

# Radicalement nouveau et néanmoins familier : les strips papiers revus par la réalité augmentée

Wendy Mackay et Anne-Laure Fayard

Centre d'Etudes de la Navigation Aérienne  
Orly Sud 205  
94542 ORLY AEROGARES, France  
mackay@lri.fr, fayard@cena.dgac.fr

## RÉSUMÉ

Cet article explore les différentes possibilités offertes par la réalité augmentée pour envisager une solution radicalement nouvelle, mais cependant familière aux utilisateurs. L'approche présentée ici est pluridisciplinaire et participative. Elle vise à résoudre le problème du transfert de technologie en fondant l'innovation dans le contexte, notamment par le biais de la participation des utilisateurs. Cette approche a été appliquée dans le cadre d'une étude sur l'utilisation des strips papier par les contrôleurs aériens. L'objectif est d'utiliser la réalité augmentée pour créer des strips "familièrement nouveaux".

**MOTS CLÉS** : Étude de terrain, conception participative, prototypage, scénarios, triangulation, Co-adaptation

## INTRODUCTION

Comment créer de nouveaux systèmes qui peuvent aider en temps réel des utilisateurs experts dans des environnements de travail complexes et collaboratifs en particulier lorsque les habitudes de travail sont établies et fonctionnent bien et lorsqu'il n'y a pas de tolérance à l'erreur? Le système de contrôle aérien atteint une limite pour sa capacité à gérer l'augmentation des niveaux de trafic. Comment peut-on introduire de nouveaux outils informatisés qui permettent d'augmenter la capacité de contrôle tout en maintenant ou même en améliorant le niveau actuel très élevé de sécurité ?

De nombreux projets d'automatisation ou de semi-automatisation se sont soldés par des échecs magistraux (Dertouzous, 1990). Par exemple, l'administration des impôts américaine a récemment annoncé qu'elle a dépensé 4 milliards de dollars pour un nouveau système informatisé qui a finalement été abandonné car il ne fonctionnait pas. L'histoire de l'automatisation est pleine d'exemples similaires où des systèmes très coûteux sont abandonnés ou maintenus bien qu'ils diminuent la productivité des utilisateurs (Zuboff, 1988).

Norman (1988) et Landauer (1996) affirment que l'une des causes principales de ces échecs est l'absence de prise en compte des utilisateurs. Le concept le plus important en Interaction Homme-Machine (IHM) est probablement celui de conception centrée sur l'utilisateur (Norman & Draper, 1986), qui prend en compte la perspective de l'utilisateur dans le processus de conception de la

nouvelle technologie. Diverses techniques ont été développées afin d'inclure la perspective des utilisateurs. L'analyse de tâches (Card et al., 1983, Drury, 1983) tente d'identifier, d'analyser et de modéliser l'activité des utilisateurs ; les concepteurs du système tentent alors d'aider la réalisation des tâches de la façon la plus efficace. Les concepteurs considèrent souvent l'analyse de tâches comme une méthode pour identifier les besoins. Les "tâches" peuvent être identifiées, isolées sous la forme de besoins spécifiques et intégrées dans le système. Souvent, les tâches sont définies sans prendre en compte le contexte et comme si elles étaient fixes et non sujettes à modification.

Suchman (1987) affirme que les utilisateurs ne planifient pas toutes leurs activités. Ils répondent en fait aux événements et modifient leur activité en fonction de différents événements. Cette notion "d'action en situation" remet en question toute l'approche de l'analyse de tâches et incite les développeurs à prendre en compte le contexte ainsi que la manière dont les utilisateurs modifient leurs tâches. Les études ethnographiques fournissent des informations qualitatives sur les pratiques utilisées par les utilisateurs dans le monde réel, le contexte social dans lequel elles ont lieu étant également considéré. Alors que la plupart des études ethnographiques mettent l'accent sur l'observation, certaines (Hughes et al., 1992, Mackay & Pagani, 1993) les envisagent comme permettant d'influencer directement la conception.

La conception participative (Kyng & Greenbaum, 1991) transforme une approche unidirectionnelle où l'on observe et interroge les utilisateurs en une approche bidirectionnelle où les utilisateurs sont non seulement interrogés et observés, mais aussi intégrés dans le processus de conception. Différentes techniques spécifiques, telles que le brainstorming, la conception fondée sur les scénarios (Mackay & Bødker, 1994, Carroll, 1995, Chin et al., 1997) et le prototypage rapide (e.g., Muller, 1991) aident les utilisateurs et les développeurs à générer de nouvelles idées et à communiquer les uns avec les autres pendant le développement du nouveau système.

Cet article décrit une approche participative qui utilise les techniques citées précédemment et qui est fondée sur quatre principes :

### *1. La triangulation est essentielle pour l'IHM*

L'Interaction Homme-Machine (IHM) est pluridisciplinaire, s'inspirant à la fois des sciences naturelles et des disciplines de la conception. La triangulation entre disciplines, c'est-à-dire l'utilisation de paradigmes et de techniques multiples, est nécessaire pour développer des systèmes véritablement efficaces (Mackay & Fayard, 1997). La triangulation comme cadre de recherche et de développement permet de multiplier les perspectives et d'obtenir la représentation la plus large possible de l'activité considérée pour la création d'un artefact.

