

Etude exploratoire du stylo électronique pour le Contrôle Aérien

Christophe Hurter^{1,2,3}, Paul Edouard^{2,3}, Vincent Gaits^{2,3}, Hasna Nadfaoui^{2,3},
Jérôme Paillet^{2,3}, Catherine Letondal², Stéphane Conversy^{2,3}

¹ DGAC DSNA DTI R&D
7, Avenue Edouard Belin
31055, Toulouse, France

² ENAC
7, Avenue Edouard Belin
31055, Toulouse, France

³ IRIT, Université de Toulouse
118 Route de Narbonne,
Toulouse cedex, France

christophe.hurter@aviation-civile.gouv.fr, paolo.edouard@gmail.com, vincent@gaits.fr, h.nadfaoui@gmail.com,
jerome.paillet@laposte.net, catherine.letondal@enac.fr, stephane.conversy@enac.fr

RESUME

Les systèmes actuellement utilisés par les contrôleurs aériens mêlent des visualisations informatiques (images radar), et des systèmes tangibles, notamment le *strip*, une bande de papier imprimée à chaque entrée d'un vol dans un secteur. Bien que le support papier s'avère robuste, souple et complémentaire de l'image radar, les autorités ont décidé de l'abandonner au profit d'interfaces entièrement informatisées, notamment parce que le papier ne permet pas de renseigner les systèmes informatiques. Dans cet article, nous proposons une étude d'une solution alternative utilisant des stylos hybrides Anoto avec communication continue (streaming). Nous avons observé l'activité de contrôle et réalisé un travail de conception des interactions stylo/papier numérique en coopération avec des contrôleurs. Nous enfin avons réalisé un prototype abouti et fonctionnel incluant de nouvelles fonctionnalités. Cela suggère qu'il est possible de conserver les avantages des outils existants tout en renseignant les systèmes informatiques et en améliorant l'interaction.

Mots clés

Informatique papier, papier augmenté, stylo numérique, papier interactif, interfaces tangibles, visualisation, contrôle aérien, conception participative.

ABSTRACT

Current environment used by air traffic controllers mixes digital visualizations (radar screen), and tangible systems with paper strip. Despite the fact that paper strip are robust, flexible and complementary to the radar screen, authorities decided to abandon it in the profit of digital strip. The main issue of paper strip is that the system does not have access to the information written on it. In this paper, we studied an alternative solution with hybrids Anoto pens with continuous streaming. We first retrieved important tasks performed by air traffic controller, second, we investigated to find out efficient interaction paradigm for their activity. Finally, we developed and assessed an operational prototype with new functionalities. This suggests that it is possible to retain

Permission to make digital or hard copies of all or part of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. To copy otherwise, or republish, to post on servers or to redistribute to lists, requires prior specific permission and/or a fee.

IHM'11, October 24-27, 2011, Sophia Antipolis, France

Copyright © 2011 ACM 978-1-4503-0822-9/11/10 ...\$10.00.

advantages of existing paper strip while informing informatics systems and improving interaction.

Categories and Subject Descriptors

H5.m. Information interfaces and presentation (e.g., HCI):
Miscellaneous.

General Terms

Design, Human Factors.

Keywords

Paper computing, augmented paper, digital pen, interactive paper, tangible interfaces, visualization, air traffic control, participatory design.

1. INTRODUCTION

Le but du contrôle aérien est de maximiser à la fois la sûreté de fonctionnement et la capacité, c'est-à-dire gérer des vols sans compromettre la vie des passagers ou engendrer des retards. Les prévisions montrent que le trafic devrait doubler d'ici 2030 : les systèmes actuels ne seront alors plus adaptés. Aussi, les autorités régulatrices européennes et états-uniennes ont décidé de concevoir de nouveaux systèmes. Les consortia SESAR [13] et NextGen [10], dotés de plusieurs milliards d'euros ou de dollars, visent à changer les matériels, les logiciels, l'organisation de l'espace aérien et les procédures suivies par les contrôleurs humains.

Comme dans toute activité, l'efficacité des contrôleurs dépend de l'efficacité de l'instrumentation de l'activité de contrôle. Les systèmes actuels mêlent des visualisations informatiques (images radar par exemple), et des systèmes tangibles, notamment le *strip papier*, une bande de papier imprimée à chaque entrée d'un vol dans un secteur. Le strip papier contient des informations planifiées pour un vol (sa route par exemple). Bien que le support papier s'avère robuste, souple et complémentaire de l'image radar, les autorités ont décidé de l'abandonner, notamment parce que cette technologie ne permet pas de renseigner le système informatique et ne permet donc pas de bénéficier d'algorithmes d'automatisation potentiels. Les récentes avancées technologiques, comme les écrans multi-touch, semblent leur donner raison car elles permettent d'envisager des systèmes se passant du papier [8], mais l'avènement de telles technologies se fait au détriment des qualités de l'interaction avec le papier. Pourtant, les progrès du stylo numérique et du papier augmenté

permettent d'envisager leur utilisation dans le cadre du contrôle aérien. En d'autres termes, le futur a changé : des technologies, comme le papier, que l'on croyait dépassées redeviennent d'actualité, et peuvent à nouveau faire partie de l'ensemble des techniques visant à améliorer l'instrumentation de l'activité des contrôleurs.

