d'extrapolation (Photo 12.) permet de «capturer» un curseur associé à un avion avec la souris et de le déplacer à son gré sur sa trajectoire. La position estimée des curseurs associés à tous les autres avions appartenant au filtrage évolue en fonction de la position simulée de cet avion.

La fonction «marqueur géographique» permet de positionner un marqueur sur la trajectoire

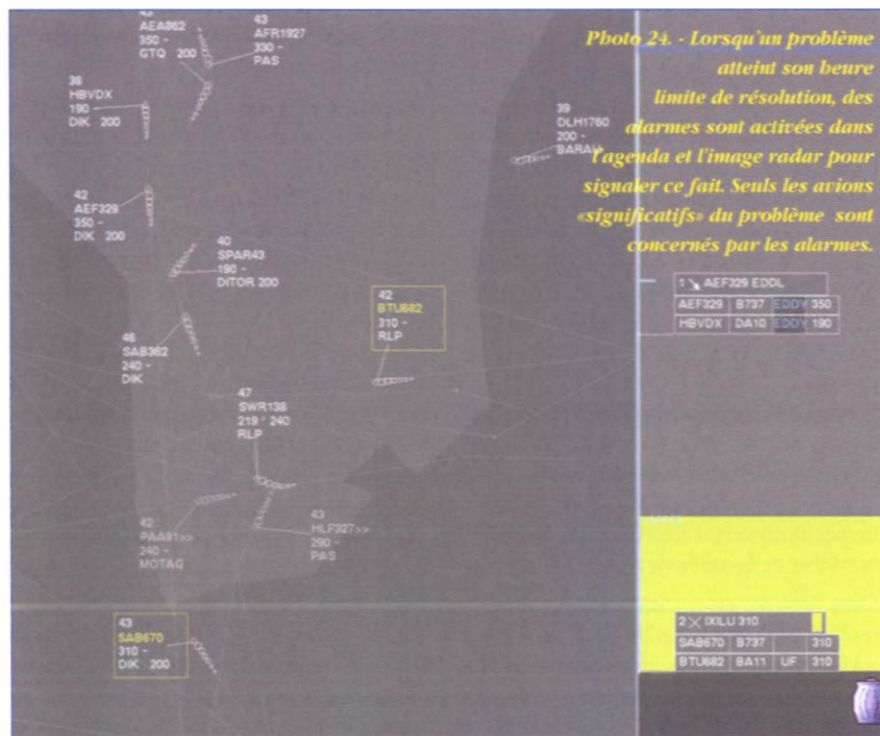
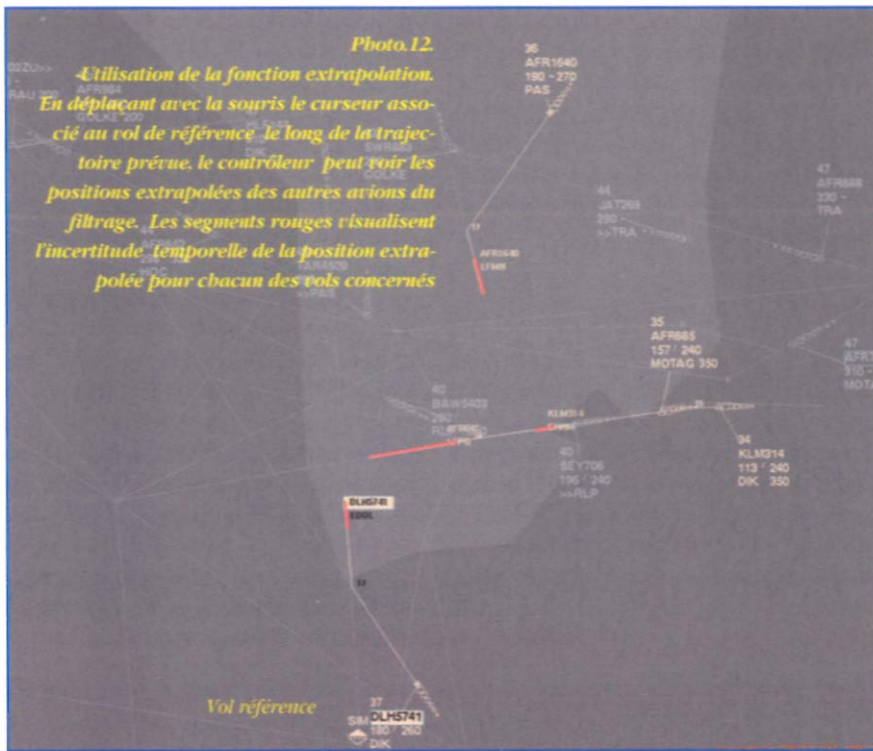