### *2. L'utilisation de la technologie est "Co-Adaptative"*

Lorsqu'ils sont confrontés à une nouvelle technologie, les utilisateurs s'adaptent à elle en changeant leurs habitudes de travail et leurs attentes en fonction de leur interprétation de la technologie. En même temps ils adaptent la technologie à leurs propres objectifs, l'interprétant et la modifiant dans des directions qui n'avaient pas été imaginées par les développeurs du système (Mackay, 1990, Barley, 1986). Au fil du temps, les utilisateurs transforment leurs pratiques de travail et inventent de nouvelles, parfois (mais pas toujours!) ils intègrent correctement la nouvelle technologie.

### *3. Les utilisateurs peuvent être des innovateurs*

Les utilisateurs ne sont pas seulement une source d'information importante sur les pratiques de travail existantes. Ils constituent aussi une source potentielle d'innovations (von Hippel, 1988). Il ne s'agit pas pour autant de traiter les utilisateurs comme des concepteurs. Les utilisateurs sont plutôt dans une position qui leur permet d'interpréter la technologie de manière pertinente pour leur contexte particulier et qui leur offre la possibilité de générer des innovations majeures (e.g., Mackay, 1988).

### *4. La réalité augmentée lie les objets aux ordinateurs*

La réalité augmentée augmente les objets physiques dans le monde réel avec la technologie informatique (Wellner, Mackay & Gold, 1993). Cette approche peut servir à créer des systèmes qui introduisent des fonctions radicalement nouvelles, mais qui restent acceptables pour les utilisateurs, en ajoutant ces fonctions à des objets existants.

Ces quatre principes fournissent un cadre pour créer des systèmes innovateurs fondés sur l'utilisation du monde réel. Ce cadre préserve les aspects positifs des pratiques de travail actuelles et en même temps génère un potentiel pour concevoir des technologies et des styles d'interaction nouveaux. Nous pensons que ces systèmes seront plus facilement acceptés par les utilisateurs, du fait de leur familiarité et de la contribution des utilisateurs à leur conception. En outre, ces systèmes évolueront dans le temps, créant de nouveaux styles d'interaction qui sont difficilement prévisibles.

Notre travail applique ces principes au problème de l'intégration des ordinateurs dans le système de contrôle aérien actuel. Nous nous intéressons particulièrement aux

différentes utilisations des strips papiers et avons pour objectif de créer des prototypes qui permettent de les augmenter de manière utile pour les contrôleurs.

Cet article décrit les problèmes auxquels sont confrontés les projets d'assistance au contrôle aérien puis la façon dont nous avons conçu une étude incorporant les principes décrits ci-dessus. Trois perspectives sont abordées : les études de et avec les utilisateurs, le processus de conception participative, et l'exploration des différentes possibilités offertes par la technique de la réalité augmentée. Ces perspectives ne sont pas séparées, mais sont intégrées dans le processus général de conception. Nous concluons en présentant une analyse de ce travail et une discussion des travaux futurs.

## **LA TRIANGULATION APPLIQUÉE AU CONTRÔLE DU TRAFIC AÉRIEN**

Cette section décrit les problèmes rencontrés dans le cadre du contrôle du trafic aérien et présente les trois buts principaux de notre recherche. Nous décrivons dans un second temps comment nous triangulons en utilisant une stratégie participative qui consiste en trois activités principales : une étude ethnographique, des workshops interactifs et le développement de prototypes.

### **Le contrôle du trafic aérien**

Le système de contrôle du trafic aérien actuel fonctionne très bien et fournit un très grand niveau de sécurité. Mais le trafic augmente et la technologie utilisée aujourd'hui, qui fut développée il y a trente ou quarante ans, a atteint la limite de ses capacités (Hopkins, 1995). La France, comme les autres pays occidentaux, a développé des programmes d'études et de recherches pour augmenter la capacité du système et améliorer encore le niveau de sécurité.

Les contrôleurs gèrent le trafic essentiellement à l'aide de trois outils : le radar qui leur fournit une image de la situation dans un secteur donné, la radio qui leur permet de communiquer avec les pilotes et les strips des vols (voir figure 1). Les strips sont des bandes de papier sur lesquelles sont imprimées les informations essentielles concernant l'avion et son plan de vol, c'est-à-dire, son indicatif, le type de l'avion, sa vitesse actuelle, son niveau, le niveau demandé, la route prévue, etc. Les contrôleurs annotent les instructions données aux avions sur les strips. Ils leur servent d'aide-mémoire (Preux, 1994) et constituent un moyen de communication entre les contrôleurs (Bressolle et al., 1995). Par exemple, les strips permettent aux autres contrôleurs de savoir quelles instructions ont été données au pilote par le contrôleur radariste sans avoir à déranger celui-ci.

Les strips papiers sont rangés dans un tableau de strips qui est organisé selon un ordre qui varie selon les individus. Le rangement du tableau de strips correspond à l'organisation du trafic tel qu'il est perçu et construit par le contrôleur. Par exemple, les strips correspondant à des conflits sont souvent rangés côte à côte. Les strips des avions dont il faut se souvenir sont décalés. Le rôle essentiel des strips est revendiqué par les contrôleurs et



**Figure 1 :** utilisation de strips papiers à Athis Mons

reconnu par toutes les personnes qui ont travaillé sur le contrôle aérien. Les strips sont cependant éliminés des projets d'automatisation, du moins sous leur forme papier. Ainsi, un système sans strips papiers a déjà été implémenté à Maastricht, mais seulement pour les secteurs supérieurs et le trafic en route, qui constituent un type de trafic plus simple.