Cet article présente une étude de l'utilisation de stylos hybrides Anoto¹ avec communication continue (streaming) pour le contrôle aérien. Nous avons observé l'activité de contrôle et réalisé un travail de conception des interactions stylo/papier numérique en coopération avec des contrôleurs. Notre objectif est de renseigner le système tout en supportant réellement et efficacement l'activité des contrôleurs et ainsi répondre à la question « comment un système Anoto peut-il améliorer l'interaction par rapport aux systèmes usuels ou par rapport aux systèmes informatiques alternatifs ? »

Dans la première partie de cet article, nous introduisons l'activité de contrôle et le système actuel. Puis nous présentons une analyse de l'activité, focalisée sur les transitions entre les visualisations à disposition des contrôleurs, de laquelle nous tirons des besoins. Enfin nous détaillons les interactions que nous avons conçues, ainsi qu'une évaluation préliminaire.

2. LE CONTROLE AERIEN ET SON EVOLUTION

Dans cette section, nous décrivons brièvement les tâches des contrôleurs « en-route » (par opposition à « en approche » ou en « tour »), en nous concentrant sur les transitions entre les visualisations. Nous expliquons ensuite les raisons qui ont poussé à l'abandon des systèmes actuels, et des problèmes que cet abandon soulève.

2.1 Outils et procédures traditionnels de contrôle

L'activité des contrôleurs « en route » consiste principalement à maintenir une distance de sécurité entre avions. Pour cela, l'espace aérien est divisé en secteurs, chacun des secteurs étant sous la responsabilité d'une paire de contrôleurs. Quand un vol traverse un secteur, les contrôleurs guident le pilote en lui donnant des ordres (clearances) de cap, de vitesse ou d'altitude, jusqu'à ce que le vol atteigne un secteur adjacent, où d'autres contrôleurs prennent la responsabilité du vol en question.

Dans un environnement typique, deux contrôleurs sont assis devant une Position de Contrôle, spécialement conçue pour appuyer leur activité. Une position de contrôle traditionnelle comprend un ensemble de sous-systèmes principaux : deux écrans radar (un pour chaque contrôleur), et un tableau horizontal servant de support physique aux strips partagé par les deux contrôleurs [17].

2.2 Qualités du papier

De nombreux chercheurs ont souligné l'importance des strips dans l'ATC [21] [16]. L'utilisation de l'outil papier/stylo offre une grande flexibilité et une grande efficacité, tant sur le plan de l'organisation de l'espace de travail, que sur le format ou la

procédure. Cette flexibilité permet aux contrôleurs de s'affranchir en partie de certaines règles contraignantes de remplissage des strips papier nécessaire à la fluidité et l'efficacité des interactions [11]. Le papier est également un support de communication aisé : il peut être lu, transmis, voire écrit par plusieurs personnes en même temps. A travers le strip, on ne communique d'ailleurs pas seulement des informations : l'échange d'un strip entre deux contrôleurs représente la transmission de la responsabilité du vol. C'est la liberté de mouvement qui rend fluide ce partage. Elle permet aussi d'adapter l'organisation spatiale des strips sur le tableau, même si celle-ci est précisément définie par les procédures et la culture de tel ou tel centre de contrôle [16]. Le papier est aussi un moyen de travail beaucoup plus sûr qu'un outil informatique, dans le sens où il ne tombe pas en panne (c'est un argument des détracteurs du stripping électronique), d'autant plus que le tableau de strips réifie une procédure qui permet au contrôleur de construire une représentation mentale du trafic aérien indépendante des outils utilisés.

2.3 Problèmes du papier

Même si le papier dispose de nombreux avantages par rapport au numérique, il n'en conserve pas moins des défauts. Le strip ne peut servir ni de dispositif d'entrée, ni de dispositif d'affichage dynamique. D'une part, même si les représentations strip et image radar sont deux vues sur les mêmes informations [9], et même si des liens existent entre ces deux représentations à travers les divers identifiants (vol, balise, ...), ces liens ne sont pas explicites, ce qui rend difficile le passage d'une vue à l'autre. D'autre part, dans le cas du contrôle aérien, l'entrée d'information est souvent redondante : certaines inscriptions portées sur les strip doivent être reportées sur l'image radar (par exemple particulariser un avion sur le strip et l'écran radar).

Par ailleurs, dans le but d'accroître la capacité de manière significative, les programmes SESAR et NextGen promeuvent l'automatisation de la surveillance de la séparation entre avions [13] [10]. Cependant, la précision et l'efficacité de la séparation automatique dépendent de la mise à jour de la connaissance par le système des trajectoires prévues et modifiées. L'interaction usuelle, à base de papier/stylo et de parole au micro, ne fournit pas au système les modifications et les ordres des contrôleurs. C'est ce qui a conduit à des projets visant à remplacer le papier/stylo et la parole par des outils informatiques.

Le projet Cameleon [16] a montré l'intérêt de conserver les strips papier et de créer des liens entre strips et systèmes informatiques. Ce projet s'appuyait sur des technologies non abouties en termes de fiabilité et d'efficacité. Aujourd'hui, le stylo numérique est une technologie arrivée à maturité qui permet de communiquer efficacement avec les systèmes informatiques. Cameleon a exploré en largeur les différentes techniques et services envisageables pour des strips « connectés » au système informatique. Notre travail est une étude en profondeur de l'une de ces technologies : les stylos Anoto, avec communication continue des actions du stylo.

¹ <http://www.anoto.com>

3. ETAT DE L'ART

Notre approche s'apparente au stripping électronique, ainsi qu'aux travaux sur les vues multiples et sur l'informatique papier.

3.1 Stripping électronique

Quelques projets de recherche ont eu pour but de concevoir des systèmes de stripping électronique cherchant à préserver la qualité de l'interaction avec le papier. DigiStrips [20] est un prototype qui utilise deux écrans tactiles résistifs (un par contrôleur). L'un des objectifs de ce projet était de proposer une interaction proche de celle offerte par le papier (dessin libre par ex.), tout en renseignant le système avec les ordres écrits. Ainsi, les auteurs ont pris un soin particulier à concevoir des interactions et retours graphiques, de façon très détaillée. ASTER [3] est un projet similaire utilisant des tablettes² et une interaction avec un stylet. Enfin, SmartStrip, une version de Digistrip (stripping électronique) vient d'être installée dans les centres de contrôles en Angleterre.