Photo 24. - Lorsqu'un problème atteint son heure limite de résolution, des alarmes sont activées dans l'agenda et l'image radar pour signaler ce fait. Seuls les avions «significatifs» du problème sont concernés par les alarmes.



d'un avion. Quand le vol passe verticale ou travers ce point, le vol est affiché en jaune sur l'image radar.

La formation à ERATO.

La formation à ERATO se déroule sur deux semaines. Elle est divisée en deux phases. La première phase qui dure trois jours est composée d'une alternance de cours théoriques de 20 à 30 minutes suivis de travaux pratiques sur l'interface. La progression des objectifs des cours et des T.P. a été établie de façon à fournir une description exhaustive des fonctions ERATO et de leur comportement, à permettre aux contrôleurs de se familiariser avec la manipulation de l'interface, à construire progressivement un circuit visuel efficace sur l'interface (apprendre à voir ce qui est important), pour en arriver à la compréhension théorique de la méthode de travail.

La seconde phase, qui dure 6 jours, permet de mettre en pratique cette méthode de travail sur des simulations de trafic de plus en plus chargées. Il n'est évidemment pas possible en quelques jours d'acquiescer des automatismes de même profondeur que les automatismes acquis en environnement papier au cours d'années de pratique, cependant d'après ce que nous avons pu observer en groupe de suivi au début de 1997, en moyenne après quelques jours de pratique les contrôleurs acquiescent un niveau d'aisance suffisant pour écouler des simulations correspondant aux pointes de trafic actuelles.

LA CAMPAGNE D'EXPÉRIMENTATIONS 1997-1998 POUR L'ÉVALUATION D'ERATO

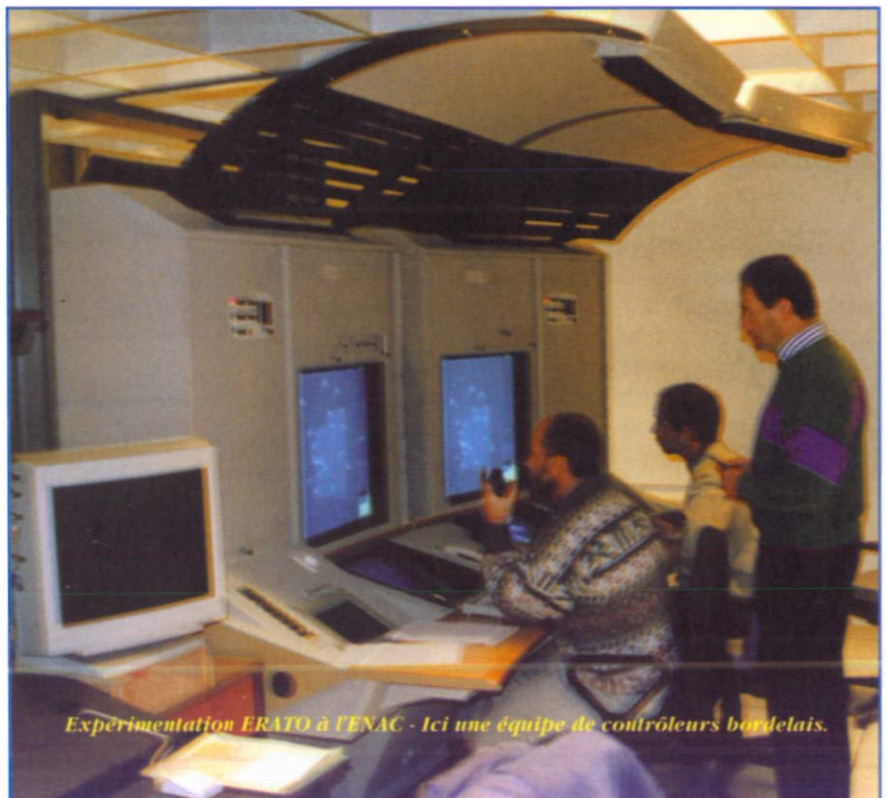
L'enjeu de ces expérimentations est très important pour la suite du projet. Après les différentes expérimentations, les itérations en groupe de suivi, nous avons la conviction d'être parvenus à un bon équilibre entre la méthode de travail, l'interface et les