De nombreuses études et projets envisagent des solutions techniques pour faciliter le travail des contrôleurs (Poirot-Delpech, 1994, Gaillard, 1992). En France, ces études sont menées par le Centre d'Études de la Navigation Aérienne (CENA). Nous avons mené une étude dans le centre de contrôle en route du CRNA Nord à Athis Mons, à côté de l'aéroport d'Orly. Le trafic géré par ce centre est particulièrement dense et complexe, notamment du fait de la présence des deux aéroports parisiens d'Orly et de Roissy Charles de Gaulles dans leurs secteurs.

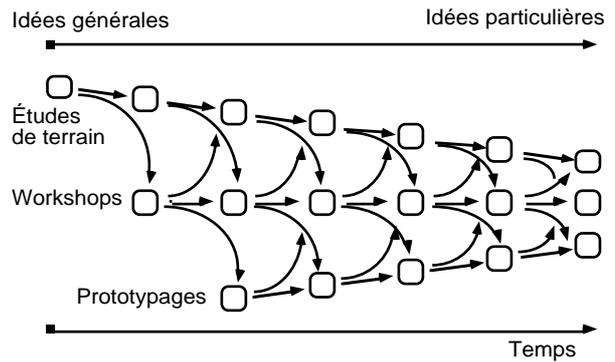
### L'approche de l'étude

Pouvoir capturer la signification d'une activité aussi complexe que celle des contrôleurs aériens implique une approche se fondant sur différentes perspectives. Chaque perspective constitue un point de vue qui fournit des apports intéressants mais qui en même temps présente des limitations. La triangulation comme cadre de recherche et de conception pour l'IHM permet de multiplier les perspectives et d'avoir une représentation la plus large possible de l'activité considérée pour la création d'un artefact.

Notre recherche comprend trois buts principaux :

1. mieux comprendre les activités des contrôleurs aériens,
2. créer des prototypes qui lient les strips papiers avec les outils d'informatiques, et
3. explorer toute la gamme de possibilités de la réalité augmentée.

Le projet des strips en réalité augmentée est informé à la fois par des observations faites en salle et par des informations sur les aspects techniques. L'étude a comme

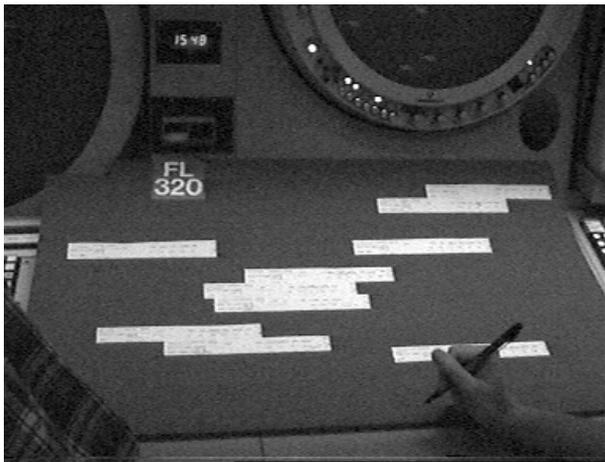


**Figure 2 :** Processus de génération des prototypes

point de départ les observations vidéo réalisées en salle de contrôle afin de mieux comprendre les interactions entre les contrôleurs et leurs outils, particulièrement les strips papiers. Un certain nombre d'hypothèses sont extraites de ces données et servent à générer des idées de conception. Des workshops réunissant les contrôleurs, les ingénieurs et les chercheurs sont organisés. Pendant ces workshops, les technologies existantes et les solutions envisagées sous forme de prototypes sont présentées aux contrôleurs afin qu'ils donnent leur avis. Parfois les technologies présentées sont la base de nouvelles idées. Le but est de créer un environnement où les contrôleurs peuvent réagir, mais aussi créer directement des idées pour les prototypes.

Les informations fournies par l'observation en salle ne sont pas uniquement le point de départ du projet. Elles sont poursuivies tout au long du projet et les analyses de ces données sont approfondies afin de permettre d'évaluer et de générer de nouvelles idées tout au long de la phase de prototypage. Le mouvement de va-et-vient entre réalité et technologie est maintenu tout au long du processus de conception. La triangulation choisie comme modèle de recherche est réalisée par l'association à l'intérieur du processus de génération du prototype de trois phases qui se déroulent en parallèle et sont illustrées par la figure 2: l'observation, les workshops qui réunissent les utilisateurs, les ingénieurs et les chercheurs, et les sessions de prototypage (papier et vidéo). Ces phases s'informent et se modifient les unes les autres dans un mouvement de spécification d'idées générales en idées spécifiques.

Ce mouvement de va-et-vient entre l'humain et la technique va de pair avec une approche pluridisciplinaire où sont utilisées aussi bien les méthodes scientifiques que les techniques de conception. Cette perspective pluridisciplinaire s'exprime au travers de la composition même de notre équipe, qui regroupe des compétences aussi diverses que la psychologie expérimentale, l'étude de l'innovation et de la conception de logiciels, la philosophie et les sciences cognitives ainsi que l'informatique. Cette approche pluridisciplinaire et ce mouvement de va-et-vient entre l'humain et la technique permet d'envisager des solutions innovatrices mais néanmoins familières. Les sections suivantes décrivent



**Figure 3** : utilisation de strips papiers à Bordeaux

les résultats obtenus dans chacune de ces phases (l'observation, les workshops et le prototypage).