3.2 Vues multiples

Comme nous l'avons vu, le système de contrôle en route est composé de sous-systèmes, donc de vues différentes et séparées représentant les mêmes données [9]. En tant que telles, elles sont sujettes aux mêmes problématiques que celles des vues multiples en visualisation d'information [1]. Le système que nous envisageons ne remet pas en cause la nature de ces vues, mais cherche à les adapter. Il n'est soumis qu'à la problématique suivante parmi celles de [1] : comment passer d'une vue à l'autre (notamment retrouver une entité de la vue A dans la vue B, appelé *linking*). Les systèmes ASTER [3], MAMMI [8] et Cameleon [16] permettent aux utilisateurs de repérer des vols sur l'image radar, à partir d'une interaction sur le strip correspondant.

3.3 Informatique papier

L'informatique papier (*paper computing*) s'intéresse à la combinaison du papier et de l'électronique : intégration de contenu manuscrit dans des systèmes électroniques ou plus généralement manipulation de documents électroniques et interactions à partir du papier [23] [24], notamment par l'intermédiaire d'un stylo numérique. Les approches varient en termes de types d'utilisation, de techniques d'interaction et de modes de visualisation de contenus hybrides. La co-visualisation de contenus hybrides permet de juxtaposer ou de mélanger documents numériques ou tracés manuscrits de plusieurs manières superposées, par exemple en projetant des informations sur le papier [22], adjacente [15] ou par co-indexation temporelle [14]. L'affichage d'informations manuscrites dans l'image radar relève donc du mode adjacent. Différents traitements du tracé ont été proposés, depuis le non-traitement, où le tracé est restitué et intégré numériquement tel quel jusqu'à la reconnaissance de caractères (LiveScribe), de gestes (comme pour tagger les documents [15]) ou de formes, notamment pour les applications de sketching. L'interaction peut être continue avec un système de streaming [22], embarquée sur le stylo [22], ou encore différée [25]. Dans notre projet, nous utilisons le streaming pour pouvoir renseigner immédiatement le système des actions effectuées au stylo.

4. METHODOLOGIE

Nous avons effectué une étude de l'activité du contrôle aérien en utilisant des méthodes classiques participatives de l'IHM, avec une étude ethnologique basée sur des observations, suivie de la génération de scénarios de travail réalistes, ainsi que des séances de brainstorming et de conception.

4.1 Etude de l'activité

La prise de connaissance des règles de travail au travers les livrets de formation du contrôle aérien, comme la tenue de strip et la phraséologie, a dû être complétée par une observation de l'activité réelle du contrôleur. En effet, l'application des procédures donne lieu à de nombreuses variations d'un centre de contrôle à l'autre. De plus, les méthodes de travail des contrôleurs ayant évolué régulièrement avec la mise en opérationnel de nouveaux systèmes informatiques, les études ethnographiques précédentes [5] [16] devaient être complétées. Trois séances d'observation ont été effectuées avec neuf contrôleurs confirmés (avec plus de 5 ans d'expérience) dans le cadre de séances de formation avec du trafic aérien simulé (dans les salles de simulation du centre de contrôle en route de l'ENAC). A l'issue de chaque séance d'observation, nous avons posé des questions pour éclaircir certains points techniques comme les différences entre la théorie des livrets et leur application, ou encore pour nous aider à identifier les tâches réalisées par les contrôleurs qui semblent difficiles (forte charge cognitive) ou qui sont des facteurs de risque pour la sécurité du trafic aérien (par exemple les phases de détection de conflit entre avions).

Nous avons axé les séances sur l'observation en profondeur de l'activité des contrôleurs au regard des interactions entre l'écran radar et le tableau de strip (*linking*, *homing* de Keystroke [7] et dans une moindre mesure la *collaboration*).

4.2 Résultats et scénarios de travail

Nos observations confirment celles des études précédentes [16], concernant notamment la tenue du strip qui peut changer en fonction de la charge de travail, le placement des strips variant d'un centre à l'autre ou la tangibilité des strips qui sont souvent le support d'une communication non verbale (le geste de transmission d'un strip entre contrôleurs porte parfois une information : le strip peut être posé délicatement ou encore « jeté » en travers sur le tableau de strips).

Plus spécifiquement, nous avons observé un certain nombre de tâches récurrentes :

- recherche d'un avion sur l'écran radar. Cette activité est la plus fréquente, par exemple lors de l'intégration d'un nouvel avion par le contrôleur aérien lorsque son strip est imprimé. Le contrôleur doit alors lire le nom de l'avion sur le strip et le chercher sur l'écran radar,
- calcul de distance entre avions et estimation de la distance minimale dans le cas d'un croisement,
- message de clairance à un avion (changement de cap, niveau de vol ou vitesse) et ainsi renseigner les systèmes informatiques avec l'image radar,
- particularisation d'un avion (message d'alerte, texte libre..).

Ces tâches peuvent être instrumentées plus efficacement par l'utilisation du papier augmenté.

² LCD WACOM

4.3 Workshops, design walkthrough et prototype

A l'aide de ces scénarios de travail, une séance de brainstorming a été réalisée avec trois autres contrôleurs aériens confirmés et deux chercheurs en IHM. Pendant cette séance, les caractéristiques techniques du papier augmenté ont été expliquées, puis nous avons validé les scénarios choisis, et nous avons étudié des paradigmes d'interactions avec le papier augmenté. A l'issue de cette séance, nous avons réalisé des prototypes du logiciel qui ont été évalués dans une séance de *design walkthrough* [18] avec deux autres contrôleurs aériens confirmés. Enfin, nous avons réalisé un prototype opérationnel que nous avons évalué au cours de séances de test filmées avec deux contrôleurs, qui ont également rempli un questionnaire.