algorithmes. Encore faut-il soumettre cette intime conviction à l'épreuve des faits ! Du 20 octobre 1997 au 24 avril 1998, huit binômes viendront tester la viabilité du nouveau système global obtenu. Chaque binôme aura deux semaines de formation et une semaine de tests. Ces tests permettront de privilégier six axes d'évaluation.

L'aide à la construction de l'image mentale.

Dans les années à venir la nature des données à traiter par les contrôleurs ne devrait pas évoluer de façon significative, sauf en ce qui concerne leur volume, qui va encore augmenter. Tous les mécanismes mentaux cités précédemment, et qui sont inhérents à la nature de ces données, sont à la source de la bonne performance des contrôleurs. Ils doivent donc être préservés dans le nouvel environnement, il est indispensable de le vérifier.

Dans le même temps il faut analyser comment les différentes fonctions de l'interface sont utilisées pour aider la mise en œuvre de ces mécanismes mentaux, comment l'utilisation de ces fonctions évolue avec la charge de travail ressentie. Est-ce que l'utilisation de l'interface est ressentie positivement ou comme un handicap par les contrôleurs? Permet-elle aux contrôleurs de travailler plus efficacement et de façon plus créative? Ou entraîne-t-elle une perte de vigilance, ou une perte de qualification ?



Les déclencheurs liés à l'environnement actuel vont disparaître. Il est important de vérifier que le nouvel environnement permette au contrôleur de retrouver un ensemble de déclencheurs efficaces, quel que soit la charge de travail ressentie.

Ces analyses se feront à partir d'une simulation de 90 minutes correspondant au pic de charge de travail pendant l'été 1997 sur les secteurs supérieurs les plus complexes de chaque centre. Un traitement statistique des enregistrements des actions sur l'interface pendant cette simulation permet de décrire la façon dont chaque fonction a été utilisée, comment l'utilisation a évolué en fonction de la charge de travail, etc. L'interview des deux contrôleurs ayant écoulé ce trafic en environnement ERATO permet d'interpréter plus finement les données statistiques et d'obtenir des indications sur la mise en œuvre des principaux mécanismes mentaux. Ceci permettra d'enrichir le modèle cognitif.

La coopération.

Un protocole expérimental équivalent permettra d'analyser les modes de coopération en environnement électronique ERATO, comment ces modes évoluent avec la charge de travail, comment l'interface est utilisée pour soutenir cette coopération, comment les aides sont appréciées par les contrôleurs de ce point de vue.

Les algorithmes.

Les expérimentations permettront de recueillir des données sur deux secteurs supérieurs par centre, de façon à compléter les résultats obtenus en 1993, et à obtenir une référence suffisante pour l'évaluation ultérieure de la version industrielle.

«L'utilisabilité».

Les «tests d'utilisabilité» sont essentiels. Une interface mal réalisée, c'est à dire qui ne présente pas les bonnes informations, ou qui les présente de façon confuse ou difficile à interpréter, crée inévitablement un gaspillage de ressources cognitives au détriment de la coopération ou de la qualité de l'écoulement du trafic.

La fatigue.