### L'ETUDE ETHNOGRAPHIQUE

A la suite de Bentley et al. (1992), nous avons choisi de mener une étude ethnographique qui ne soit pas une simple description, mais qui soit dès l'origine inscrite dans un projet de conception de prototype et d'innovation technologique. L'étude de terrain se situe à deux niveaux. Dans un premier temps, une perspective globale du travail des contrôleurs aériens a été capturée par des vidéos filmées à Athis Mons, Maastricht et Bordeaux .

La spécificité du centre de Bordeaux tient à l'originalité de son tableau de strips qui diffère de celui des autres centres par sa taille et son organisation (figure 3). Le tableau de strips des contrôleurs bordelais est beaucoup plus grand que celui des autres centres. Il est situé entre les deux contrôleurs et est organisé plus géographiquement que les tableaux des autres centres. Le centre de Maastricht est intéressant puisqu'il constitue un exemple de stripping électronique. Les strips papier ont été remplacés par des strips électroniques et l'écran radar présente des informations supplémentaires et complémentaires par rapport aux radars utilisés dans les centres de contrôle français. Les contrôleurs n'utilisent pas beaucoup des strips électroniques : ils travaillent à l'aide du radar "amélioré" et prennent des notes sur des petits morceaux de papier. Une autre source d'information utilisée pour constituer cette représentation globale consiste en des données filmées lors d'expérimentations avec simulation du trafic en environnement réel. L'analyse de ces données vidéos a mis en lumière l'existence de relations entre le nombre de strips, le nombre d'annotations faites sur les strips, et le nombre de communications orales entre les contrôleurs.

Cette représentation globale a été complétée par une étude de terrain approfondie. Nous avons suivi les horaires d'une équipe de contrôleurs (l'équipe 9W du CRNA Nord) en salle de contrôle pendant 4 mois (juillet-octobre 1996). Outre les observations et les films, de nombreuses discussions informelles ont eu lieu au cours

desquelles les contrôleurs nous décrivaient des situations particulières et les méthodes utilisées.

### Participants

L'équipe 9 Ouest du CRNA Nord à Athis Mons se compose d'environ quinze contrôleurs dont 5 élèves. Parmi la dizaine de contrôleurs primaires, c'est-à-dire qualifiés, 4 sont chefs de salle. Deux autres contrôleurs expérimentés qui sont instructeurs à l'École Nationale de la Navigation Aérienne (ENAC) étaient également présents pendant notre étude pour une période d'entraînement afin de conserver leur qualification de contrôleur.

Il faut environ trois ans pour devenir contrôleur. Cet apprentissage comprend des stages de formation, un apprentissage théorique et un entraînement en salle de contrôle. Un contrôleur primaire est qualifié sur 11 secteurs et peut gérer jusqu'à 20 strips à la fois, le nombre moyen de strips à gérer étant de 10 à 13. Chaque équipe comprend 3 ou 4 contrôleurs avec une certaine ancienneté qui sont alternativement chef de salle et contrôleur primaire. Il n'y a pas un chef unique : les décisions sont prises collectivement au sein de l'équipe. Actuellement une grande partie du travail des contrôleurs qualifiés consiste à former de nouveaux contrôleurs. Sur nos enregistrements vidéo, il y a de ce fait plus d'élèves en qualification que de contrôleurs qualifiés.

### Processus

L'accent a été mis sur l'intégration des chercheurs dans l'équipe : tous les horaires et jours de travail étaient respectés, aussi bien les horaires du matin (à partir de 6h00) que les horaires de nuit (19h00 jusqu'à 6h30), aussi bien les jours de semaine que les samedis, dimanches et jours fériés. Nous étions considérés par les contrôleurs comme des invités qui partageaient leurs horaires de travail et leurs repas. Le but était de créer une relation particulière où la confiance était essentielle. Nous avons eu beaucoup de conversations avec les contrôleurs où nous les interrogeons sur certaines situations incompréhensibles pour nous. Les contrôleurs ont été très ouverts et très coopératifs.

### Données

Les données comprennent des notes d'observation, des statistiques sur le trafic, des informations sur les secteurs, des interviews, des photographies de la salle et plus de 40 heures d'enregistrements vidéo. L'objectif était d'obtenir un échantillon représentatif de tous les jours de la semaine et de tous les horaires, dans toutes conditions possibles.

Le matériel pour filmer consistait en un petit caméscope avec un écran LCD qui permettait de montrer aux contrôleurs ce qui était filmé. Cette transparence a joué un rôle important dans la mise en place d'une relation de confiance avec les contrôleurs. Par ailleurs, la petite taille du caméscope et sa sensibilité qui permettait de filmer sans utiliser de projecteur malgré la faible luminosité de la salle a rendu les observateurs presque invisibles.

Des sommaires descriptifs ont été établis afin de permettre de retrouver des séquences intéressantes, notamment pour la création de scénarios. Lors des enregistrements en salle des feuilles de données étaient remplies. Elles fournissent des renseignements complémentaires, parfois invisibles sur la l'enregistrement, comme la présence d'un quatrième contrôleur derrière ceux qui sont assis, ou l'intervention d'un autre contrôleur ou du chef de salle qui pointe un strip.