5. BESOINS, EXIGENCES

Les observations in situ, la séance de brainstorming, et le design walkthrough nous ont permis de synthétiser les besoins (B) et exigences (E) pour instrumenter efficacement l'activité du contrôleur aérien avec la technologie Anoto.

B1 : renseigner les systèmes informatiques avec les actions des contrôleurs aériens

Certaines procédures réalisées par les contrôleurs aériens demandent de renseigner à la fois les systèmes informatiques (par le biais de l'image radar) et les strips en les annotant. C'est par exemple le cas de la particularisation d'un avion : le contrôleur utilise la souris pour mettre le nom de l'avion d'une certaine couleur dans l'image radar et inscrit un « P » sur son strip. Ce mécanisme peut entraîner des oublis ou des incohérences entre la représentation du trafic donnée par les strips et celle fournie par l'écran radar. Renseigner le système est une procédure coûteuse en temps car elle doit être faite pour chaque système (écran radar, système de gestion des plans de vol, contrôleurs).

B2 : améliorer l'efficacité pour la réalisation des actions du contrôleur aérien

Nous avons relevé des tâches redondantes et coûteuses, tant au niveau cognitif qu'au niveau temporel. Les objectifs de ces tâches doivent être intégrés au nouveau système et les tâches doivent être réalisées de manière plus rapide qu'avec le système précédent. Par exemple, le temps de passage d'un outil de travail à un autre (passage du stylo et de l'annotation des strips à la souris pour interagir avec l'écran radar) est apparu lors des observations comme une perte de temps.

B3 : faciliter le passage entre visualisations

Les contrôleurs passent très fréquemment de la visualisation fournie par les strips à la visualisation fournie par l'écran radar. L'activité la plus courante est la recherche de la correspondance entre la comète radar (positions passées et courante de l'avion) et le strip papier du même avion (*linking*). Ces changements fréquents obligent les contrôleurs à déplacer leur attention et leur centre d'intérêt d'une visualisation à une autre et de rechercher un objet d'intérêt (*scanning*) [9]. Notre système s'attachera donc à faciliter ces passages entre visualisations.

B4 : assurer la collaboration entre contrôleurs

Les contrôleurs aériens travaillent en collaboration sur leur poste de travail. Les strips circulent entre les contrôleurs ; ils peuvent être analysés et annotés par chacun d'eux. Le système doit conserver les qualités du papier pour appuyer la collaboration.

E1 : respecter la méthodologie de travail actuelle

Dans le domaine du contrôle aérien, toute modification matérielle ou méthodologique a un coût très élevé en termes de développement et de vérification pour assurer les exigences de sécurité. Les utilisateurs, en général, sont aussi très réticents à tout changement entraînant de fait une phase d'apprentissage qui peut être pénalisante (augmentation de la charge cognitive, et nouveaux facteurs de risques identifiés et non identifiés pour l'activité).

L'utilisation du stylo numérique permet de conserver l'ensemble des outils de travail des contrôleurs. En effet, ceux-ci utilisent déjà un stylo pour annoter leurs strips. Bien que l'aspect du stylo Anoto diffère légèrement de celui d'un stylo classique (diamètre plus large, etc...), sa prise en main reste similaire. De plus, le format des strips n'est pas modifié par l'augmentation du papier : seule une trame doit être imprimée au préalable, affectant très peu leur rendu visuel avec un léger voile gris. Enfin, la méthodologie de contrôle, les différents symboles, notations et codes couleurs théoriques, ou observés peuvent être conservés.

6. DESCRIPTION DU SYSTEME

Suite à notre démarche d'analyse et de conception, plusieurs interactions ont été implémentées dans un prototype fonctionnel. Ce prototype a été réalisé en C# avec le langage .net 2.0 qui permet de s'interfacer très simplement avec les bibliothèques du constructeur Anoto. Nous avons utilisé le bus logiciel IVY [6] pour faire communiquer les modules logiciels du prototype (gestion du stylo, écran radar, reconnaissance d'écriture).

Dans cette partie, nous décrivons nos choix de design et d'interaction (I) pour l'implémentation de fonctions qui respectent les besoins et contraintes précédemment détaillés.

I1 : sélection d'un avion sur l'écran radar à partir de son strip

Avec les outils traditionnels, pour trouver un avion sur son écran radar à partir de son strip, le contrôleur aérien doit lire la route de l'avion sur le strip et évaluer mentalement sa position réelle en fonction de l'heure courante. Avec notre système, le contrôleur pointe, avec son stylo, la case information du strip ce qui déclenche une animation sur l'image radar avec un cercle qui rétrécit et se centre sur l'avion sélectionné [2] (Figure 1).

Cette fonction permet de réaliser une correspondance entre deux visualisations de l'espace aérien (B2 : visualisations par les strips et visualisations par l'image radar).

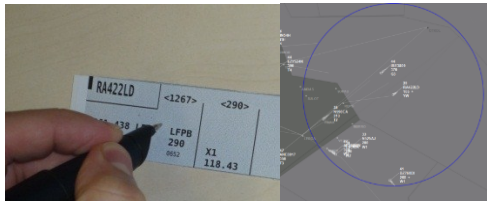


Figure 1 : sélection d'un avion : le contrôleur pointe la case information du strip, ce qui déclenche une animation sur l'image radar avec un cercle qui rétrécit et se centre sur l'avion.