Il est très difficile de définir exactement au plan scientifique ce qu'est la fatigue. Cependant chacun la ressent et sait décrire un certain nombre de ses manifestations. Le test de fatigue consistera, pour chaque binôme, en l'observation au cours d'une journée nonnale de travail (J1 ou J2) du comportement

des deux contrôleurs, de leur façon d'utiliser l'interface, de coopérer et de gérer le trafic. Il n'a pas été possible de mettre en place un protocole plus rigoureux, permettant notamment une comparaison avec l'environnement actuel. Néanmoins cette étude est réalisable techniquement. Elle pourrait se faire à la fin 1998.

La formation.

L'enjeu est double : il s'agit d'une part de recueillir des données pour la transformation et la formation ab initio à Erato, dans la perspective d'un déploiement opérationnel, et d'autre part de tester la possibilité d'intégrer complètement l'utilisation des fonctions ERATO à l'activité de contrôle dans des délais raisonnables (de l'ordre de deux semaines).

Si ce test est positif sur une population significative de contrôleurs, cela signifie du point de vue opérationnel qu'il est possible de déployer ERATO en une seule fois. Il me semble que compte tenu de l'équilibre obtenu entre la méthode de travail et les fonctions, on aurait alors tout intérêt à le faire. En effet un déploiement phasé fonction par fonction créerait une situation durablement instable pour les contrôleurs. Il leur faudrait apprendre dans un premier temps à travailler avec un système dans lequel certaines des fonctions essentielles à la construction, à l'entretien ou au partage de leur représentation mentale du trafic n'existent pas. Il en résulterait une activité cognitive beaucoup plus intense pour pallier aux manques du système, et donc si l'on se réfère aux stratégies de gestion des ressources cognitives, à niveau de stress égal, une perte de capacité, ou à capacité égale, une augmentation prévisible de la fatigue et du stress.



Les expérimentations d'ERATO : coopération et pluridisciplinarité.



CONTROLEUR RADAR

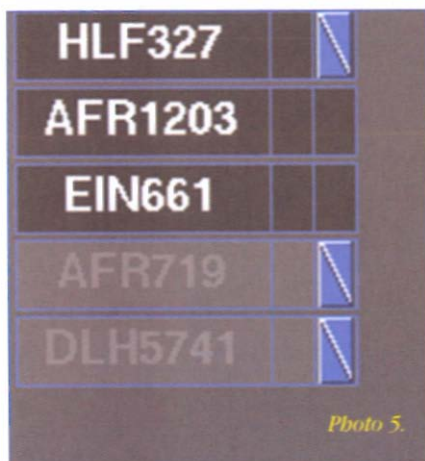


Photo 5.

Photo 5. La fenêtre d'intégration du contrôleur Radariste. Elle contient des étiquettes de vols non intégrés par le contrôleur Radariste. Les deux étiquettes grisées identifient les deux premiers vols intégrés par le contrôleur Radariste.

CONTROLEUR ORGANIQUE

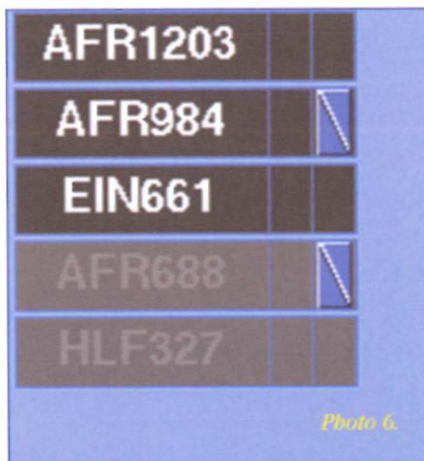


Photo 6.

Photo 6. La fenêtre d'intégration du contrôleur Organique. Elle contient des étiquettes des vols non intégrés par le contrôleur Organique. Les deux étiquettes grisées identifient les deux derniers vols intégrés par le contrôleur Organique. Le fond de couleur indique que de nouveaux vols non intégrés existent dans cette fenêtre (c'est en quelque sorte l'équivalent du bruit de l'imprimante).