Au cours de l'analyse qualitative, un code a été développé afin d'identifier les différents types spécifiques d'interaction telles que pointer un strip, le décaler, pointer le radar, écrire sur un strip, écrire à deux sur un strip, etc. L'utilisation d'un code facilite l'analyse qualitative et permet également de faire une analyse quantitative. Ce code a été mis en place non pas pour modéliser l'action des contrôleurs de façon générale et construire un modèle de tâches, mais pour capturer les informations pertinentes en vue "d'augmenter" les strips. Un code différent aurait été adopté si l'objet de l'étude avait été l'attention périphérique. Le code s'inscrit donc dans la perspective technologique choisie. L'analyse visait d'abord à étudier les relations entre les interactions avec les strips, le nombre de strips et le nombre de communications. Les deux autres objectifs étaient d'étudier le nombre d'interactions à plusieurs mains et le nombre de strips et de mettre en rapport l'interaction avec les strips et l'interaction avec les autres "outils" (écran radar et écran "digitatron"). Cette analyse s'est poursuivie tout au long de la phase de prototypage afin de spécifier certains aspects des prototypes.

Certains enregistrements ont fait l'objet d'une auto-confrontation avec les contrôleurs. L'analyse et ces discussions avec les contrôleurs ont montré certaines limites des données recueillies. Il a de ce fait été décidé de filmer à nouveau en salle après spécification de certains paramètres : le moment de la journée, les horaires, la charge de trafic, le type de contrôleur (qualifié ou élève), le secteur. Il est prévu de récupérer l'enregistrement radar, l'enregistrement de la fréquence radio et l'enregistrement du digitatron, ce qui n'avait pas été fait lors des premières sessions. Ces enregistrements complémentaires faciliteront le visionnement des vidéos avec les contrôleurs et permettront de créer des scénarios plus réalistes puisque nous posséderons l'enregistrement radar. L'étude de terrain et les observations du monde réel se poursuivent donc en parallèle de la phase de conception et insuffle des spécifications tout au long de ce processus.

### **Résultats Préliminaires**

Nos observations confirment le rôle essentiel des strips en particulier dans des situations complexes, comme indiqué par Harper et al. (1992) et Preux (1994). La nature tactile des strips est très importante. Par exemple, un contrôleur peut tenir un strip en main pendant plusieurs minutes. Le strip joue alors le rôle d'un pense-bête concret qui rappelle au contrôleur qu'il faut intégrer un nouvel avion ou changer le cap de cet avion pour

résoudre un conflit. Écrire physiquement sur les strips aide le contrôleur à mémoriser les instructions qu'il a données. D'après les contrôleurs, l'entrée de données par saisie dans un menu ne permet pas une aussi bonne mémorisation.

Les contrôleurs utilisent également l'information d'arrière-plan afin de gérer les situations. Cette attention périphérique (Heath & Luff, 1991) ou attention situationnelle (Endsley, 1988) est évidente lorsqu'on observe les contrôleurs qui utilisent les strips pour communiquer. Par exemple, lorsque le contrôleur radariste parle au pilote, le contrôleur organique peut attirer son attention en se penchant sur le tableau de strips et en écrivant sur un strip ou, dans des situations très chargées et tendues, en plaçant un strip en travers au-dessus des autres. Étant donné qu'il est très important pour le radariste de toujours parler calmement aux pilotes, de telles formes de communication non verbales sont essentielles.

La nature physique des strips offre une très grande variété de styles d'interaction. Ces styles sont adaptables aux situations et sont partagés par le groupe et l'individu. Par exemple, les contrôleurs à Athis Mons décalent souvent les strips d'avions en conflit, ce qui permet de se rappeler facilement par la suite qu'il y a un problème à gérer.

Le radar fournit une vision dynamique de l'état actuel du trafic aérien. Chaque avion est associé sur l'image radar à une étiquette qui contient les informations sur sa vitesse, sa direction et son niveau. Les strips, en revanche, sont organisés par le contrôleur et contiennent outre des informations similaires à celle de l'étiquette radar, des informations sur le plan de vol prévu. Les informations des strips permettent d'anticiper le trafic. Les contrôleurs vont de l'image radar au tableau de strips et du tableau de strips à l'image radar. C'est à partir de l'association de ces deux représentations qu'ils se construisent une représentation globale qui leur permet de prendre des décisions et d'organiser au mieux le trafic sur leur secteur et pour les secteurs suivants.

Les résultats de cette étude, associés à nos discussions avec les contrôleurs, nous ont conduit à considérer trois manières d'augmenter les strips :

#### *1. Aides mémoires*

Les contrôleurs utilisent les strips pour se souvenir qu'ils devront donner une instruction, prendre une décision plus tard. Ils écrivent sur les strips les instructions données, organisent le tableau de strips et mettent en valeur les conflits. Étant donné que la situation est dynamique, ils doivent constamment ré-évaluer la situation pour trouver la meilleure solution. Les strips constituent un memento passif du système. Nous allons examiner comment on peut augmenter les strips afin d'en faire un memento plus actif, par exemple en attirant l'attention des contrôleurs sur l'image radar pour les vols dont les strips ont été décalés.

## 2. Aides de communication

Les contrôleurs doivent communiquer les uns avec les autres, avec les contrôleurs qui les remplacent lors d'un changement d'équipe ou d'un changement au sein d'une même équipe, avec les contrôleurs des autres secteurs, et avec les élèves. Les strips constituent un médium flexible pour montrer l'information : non seulement les annotations sur les strips, mais aussi l'organisation physique des strips sur le tableau. L'information écrite sur les strips (ou même leurs positions) peut être communiquée à d'autres secteurs.