I2 : particulariser un vol sur l'écran radar

Pour particulariser un vol, le contrôleur doit aujourd'hui utiliser la souris et ouvrir un menu contextuel sur la vue radar puis sélectionner le type de particularisation (particularisation simple ou warning). Dans le cas du warning, il doit inscrire la lettre W sur le strip.

Avec le stylo Anoto, le contrôleur peut directement particulariser un avion en écrivant un « P » dans la case d'informations ou un « W » dans un des cases de route (Figure 2). Le système de reconnaissance d'écriture détecte la lettre inscrite. Ces fonctions permettent d'améliorer l'efficacité de l'application par rapport à l'ancien système en éliminant le temps de « homing », c'est-à-dire le temps que le contrôleur met pour passer du stylo et de son tableau de strip à sa souris et son image radar. Elles permettent ainsi au contrôleur de ne pas avoir à changer d'outil de travail (B2). De plus, certaines de ces actions (comme l'écriture du « W » sur le strip) sont déjà des actions intégrées dans les procédures de contrôle et ne nécessitent aucun apprentissage de la part de l'utilisateur (E1). La mise en place de ces fonctions permet aussi d'assurer une cohérence entre la tenue du strip et l'image radar (B1), ce qui permet d'éviter les erreurs et les incohérences entre les informations présentes sur le tableau de strip et sur l'image radar.



Figure 2 : particulariser un vol.

Lors du design walkthrough, deux autres modes d'interaction différents avaient été proposés pour ces fonctions : l'impression de zones associées à une fonction (équivalant à des « boutons ») directement sur le strip, et la création d'une feuille annexe servant de barre de commande. Mais ces choix de design ne permettent pas de respecter E1 (garder l'existant), et allongent la durée de l'action de pointage.

I3 : modification du niveau de vol d'un avion pour l'échange entre secteurs de contrôle

La « ModS » consiste à modifier l'altitude de vol pour le transfert d'un avion au secteur de contrôle suivant. Cette modification permet d'imprimer sur le secteur suivant le strip avec la bonne altitude de vol de l'avion.

Comme pour la particularisation d'un vol, le contrôleur doit utiliser la souris pour effectuer une ModS sur l'écran radar. Avec le stylo Anoto, il suffit d'écrire le nouveau niveau de vol dans la case correspondante. Pour cette interaction, il est nécessaire de produire un feed-back pour confirmer à l'utilisateur que le système a effectué correctement la reconnaissance d'écriture et la mise à jour du système. L'étiquette radar est ainsi modifiée en affichant le nouveau niveau de coordination (Figure 3). Cette interaction, comme I2, respecte B1, B2 et E1.

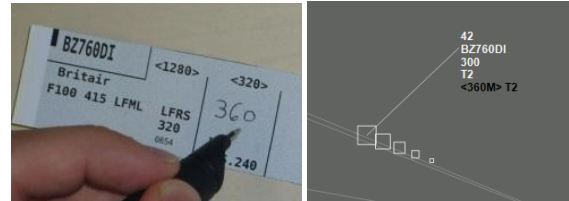


Figure 3 : Mods, modification du niveau de vol de coordination entre secteurs.

I4 : calcul de distance entre avions

La distance entre deux avions est régulièrement calculée pour détecter les conflits. Le contrôleur doit connaître la route de chaque avion et calculer en fonction de leur vitesse le point de croisement. Cette action est facilitée par l'utilisation du strip Anoto : le contrôleur pointe séquentiellement la même balise sur deux strips. L'image radar affiche alors la route des deux avions avec l'indication de distance en rouge au point de passage sur la balise. Cette fonction est « non intrusive » : elle ne fait que présenter des informations au contrôleur et le laisse juge de la détection des conflits potentiels (E1). Elle permet aussi un gain de temps (B2) dans l'évaluation des conflits, en fournissant les différentes informations au contrôleur sans avoir besoin de changer d'outil (prendre la souris pour utiliser l'outil de mesure de distance sur l'écran radar) ni de faire de calculs mentaux.

I5 : écriture d'un texte d'information sur le strip

D'après nos observations, les contrôleurs utilisent le strip comme support pour mémoriser des informations : « problème technique », « passager malade »... A l'aide du stylo numérique, les informations manuscrites inscrites dans une case vide du strip apparaissent automatiquement sur l'image radar et ainsi être partagées par plusieurs contrôleurs (Figure 4).



Figure 4 : le contrôleur inscrit du texte libre sur le strip.

Cette interaction ne modifie donc pas les méthodes de travail (E1). L'échange d'informations entre contrôleurs de secteurs différents se fait aujourd'hui par l'intermédiaire du téléphone. En permettant de conserver sur l'image radar les informations manuscrites, cette interaction permet une communication facilitée entre les centres de contrôle (B4).

I6 : alarmes différées

Les alarmes différées n'existent pas dans le système actuel. Ce concept permet aux contrôleurs de déléguer la mémorisation de certains évènements comme « ne pas oublier de rappeler un avion lorsqu'il va entrer dans un secteur ... ».

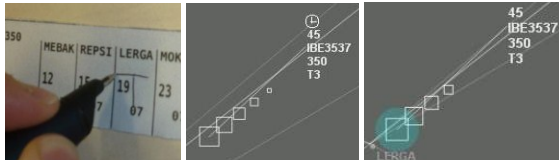


Figure 5: le contrôleur inscrit la lettre T pour définir une alarme lorsque l'avion approchera la balise LERGA.