ERATO EST APRES ?

Quelle stratégie de développement et de déploiement opérationnel ?

Si les expérimentations montrent qu'il est intéressant de déployer ERATO en opérationnel, un certain nombre de problèmes techniques doivent être résolus afin d'en vérifier la faisabilité. Ce n'est qu'après avoir réglé ces problèmes qu'une décision ferme de déploiement opérationnel pourra être prise, et que les modalités et le calendrier pourront être définis.

Les problèmes techniques à résoudre.

Ces études portent sur cinq domaines :

- L'étude d'architecture montrant la faisabilité matérielle et logicielle. Cette étude de faisabilité est en cours au STNA. Elle doit intégrer les résultats de l'étude de sûreté de fonctionnement en cours au STNA et au CENA. Cette étude nécessitera d'être étayée par des expérimentations sur les modes dégradés.
- La connexion des algorithmes de filtrage et de monitoring au STR/STPV, afin d'évaluer les modifications probables des

spécifications. Ce travail est en cours au STNA.

- L'étude des fonctions complémentaires (secteurs inférieurs, dégroupement-regroupement, formation sur la position, etc.). Cette étude impliquera un travail de type groupe de suivi et se traduira par des expérimentations au CENA à la fin 1998.
- L'étude de faisabilité technique de l'interface en environnement ODS-France. Les études sur l'interface doivent également porter sur la convergence fonctionnelle entre l'environnement ODS-France et l'environnement Erato et sur la convergence des solutions retenues (homogénéité des logiques de clics, de couleurs, de choix graphiques, etc.). Ces études de convergence sont très importantes pour le succès du produit final et devront être étayées par des tests d'utilisabilité à la fin de 1998.
- L'étude de faisabilité de la gestion des données opérationnelles.

Préparer les expérimentations en milieu opérationnel.

Fin 1998 nous disposerons donc, à la fois :
- 1 - des résultats des expérimentations en cours au CENA, et notamment - des résultats

sur la formation qui permettront de dire si la transformation à ERATO des contrôleurs en salle est possible ou pas - des résultats sur la viabilité de la méthode de travail, des fonctions ERATO et de l'interface ;

- 2 - des résultats de chacune des études de faisabilité citées précédemment.

Nous serons alors en possession de tous les éléments pour décider de la poursuite du projet. Si les études de faisabilité sont positives, le STNA pourra alors réaliser un prototype qui sera testé en salle de contrôle sur du trafic réel. Ce prototype sera d'abord testé par les contrôleurs du groupe de suivi en position miroir, le trafic étant contrôlé sur le secteur conventionnel. Lorsque ce fonctionnement sera satisfaisant nous pourrons permuter à titre expérimental les deux positions pendant une période limitée à une heure ou deux par jour pendant quelques semaines : pendant ces périodes de test, le trafic réel serait contrôlé depuis la position ERATO, le secteur conventionnel étant armé en position miroir. Il est important que le délai entre l'expérimentation en milieu opérationnel et la réalisation du produit industriel soit bref. Ce délai devrait alors être mis à profit pour réaliser la transformation des contrôleurs en salle à l'environnement ERATO.

L'ampleur et la complexité des tâches à accomplir jusqu'au déploiement opérationnel implique une coopération très étroite entre le STNA, le CENA, le SCTA et les centres de contrôle. Cette coopération est déjà en place, elle est largement facilitée par le fait que le créateur de l'équipe STNA et plusieurs de ses membres sont des anciens de l'équipe CENA. La coopération avec les centres passe essentiellement à travers le fonctionnement du groupe de suivi et la participation aux diverses expérimentations.

Le groupe de suivi et le fonctionnement de l'équipe pluridisciplinaire du CENA.