## 3. Interaction avec outils informatiques

Des outils informatiques tels qu'Erato sont conçus pour aider les contrôleurs à prendre des décisions et à organiser leur temps (Leroux, 1993). Une fonction clef d'Erato est le concept d'agenda, qui permet aux contrôleurs d'avoir une liste temporelle des futurs conflits afin de s'en souvenir et de les gérer de manière optimale. Les strips augmentés pourraient fournir les informations nécessaires pour renseigner Erato et en même temps présenter des informations du même type que celles de l'agenda.

## LES WORKSHOPS

Les workshops sont un moyen important de faire participer les contrôleurs tout au long du processus de conception. Nous sommes intéressés par leurs participation non seulement pour évaluer les idées mais aussi pour générer de nouvelles idées. Lors des workshops sont présentées des technologies existantes ou futures, ainsi que des exemples d'activités réelles issues des observations en salle de contrôle. Ensemble, ces informations servent de base pour des discussions sur la façon d'augmenter les strips papier par la technologie informatique. Des techniques standard de brainstorming sont utilisées pour aider les contrôleurs et les chercheurs à produire de nouvelles idées, qui sont ensuite évaluées par les techniques de prototypage rapide ou des scénarios de conception. Ces derniers sont des exemples issus du monde réel et généralisés ; ils aident à comprendre comment les nouvelles technologies peuvent être utilisées dans le futur.

## Résultats Préliminaires

Nous avons développé pour ces workshops deux méthodes de prototypage qui permettent de faire participer les contrôleurs plus activement :

### 1. Le brainstorming avec vidéo

Le brainstorming est une technique bien connue pour générer des idées. Normalement, les membres d'un groupe donnent leurs idées, qui sont écrites sur un tableau blanc. Une variation est "le brainstorming vidéo", dans lequel le caméscope sert à rendre compte des idées. Chaque fois qu'un participant propose une idée, on essaye de faire un prototype rapide, en utilisant n'importe quel matériau, pour montrer l'idée. Pendant l'enregistrement, le participant décrit à haute voix le fonctionnement imaginé de l'interaction, ainsi que toute idée concernant l'implémentation. Le résultat est un aide-

mémoire des idées produites sous une forme facile à montrer et à comprendre.

### 2. Le prototypage vidéo

La vidéo sert aussi à réaliser des prototypes, en utilisant la technique du magicien d'Oz (Chapanis, 1969). Normalement, la technique du magicien d'Oz est utilisée pour évaluer des prototypes avant de passer à la phase d'implémentation. Les utilisateurs sont placés devant une interface qui ne fonctionne pas réellement. Ils ont néanmoins l'impression qu'elle fonctionne car quelqu'un (dont ils connaissent ou ne connaissent pas l'existence, selon les cas) fait réagir l'interface en fonction de leurs actions.

Notre variante est de simuler l'interface en utilisant la vidéo. La technique utilise deux caméscopes : l'un pour capturer les activités (et les mains) du "magicien" et l'autre pour capturer l'interaction entre l'utilisateur et le moniteur. Le magicien utilise des notes de type Post-Its ou des morceaux de papier déjà imprimés pour simuler l'interface. Il observe l'utilisateur pour pouvoir réagir correctement à ses actions. Par exemple, l'utilisateur peut écrire sur un vrai strip papier et le magicien peut générer un résultat, par exemple afficher l'icone d'un téléphone pour vérifier le changement avec un autre secteur.

Ces deux méthodes nous permettent d'explorer un grand nombre de possibilités de la réalité augmentée sans les implémenter. L'utilisateur peut avoir une bien meilleure expérience de l'interaction que sur une vidéo qui ne ferait que la montrer. Les deux méthodes peuvent être utilisées afin de permettre une approche bidirectionnelle où les utilisateurs peuvent jouer un rôle d'innovateur.

## LE PROTOTYPAGE EN REALITE AUGMENTEE

Pour beaucoup de projets d'automatisation, la modernité passe par le rejet du papier et son remplacement par le clavier et la souris. Or, la modernité ne signifie pas nécessairement le rejet ou la mise entre parenthèse des objets existants et l'informatique ne rime pas nécessairement avec moniteur, clavier et souris. Les différentes études sur la réalité augmentée montrent qu'il existe de nombreuses possibilités en dehors du clavier et de la souris. La réalité augmentée offre en outre une possibilité exceptionnelle de créer quelque chose de complètement nouveau qui reste cependant familier. Cette technique est explorée avec les contrôleurs afin d'imaginer et de réinventer le strip papier tout en lui conservant sa familiarité et en maintenant ses caractéristiques efficaces.

### Comment augmenter ?

1. On peut augmenter les *utilisateurs* : par exemple on pourrait doter les contrôleurs de casques leur permettant de percevoir certains conflits, de communiquer des informations au système ou de voir ce qui se passe dans un autre secteur.

2. On peut augmenter *l'objet* lui-même : par exemple, on pourrait remplacer les strips papiers avec le papier électronique ou l'encre électronique (Negroponte, 1997),

pour avoir les avantages du papier normal et ceux de l'informatique.

3. On peut augmenter l'*environnement* de l'objet et de l'utilisateur (Wellner, 1993; Mackay & Pagani, 1994; Mackay, 1996). Ni l'objet, ni l'utilisateur ne sont alors directement modifiés. Par exemple, on pourrait construire des dispositifs qui permettent d'ajouter des informations supplémentaires sur les strips papiers ou de capturer l'information écrite sur les strips.