Pour définir une alarme, le contrôleur inscrit un T (pour *timer*) dans une case du strip qui contient le nom d'une balise (Figure 5, gauche). Un symbole dans l'étiquette radar de l'avion indique qu'une alarme a été définie et lorsque l'avion approchera de cette balise Figure 5, milieu), un cercle bleu va entourer la comète radar (Figure 5, droite). En déléguant la planification de ces tâches au système, le contrôleur diminue sa charge cognitive (B2).

I7 : filtrage des avions par niveau de vol

Actuellement, pour détecter des conflits potentiels entre avions, les contrôleurs effectuent mentalement du filtrage par altitude à l'aide des informations contenues sur les strips. La réalisation informatique d'un tel outil a été proposée lors du premier brainstorming.

Pour utiliser cet outil dans le prototype, l'utilisateur doit pointer, avec son stylo la case « niveau de vol » d'un strip. Ainsi, tous les avions qui ne volent pas à la même altitude que celui pointé par l'utilisateur sont grisés. Ce design utilise les principes établis par Wheelie [4] avec l'affichage en gris au milieu de l'écran des niveaux de vol filtrés. Nous avons amélioré ce design en ajoutant des flèches qui s'affichent lorsqu'un avion filtré est à l'extérieur de l'écran radar, ce qui est particulièrement utile pour prendre en compte les avions non visibles qui vont entrer dans le secteur. L'utilisateur peut aussi modifier les valeurs du filtrage en traçant un trait vers le haut ou vers le bas. La plage du filtre évolue en fonction de la longueur et de la direction du trait (Figure 6). Cette interaction permet d'améliorer l'efficacité du contrôleur pour analyser les strips (B1).

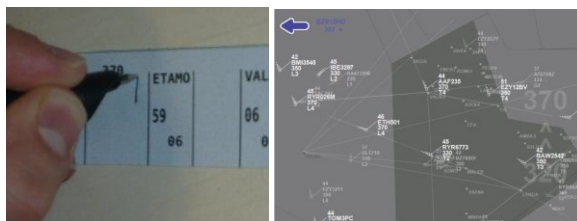


Figure 6 : filtrage des avions par niveaux de vol. L'utilisateur trace un trait vers le haut pour filtrer les niveaux supérieurs.

I8 : écriture manuscrite du nom de l'avion sur l'étiquette radar

Dans le cas d'un avion dont le plan de vol est non renseigné, l'étiquette radar affiche uniquement le code transpondeur de l'avion (identifiant sur quatre digits) à la place de son nom usuel

(nom de l'avion avec sa compagnie). Le contrôleur doit alors faire un certain nombre de manipulations à la souris et au clavier pour mettre à jour ces informations. A l'aide du stylo Anoto, le contrôleur peut inscrire ces informations sur le strip vierge de l'avion et ainsi voir apparaître le nom de l'avion en écriture manuscrite dans l'étiquette radar (Figure 7). L'utilisation du texte manuscrit (E1) permet de ne pas utiliser de système de reconnaissance d'écriture, et donc d'éviter des erreurs d'interprétation. La méthode de travail actuelle est conservée (E2).

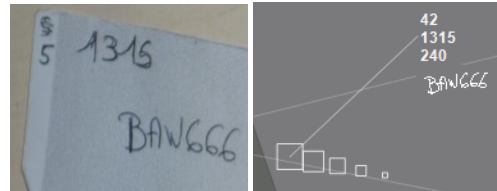


Figure 7: le contrôleur inscrit le nom de l'avion en écriture manuscrite dans l'étiquette radar.

7. EVALUATION DU PROTOTYPE FONCTIONNEL

Une évaluation a été réalisée avec deux contrôleurs aériens en utilisant du trafic simulé et un scénario de travail guidé. Il était demandé aux contrôleurs d'effectuer des tâches de contrôle avec les outils traditionnels, puis la même tâche avec le stylo Anoto. Les évaluations ont été filmées. Les retours d'utilisateurs ont été recueillis par des questionnaires d'évaluation.

Le Tableau 1 résume les résultats des questionnaires remplis par les deux contrôleurs (C₁ et C₂) pour évaluer les fonctionnalités implémentées avec le classement de leur intérêt (1 pour le plus intéressant) et du niveau de satisfaction concernant leur implémentation (++ pour le plus satisfaisant). Le Tableau 1 reporte les commentaires des contrôleurs à l'issue des tests.

Tableau 1 : classement des fonctions par les contrôleurs.

fonction	classement		satisfaction	
	C ₁	C ₂	C ₁	C ₂
I1 : sélectionner un avion	1	1	++	+
I7 : filtrage par niveaux	7	3	-	+
I3 : ModS	3	4	+	+
I5 : saisie d'une information	5	5	-	+
I2 : warning	4	9	+	-
I4 : calcul de distance	9	2	--	++
I2 : particulariser	2	8	++	++
I6 : alarmes différées	8	6	-	+
I8 : changement d'étiquette	6	7	-	+

D'une manière générale, les contrôleurs ont particulièrement apprécié que l'utilisation du stylo ne modifie pas exagérément leurs méthodes de travail et permet même de la simplifier. Cependant, les choix initiaux de design de l'affichage ont dû être atténués pour conserver une certaine sobriété de l'image radar. Ainsi, les animations et les couleurs saturées doivent prioritairement être utilisés pour signaler des alertes et des

situations dangereuses (I1, I2, I5, I7, I8). Certaines contraintes techniques ont été jugées contraignantes comme la faiblesse de la reconnaissance de geste et le manque de feedback sur le succès des actions du stylo. Aussi, un feedback sonore a été ajouté pour la deuxième séance d'évaluation, ce qui a permis au contrôleur de prendre plus rapidement confiance avec le système. En contrepartie, les sons produits deviennent rapidement gênants et devront sans doute être reconçus. Les contrôleurs ont unanimement apprécié la sélection d'un avion sur l'écran radar à partir de son strip (I1) : elle leur fait économiser du temps et diminue leur charge cognitive. Lors des tests, les contrôleurs ont proposé d'autres utilisations similaires : désignation d'un avion à un autre contrôleur, ou aide aux contrôleurs en formation pour connaître un secteur.