Il est difficile de définir ex nihilo les méthodes de travail et de coopération en environnement électronique. Le modèle cognitif fournit un cadre permettant de les esquisser. Il est ensuite nécessaire de raffiner en appliquant des techniques de prototypage rapide à la définition des méthodes de travail et de coopération. Ce prototypage rapide permet de dérouler pas à pas des situations de travail en utilisant une version sommaire des moyens de dialogue. Ce n'est que lorsque les points fondamentaux concernant la méthode de travail et de coopération paraissent acquis que le prototypage rapide est appliqué aux moyens de dialogue. Le rôle des contrôleurs du groupe de suivi est essentiel dans cette phase, qui aura duré de Septembre 1995 à Mars 1997.



Photo 17. - L'intégration d'un vol se fait par la sélection d'une étiquette dans la fenêtre intégration. Tous les éléments relatifs à ce vol sont affichés dans l'interface : route graphique, macro-étiquette, filtrage de base, tableau des strips filtrés et particularisation en bleu des problèmes où le vol est significatif.

Il est souvent difficile de définir une place satisfaisante pour les futurs utilisateurs dans le processus de spécification et d'évaluation d'une interface, entre l'exclusion totale et le simple recueil d'avis. L'approche ci-dessus, parce qu'elle est guidée par le modèle cognitif, permet de les intégrer pleinement. Les réactions des contrôleurs participant aux séances de prototypage rapide sont analysées en fonction du modèle cognitif. Cette analyse permet éventuellement d'améliorer le modèle. Elle permet surtout d'interpréter les avis différents, voire contradictoires. En effet la référence au modèle cognitif permet de rechercher si derrière ces divergences se cachent des causes profondes, c'est à dire des besoins cognitifs différents sur lesquels inconsciemment chaque opérateur met l'accent. Nous ne cherchons pas à ce stade à obtenir un consensus entre les différents contrôleurs, au contraire nous cherchons à

favoriser l'expression des divergences, des opinions personnelles, des changements d'opinion. Ce n'est pas l'expression directe des besoins par l'utilisateur mais l'analyse cognitive, et notamment la mise en évidence des goulots d'étranglement, qui justifie les spécifications. Ce travail est effectué en coopération par les psychologues-ergonomes de l'équipe et les informaticiens qui réalisent au fur et à mesure les maquettes de l'interface. L'efficacité de la démarche repose sur :

- la disponibilité des contrôleurs pour faire un travail qui, par son côté itératif, est probablement très fastidieux,
 - la capacité des ergonomes à analyser rapidement les résultats, ce qui suppose de leur part une très bonne connaissance du contrôle et du modèle cognitif,
 - la réactivité des informaticiens.
- Sans une telle équipe pluridisciplinaire, la

méthodologie qui a permis de développer le projet n'aurait jamais pu être mise en œuvre.

Et PARIS ?

A l'issue des expérimentations de 1994-1995, un groupe de suivi s'est constitué avec les contrôleurs du CCR/Nord afin d'appliquer la même méthodologie aux secteurs desservant les grandes approches. La spécificité des problèmes sur ces secteurs justifie le développement de fonctions particulières, même si les deux axes de travail (améliorer l'efficacité des ressources cognitives et rendre plus efficace leur gestion) demeurent d'actualité. En effet les actions sur le trafic sont telles que les algorithmes de filtrage ne peuvent fonctionner selon la même logique qu'en espace supérieur. Il y a une imbrication très

forte entre la gestion des ressources cognitives et la gestion des flux de trafic à l'arrivée ou au départ : l'agenda ne peut fonctionner comme en supérieur. La densité des informations à saisir pose à l'évidence des problèmes de technique d'interface qui sont «intéressants». La coopération est elle aussi très complexe puisqu'elle met en jeu au moins deux binômes de contrôleurs, côté CCR et côté approche, avec une coopération très dense par l'intermédiaire du téléphone. Quel support à cette coopération devrait fournir l'environnement en terme de représentation commune et de moyens de saisie ? Quelle coopération avec les secteurs amont ? Quelle méthode de travail en interne au secteur, avec l'approche et les secteurs amont, etc.

Autant de questions sur lesquelles nous avons commencé à réfléchir et à maquetter à l'intérieur de ce groupe de suivi lorsque son activité s'est brutalement interrompue fin février 1996 pour des raisons extérieures au projet.