Le choix de l'une des ces approches dépend du contexte. La première approche est un peu lourde pour les contrôleurs et la seconde (le papier électronique) n'est pas encore disponible. Nos prototypes utilisent donc la dernière approche pour lier les strips papiers et le système informatique.

## Résultats préliminaires

### 1. Interaction directe strips - radar

La possibilité de lier les strips et le radar est une possibilité à explorer sur laquelle les contrôleurs ont insisté. Ainsi, lorsque le contrôleur pointe un strip, l'étiquette correspondante est spécifiée sur le radar (elle clignote ou change de couleur). Inversement, lorsqu'on pointe un avion sur le radar, le strip correspondant est indiqué (par un clignotement, une lumière ou un changement de couleur).

### 2. Strips semi-transparents

Des solutions techniques ont été envisagées en utilisant notamment la projection d'informations. Par exemple, un contrôleur pointe un strip ou le décale et une petite lumière rouge apparaît sur le strip. Une autre solution générale a été envisagée : la projection par dessous. Les strips sont alors semi-transparents et sont posés sur l'écran, dont le contenu est visible par transparence. Par exemple, un point lumineux apparaît lorsque le contrôleur décale un strip, ou un niveau proposé par un autre secteur s'affiche sur le strip.

### 3. Média space pour les mains

Une amélioration de la communication entre les contrôleurs a été envisagée avec la possibilité de créer un "média space pour les mains". Les contrôleurs choisissent le secteur avec lequel ils veulent parler et pointent sur le strip qui fait l'objet d'une coordination. Ce strip et l'image des mains apparaît alors sur l'écran du secteur contacté avec, par exemple, l'icône d'un téléphone (associée à un bouton OK). Si les contrôleurs du secteur contacté acceptent la coordination, ils appuient sur le bouton OK. S'ils veulent en discuter, ils appuient sur l'icône de téléphone (projetée dans le cas de projection par dessus, affichée à l'écran dans le cas des strips transparents) et une liaison audio ou audio-vidéo s'installe. Cette option a été envisagée comme une solution au sentiment des contrôleurs qu'il y avait une trop grande utilisation (la plupart du temps inutile selon eux) du téléphone.

## CONCLUSION

Comment créer quelque chose de radicalement nouveau qui reste néanmoins familier pour les utilisateurs? La

conception de nouvelles interfaces se heurte à un problème de transfert de technologie. Il faut certes concevoir un produit novateur "élégant" qui marche mais aussi, et surtout, un produit qui soit accepté par les utilisateurs et ne les gêne pas dans leur travail. Les choses qui paraissent familières aux utilisateurs ont souvent une raison d'être très forte. Elles font partie intégrante des habitudes de travail, se sont modifiées dans le temps et sont (souvent) très efficaces. En voulant les enlever pour ajouter ou les remplacer par une nouvelle technologie, on risque de créer des situations critiques où le système ne fonctionne pas.

Ce problème est crucial dans le contrôle aérien. En effet, l'activité des contrôleurs est complexe et difficile et il faut prendre garde de ne pas accroître la complexité de leur travail en le modifiant trop fondamentalement. La réalité augmentée apporte une solution à cette question des relations entre innovation radicale et maintien des habitudes. Elle permet de créer quelque chose de radicalement nouveau tout en le faisant de façon évolutive et en conservant aux artefacts, ici les strips, leur aspect familier. Le rôle des contrôleurs comme innovateurs est essentiel pour pouvoir créer des strips "étrangement familiers" ou "familièrement nouveaux".

L'approche participative associée à la technique de la réalité augmentée autorise les chercheurs à "revisiter" et repenser le réel. Une telle approche nécessite de trianguler aussi bien au niveau des perspectives envisagées qu'au niveau des méthodes choisies : il faut multiplier les points de vue et les méthodes pour rester le plus près du "familier" et ne pas manquer la complexité du réel tout en envisageant des solutions totalement nouvelles.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions l'équipe 9W pour son accueil et sa collaboration. Nous remercions également Lionel Médini, Laurent Frobert, Christophe Mertz, Patrick Lecoanet, et Stéphane Chatty pour leur aide pendant les séances de prototypage et pour leur participation aux workshops. Merci à toutes les personnes du CENA qui ont participé aux workshops. Enfin, merci à Michel Beaudouin-Lafon pour ses nombreux commentaires.

## BIBLIOGRAPHIE

- Barley, S.R. (1986) Technology as an Occasion for Structuring Evidence from Observations of CT Scanners & the Social Order of Radiology Departments *Administrative Science Quarterly*, 31, pp. 77-108.
- Bentley, R., Hughes, J.A., Randall, D., Rodden, T., Sawyer, P., Shapiro, D. & Somerville, I. (1992) Ethnographically-informed systems design for air traffic control. In *Proceedings of CSCW '92, ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work*. (pp. 122-129) Toronto, Ontario: ACM Press.
- Bressolle, M.C., Pavard, B., & Leroux, M. (1995) The role of multimodal communication in cooperation and intention recognition: The case of Air Traffic Control. In *CMC'95, The International Conference on*