Tableau 2 : remarques sur les fonctions implémentées.

Fonctions	remarques
I1 : sélectionner un avion	L'animation du feedback doit être plus rapide.
I2 : filtrage par niveaux	Texte du filtrage des niveaux trop présents sur l'image radar.
I3 : ModS	Réduire le feedback et se contenter de le mettre autour de l'avion /balise seulement.
I4 : saisie d'une information	Information trop présente et cache une partie de l'image radar.
I5 : warning	Problème de reconnaissance du caractère « W ».
I6 : calcul de distance	La distance minimale de séparation n'est pas une simple différence de distances. Les couleurs utilisées pour l'affichage des routes sont inappropriées.
I7 : particulariser	Pas de remarque.
I8 : alarmes	Feedback jugé exagéré par rapport à l'intérêt qu'il présente.
I9 : changement d'étiquette	Ne ressemble pas à une étiquette « normale ».

La fonction de filtrage par niveau de vol (I2) n'a pas fait l'unanimité parmi les deux contrôleurs. Ceci s'explique par la différence de leurs méthodes de travail. Un contrôleur préfèrait faire du filtrage directement sur l'écran radar (I2 est alors apprécié), l'autre utilise principalement les strips (I2 est alors peu utile). I7 (particulariser) a été appréciée. Mais la reconnaissance d'écriture à moins bien fonctionnée avec un utilisateur, ce qui explique la différence des classements. Les alarmes temporelles (I8) sont basées sur les estimées de passages aux balises. Bien que ce système ne soit pas très précis, il a été jugé suffisant par les contrôleurs, car il n'a aucun impact sur la sécurité des vols. L'affichage dans l'étiquette radar d'informations manuscrites a tout d'abord été refusé par les contrôleurs sous prétexte que la vue radar allait perdre son caractère codifié. Avec un design moins prégnant (petite étiquette, pas de couleur de fond), cette fonctionnalité a été mieux reçue. Lorsque le contrôleur effectue des actions sur le strip avec le stylo Anoto (e.g. sélectionner un avion, changer le niveau de filtrage...), une trace écrite est laissée. La succession des actions finit par altérer le strip et a été jugé

comme un problème potentiel pour une tenue claire du strip. Ce problème est connu : une solution proposée serait d'utiliser un stylo avec deux mines, une qui laisse de l'encre et l'autre non, mais cette solution nécessiterait une modification matérielle et un changement de mode physique (écriture ou non).

8. DISCUSSION

Une des hypothèses forte du projet, qui nous a servi de fil directeur tant durant la phase d'observation que pour les choix de conception, est le double besoin de combler le fossé entre media, et de combler le fossé entre les représentations radar et strips. C'est à ce double besoin que répondent les interactions de sélection et de particularisation d'un vol, de changement de niveau, de filtrage et de calcul de distance où le strip devient non plus seulement un outil de gestion du processus de contrôle, mais aussi un lien sélectif avec l'image et le système informatique, interactions pour lesquelles le stylo se révèle un bon dispositif de pointage. Pour certaines interactions, ce lien est potentiellement d'autant plus « direct » et économique qu'il résulte d'une action d'écriture qui aurait lieu de toutes manières pour la maintenance du strip (par exemple la ModS). Ce gain, en terme d'efficacité (moins d'opérations complexes et redondantes), se traduit par un mélange potentiel entre les deux représentations : ainsi, l'entrée manuscrite de vignette atteint le « sanctuaire » de l'image radar. Cet aspect devra sans doute être discuté au regard des besoins des contrôleurs : la séparation des représentations est-elle seulement un reliquat historique (l'image radar s'est rajoutée au tableau de strips), ou correspond-elle à un besoin fonctionnel consistant à dissocier les vues, l'une nette, objective et disposée géographiquement (l'écran radar), l'autre (le tableau de strips) orientée vers la gestion de la tâche et la collaboration, supportant l'information informelle, et disposée selon la logique des opérations ? Une réaction de rejet d'un des contrôleurs ayant participé à l'étude à l'idée de note manuscrite affichée sur l'image radar, déclarant que cela pourrait « salir » l'écran.

9. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En terme de contribution, ce projet combine l'intégration de contenu manuscrit/numérique avec reconnaissance d'écriture, la co-visualisation (disjointe) et la commande à partir du papier. Dans le domaine du contrôle aérien, il complète la démarche initiée dans le cadre du projet Cameleon [16] qui ne disposait pas des technologies adéquates au moment de sa publication. Sans avoir encore implémenté tous les scénarios qui étaient imaginés, ce projet propose un prototype abouti et fonctionnel qui permettra d'explorer et d'évaluer les interactions papier/ordinateur dans le détail. Il propose également de nouvelles interactions, telles que l'alarme différée ou les interactions multi-strips de calcul de distance. Enfin, comparé aux approches de striping électroniques (Digistrip, Aster) qui mettent en œuvre une représentation de type strips électroniques respectueuse de la tâche du contrôleur, ce projet représente une alternative effective à laquelle ces systèmes pourront se comparer, notamment sur le plan de la collaboration et de la gestion de la tâche.

Nous allons axer nos travaux futurs sur une étude plus fine des transitions entre visualisations en fonction des tâches utilisateurs, en distinguant plus spécifiquement celles qui partent de l'écran radar et celles qui partent du tableau de strips. D'autre part, il nous faut explorer de meilleures solutions de feedback des actions réalisées à l'aide du stylo (retour visuel, audio, haptique, ...).