Néanmoins le besoin existe, et de façon encore plus aiguë avec l'augmentation de capacité planifiée de Roissy. Par contre quel que soit le potentiel qui sera investi, il semble évident que la complexité des problèmes théoriques à résoudre nécessitera un travail d'études de plusieurs années avant d'arriver à des résultats opérationnels satisfaisants.

Et le Data-link ?

L'environnement ERATO permet-il une intégration progressive et une exploitation efficace des progrès de l'avionique et des liaisons de données ? Les fonctions décrites précédemment utilisent les données dont dispose actuellement le contrôleur. Elles pourraient tout aussi bien tirer profit de données plus précises élaborées par les calculateurs embarqués et transmises par liaisons de données. Les algorithmes d'Erato permettraient de traiter ces données de façon directement utilisable par les contrôleurs : par exemple une meilleure prévision de trajectoire permettrait de filtrer plus finement l'information dont a réellement besoin le contrôleur; les filtrages seraient donc moins volumineux que maintenant, ce qui augmenterait encore l'efficacité du traitement de l'information par le contrôleur.

Nous entrons dans une période longue où le progrès technologique va permettre d'enrichir continuellement le contexte de travail. Il est évidemment impensable techniquement, financièrement et socialement que chaque pas en avant technologique remette complètement en cause l'environnement de

travail des contrôleurs. Pour cela il est important de veiller à garder une certaine compatibilité ascendante entre les versions successives de cet environnement, que ce soit au niveau de la logique et de la cohérence de l'interface ou au niveau de la méthode de travail. La conséquence pratique est double : d'une part, lors de la réalisation d'Erato il est important d'anticiper autant que possible sur les évolutions futures du système, d'autre part l'implémentation opérationnelle des futures technologies ne doit pas être vue comme la simple juxtaposition d'outils nouveaux à l'environnement existant. Au contraire, avant d'intégrer chaque avancée technologique, il sera important d'étudier la cohérence du système global qui en résultera, en terme d'utilisabilité de l'interface et de méthode de travail.

ERATO : POUR GÉRER L'ENVIRONNEMENT DU CONTRÔLEUR.

L'environnement électronique ERATO propose un support différent (sans le tableau de strips) à partir duquel les contrôleurs devront néanmoins continuer à mettre en oeuvre les mêmes traitements cognitifs qu'aujourd'hui. Même si les aides fournies par ERATO s'avèrent, à l'issue des expérimentations, être très efficaces, aucune ne fera le travail à la place du contrôleur : il est essentiel que le contrôleur se construise une

représentation mentale efficace du trafic.

Conçu à l'origine pour permettre aux contrôleurs de gérer l'augmentation de trafic dans des conditions socialement acceptables, il est possible que l'environnement ERATO soit un moyen de gérer le passage de l'environnement actuel à l'environnement électronique avec le minimum de perturbations. En effet les répercussions du passage à l'environnement entièrement électronique sur l'activité cognitive du contrôleur sont importantes. L'analyse préalable de cette activité, qui était nécessaire pour développer les outils ERATO, ne peut qu'être utile pour gérer cette transition.

L'approche globale utilisée dans ce projet, basée sur un modèle cognitif du contrôleur, permet une spécification simultanée des modules algorithmiques, de leurs interfaces et de la méthode de travail associée, ainsi que de la formation.

L'équipe de projet est nécessairement multidisciplinaire, le travail des psychologues et des ergonomes avec les contrôleurs à l'intérieur du groupe de suivi étant un préalable aux développements informatiques. L'efficacité de cette méthodologie permet également de maîtriser les nécessaires itérations en fournissant un cadre à l'évaluation des versions successives.

Ci dessous : Pboto 9. - Visualisation sur l'image radar du filtrage complémentaire au niveau 350 du vol DLH5741. Le filtrage complémentaire s'ajoute au filtrage de base. Une étiquette «bord écran» apparaît en haut de l'image pour signaler qu'un vol (le vol HLF327) appartenant au filtrage est non visible dans le champ de l'image radar actuelle.