- Cooperative and Multimodal Communication: Theory and Applications*. Eindhoven, The Netherlands.
- Card, S., Moran, T., & Newell, A. (1983) *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Carroll, J. (1995) *Scenario-based design. Envisioning work and technology in system development*. NY: Wiley & Sons.
- Chapanis, A. (1969) *Research Techniques in Human Engineering*. Baltimore, MD: Johns Hopkins Press.
- Chin, G., Rosson, M. B. & Carroll, J. (1997) Participatory Analysis : Shared Development of Requirements from Scenarios. In *Proceeding of CHI'97, ACM Conference on Human Factors in Computing*, (pp. 162-169). Atlanta, GA: ACM Press.
- Dertouzos, M. (1990) *Computers and Productivity*. Cambridge, MA: MIT Lab for Computer Science.
- Drury, C. (1983) Task analysis methods in industry. *Applied Ergonomics*. 14 (1), pp. 19-28.
- Endsley, M.R. (1988) Design & Evaluation for Situation Awareness Enhancement. In *Proceedings of the Human Factors Society 32nd Annual Meeting*, 32(1), pp.97-101. Anaheim, CA: Human Factors Society.
- Gaillard, I. (1992) *Analyse de l'activité et des savoir-faire d'opérateurs experts. Le cas des contrôleurs aériens lors du changement de la position de contrôle*. Thèse d'ergonomie - Université Paris Nord.
- Harper, R., Hughes, J., & Shapiro, D. (1991) Harmonious working and CSCW: Computer Technology and Air Traffic Control. In *Studies in CSCW: Theory, Practice and Design*. Bowers & Benford, Eds. North Holland: Amsterdam. pp. 225-235.
- Heath, C. & Luff, P. (1991) Collaborative Activity and Technological Design: Task Coordination in the London Underground Control Rooms. In *Proceedings of ECSCW'91, The European Conference on Computer-Supported Cooperative Work*. Kluwer Press.
- Hopkins, V.D. (1995) *Human Factors in Air Traffic Control*. London: Taylor & Francis.
- Hughes, J.A., Randall, D. & Shapiro, D. (October, 1992) Faltering from Ethnography to Design. In *Proceedings of CSCW '92, ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work*. (pp. 115-122) Toronto, Ontario: ACM Press.
- Kyng, M. & Greenbaum, J. (1991) *Design at Work*. Hillsdale, NJ.: Lawrence Erlbaum.
- Landauer, T. (1996) *The Trouble with Computers*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Leroux, M. (1993) The role of expert systems in future cooperative tools for air traffic controllers. In *Proceedings of the 7th International Symposium on Aviation Psychology*. (pp. 26-29). Columbus, OH.
- Mackay, W. (1988). More than Just a Communication System: Diversity in the Use of Electronic Mail. *Proceedings of CSCW '88: Conference on Computer-Supported Cooperative Work*. Portland, Oregon: ACM.
- Mackay, W. (1990) *Users and Customizable software: A Co-Adaptive Phenomenon*. Doctoral Dissertation, Massachusetts Institute of Technology Cambridge, MA.
- Mackay, W.E. & Pagani, D. (1994). Video Mosaic: Laying out time in a physical space. *Proceedings of Multimedia '94*. San Francisco, CA: ACM.
- Mackay, W. & Bødker, S. (1994) Workshop on Scenario-Based Design. In *CHI'94 Conference Companion.*, Boston, MA: ACM Press.
- Mackay, W. (March 1996). Réalité Augmentée : le meilleur des deux mondes. *La Recherche*, numéro spécial (No. 285) L'ordinateur au doigt et à l'œil.
- Mackay, W. & Fayard, A.L (1997) HCI, Natural Science and Design : A Framework for Triangulation Across Disciplines, *DIS'97 : Designing Interactive Systems*. Amsterdam, Holland.
- Muller, M.J. (1991) PICTIVE: An Exploration in Participatory Design. In *Proceedings of CHI'91, ACM Conference on Human Factors in Computing*, (pp. 225-231). New Orleans, LA: ACM Press.
- Negroponte, N. (1997) Surfaces and Displays. *Wired*, January issue, pp. 212.
- Norman, D. & Draper, S. (1986). *User-Centered System Design*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum Associates.
- Norman, D.A. (1988) *The Design of Everyday Things*. New York, NY: Basic Books.
- Pagani, D. and Mackay, W. (1994). Bringing media spaces into the real world. *Proceedings of ECSCW'93, the European Conference on Computer-Supported Cooperative Work*, Milano, Italy: ACM.
- Poirot-Delpech, S. L. (1995) *Biographie du CAUTRA. Naissance et développement d'un système d'informations pour la circulation aérienne*. Thèse de doctorat de sociologie. Université Paris I.
- Preux, F. (1994) Rôle des strips dans l'activité des contrôleurs. *Sélection Professionnelle IEEAC*. CENA.
- Suchman, L. (1987). *Plans and Situated Actions*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Wellner, P. (1992) The DigitalDesk calculator: Tactile manipulation on a desktop display. In *Proceedings of UIST'92, the ACM Symposium on User Interface Software and Technology*. (Nov 11-13, Hilton Head, SC), ACM, NY.
- Wellner, P., Mackay, W. & Gold, R. (1993) Computer-Augmented Environments: Back to the Real World. Special issue of *Communications of the ACM*, 36 (7).
- Von Hippel, E. (1988) *The Sources of Innovation*. New York, NY: Oxford University Press.
- Zuboff, S. (1988). *In the Age of the Smart Machine*. New York: Basic Books.