10. BIBLIOGRAPHIE

- [1] Michelle Q. Wang Baldonado, Allison Woodruff, and Allan Kuchinsky. 2000. Guidelines for using multiple views in information visualization. In Proc. of the working conference on Advanced visual interfaces (AVI '00). ACM, New York, NY, USA, 110-119.
- [2] Baudisch P., Rosenholtz, R. Halo: a technique for visualizing off-screen objects. In Proc. of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems (CHI '03). ACM, New York, NY, USA, 481-488.
- [3] Benhacene, R., Hurter, C., Marion, A., Merlin, B., Rousselle, M.P., Ribet, P., Tackling the problem of flight integration. 7th ATM seminar Barcelone 2000.
- [4] Bering, H., WHEELIE - a mobile horizontal display filter to ease controller's separation task. Digital Avionics Systems Conference, 2004. DASC 04. 2004.
- [5] Bisseret, A., représentation et décision experte – psychologie cognitive de la décision chez les aiguilleurs du ciel, 1995, Editions Octares, ISBN 2-906769-22-3.
- [6] Buisson, M., Bustico, A., Chatty, S., Colin, FR, Jestin, Y., Maury, S., Mertz, C., Truillet, P. Ivy: un bus logiciel au service du développement de prototypes de systèmes interactifs. Conférence Francophone sur l'Interaction Homme-Machine. (IHM '02).
- [7] Card, S.K, Moran, T.P., Newell, A. The keystroke-level model for user performance time with interactive systems. Commun. ACM 23, 7 (July 1980).
- [8] Conversy, S., Gaspard-Bouline, H., Chatty, S., Valès, S., Dupré, C., Ollagnon, C. Supporting Air Traffic Control Collaboration with a TableTop System. In CSCW '11: Proc. of the 2011 ACM international conference on Computer supported cooperative work
- [9] Conversy, S., Hurter, C., Chatty, S. A Descriptive Model of Visual Scanning. In Proc. of the 2010 Conference on Beyond Time and Errors: Novel Evaluation Methods For Information Visualization.
- [10] Erzberger, H. Transforming the NAS: The Next Generation Air Traffic Control System. NASA/TP-2004-212828, Oct. 2004.
- [11] Harris, J., Henderson, A., A better mythology for system design. In Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: the CHI is the limit (CHI '99). ACM, New York, NY, USA, 88-95.
- [12] Kaplan, F. and Jermann, P. 2010. PaperComp 2010: first international workshop on paper computing. In *Proceedings of the 12th ACM international conference adjunct papers on Ubiquitous computing* (UbiComp '10). ACM, New York, NY, USA, 507-510.
- [13] Ky, P. and Miaillier, B. 2006. SESAR: towards the new generation of air traffic management systems in Europe. In *ATCA Journal of ATC Quarterly*, 14(1).
- [14] Letondal, C., Mackay, W.. L'écriture augmentée: enregistrer des explorations interactives avec une feuille de données scientifiques. *Proc. of Interaction Homme-Machine* (IHM '09). ACM, New York, NY, USA.
- [15] Liao, C., Guimbretière, F., and Hinckley, K.. 2005. PapierCraft: a command system for interactive paper. In *Proc. of the 18th annual ACM symposium on User interface software and technology* (UIST '05). ACM, New York, NY, USA, 241-244.
- [16] Mackay, W., Fayard, AL., Frobert, L., Médini, L. Reinventing the familiar: exploring an augmented reality design space for air traffic control. In *Proc. of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (CHI '98), ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co., New York, NY, USA, 558-565.
- [17] MacKay, W. Is paper safer? The role of paper flight strips in air traffic control. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.* 6, 4 (December 1999), 311-340.
- [18] Mackay, W.E. Educating Multi-disciplinary Design Teams. In Proc. of Tales of the Disappearing Com-puter (2003), 105--118.
- [19] Malacria, S., Lecolinet, E. Espace de caractérisation du stylo numérique. In *Proc. of Interaction Homme-Machine* (IHM '08). ACM, New York, NY, USA.
- [20] Mertz, C., Chatty, S. and Vinot, JL. The influence of design techniques on user interfaces: the DigiStrips experiment for air traffic control. HCI-Aero 2000.
- [21] Sellen A.J., Harper R.H.R. The Myth of the Paperless Office. 1st ed. MIT press, Cambridge, MA. 2001.
- [22] Song, H., Guimbretiere, F., Grossman, T. and Fitzmaurice, G. 2010. MouseLight: bimanual interactions on digital paper using a pen and a spatially-aware mobile projector. In *Proc. of the 28th international conference on Human factors in computing systems* (CHI '10). ACM, New York, NY, USA, 2451-2460.
- [23] Tsandilas, T., Letondal, C., Mackay, W. 2009. Musink: composing music through augmented drawing. In *Proc. of the 27th international conference on Human factors in computing systems* (CHI '09). ACM, New York, NY, USA, 819-828.
- [24] Yeh, R., Liao C., Klemmer, S., Guimbretière, F., Lee, B., Kakaradov, B., Stamberger, J. and Paepcke, A.. 2006. ButterflyNet: a mobile capture and access system for field biology research. In *Proc. of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems* (CHI '06), Rebecca Grinter, Thomas Rodden, Paul Aoki, Ed Cutrell, Robin Jeffries, and Gary Olson (Eds.). ACM, New York, NY, USA, 571-580.
- [25] West, D., Quigley, A., Kay, J. 2007. MEMENTO: a digital-physical scrapbook for memory sharing. *Personal Ubiquitous Comput.* 11, 4 (April 2007), 313-328.