

# STRIP'TIC : LE CONTRÔLE AÉRIEN AU BOUT DES DOIGTS

UN SYSTÈME DE RÉALITÉ AUGMENTÉE AU SERVICE  
DU CONTRÔLE AÉRIEN

STRIP'TIC (STRIPPING TANGIBLE INTERFACE FOR CONTROLLERS OU INTERFACE TANGIBLE DE STRIPPING POUR LES CONTRÔLEURS) EST LE FRUIT D'UNE RECHERCHE MENÉE EN COLLABORATION ENTRE LE LABORATOIRE D'INFORMATIQUE INTERACTIVE (LII) DE L'ENAC ET LA DSN/DTI (DIRECTION DES SERVICES DE LA NAVIGATION AÉRIENNE /DIRECTION DE LA TECHNIQUE ET DE L'INNOVATION). CE PROTOTYPE NOVATEUR COMBINE LE MEILLEUR DE DEUX TECHNOLOGIES : LES «STRIPS PAPIER» ET LES «STRIPS ÉLECTRONIQUES».

Fondé sur des technologies récentes (stylo numérique, réalité augmentée, écran tactile) ce système offre aux contrôleurs un environnement à la fois cohérent (par les vues radar et le tableau de strips reliées entre elles, et par des strips virtuelles et physiques constamment synchronisés), robuste (pas de panne) et d'utilisation facile.

## LE PROCESSUS DE CONCEPTION

La conception du système Strip'TIC repose sur une analyse approfondie de l'activité des contrôleurs, étudiée à travers des séances d'observation réalisées en contexte opérationnel, en formation de terrains et des méthodes de conception participatives (sessions d'observation en contexte réel, 3 sessions d'observation de la formation des contrôleurs, entretiens contextuels, brainstorming et de prototypage, et sessions de revue systématique des choix de conception avec des contrôleurs).

Pendant les ateliers de prototypage des maquettes papier et vidéo ont été construites avec les contrôleurs. Elles leur permettent de préciser concrètement leur point de vue sur les choix de conception les plus appropriés pour faciliter leur travail et sur les meilleurs moyens d'interagir avec le système. Les sessions de revue systématique ont permis aux contrôleurs d'essayer le prototype sur la base de divers scénarios tels que le dégroupage, la détection de conflits, la gestion de stacks, etc.

L'équipe de conception du système Strip'TIC est composée d'un contrôleur et de 4 chercheurs en IHM (visualisation, interaction tangible et sur support papier, conception graphique).

## UN ESPACE COHÉRENT ET CONNECTÉ

Dans strip'TIC, les actions du contrôleur, comme le déplacement du strip et la saisie au stylet sont instantanément

connus du système (même en dehors de la stripboard, la saisie au stylet fonctionne toujours).

Les points de vue du radar et du stripboard sont connectés: le contrôleur peut choisir un avion ou une balise issue soit des strip papier soit de l'écran radar. Les strips virtuels et papiers sont synchronisés: les traits inscrits sur le papier, tout comme les clearances ou les sélections de niveau, sont affichés sur les strips virtuels.

A l'inverse, la saisie au stylet sur strip virtuel sera projetée en surimpression sur les strips papiers. Enfin, le système projette la mise à jour des informations sur les strips papiers.

## DONNÉES AUGMENTÉES PAR LA PROJECTION

Les informations dynamiques permettent d'augmenter la teneur des strip papier depuis les informations en temps réel (altitude de l'avion, le statut de dégagement) aux informations contextuelles (logo, wake turbulences, la distance des balises) à l'aide de calculs.

Cela intègre la gestion de l'hippodrome d'attente via notamment le calcul du temps d'approche prévu et l'affectation de l'hippodrome d'attente, la gestion des séquences de trafic et la détection des conflits. Par exemple, le contrôleur peut choisir une balise en pointant avec le stylo numérique sur l'écran radar ou sur le strip; le système va alors automatiquement signaler cette balise sur chaque strip papier avec une projection superposée.

## STRIP TANGIBLES EN MATIÈRE DE SÉCURITÉ ET D'EFFICACITÉ

Le papier est robuste, efficace et souple: écrits à main levée et dessins

véhiculent des informations importantes (alerte, problèmes potentiels, urgences etc.) destinés à d'autres contrôleurs, même si le système n'a pas besoin de les interpréter.

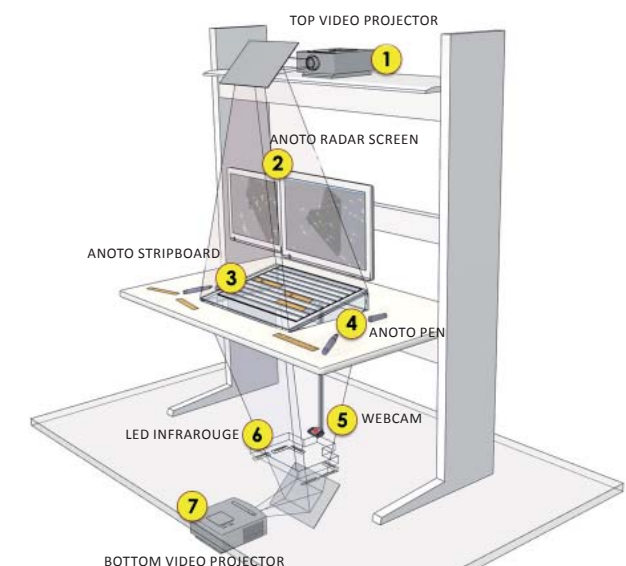
La disposition physique des strips papiers sur le stripboard, selon le contexte du trafic, aident le contrôleur à gérer des tâches complexes grâce à l'externalisation cognitive.

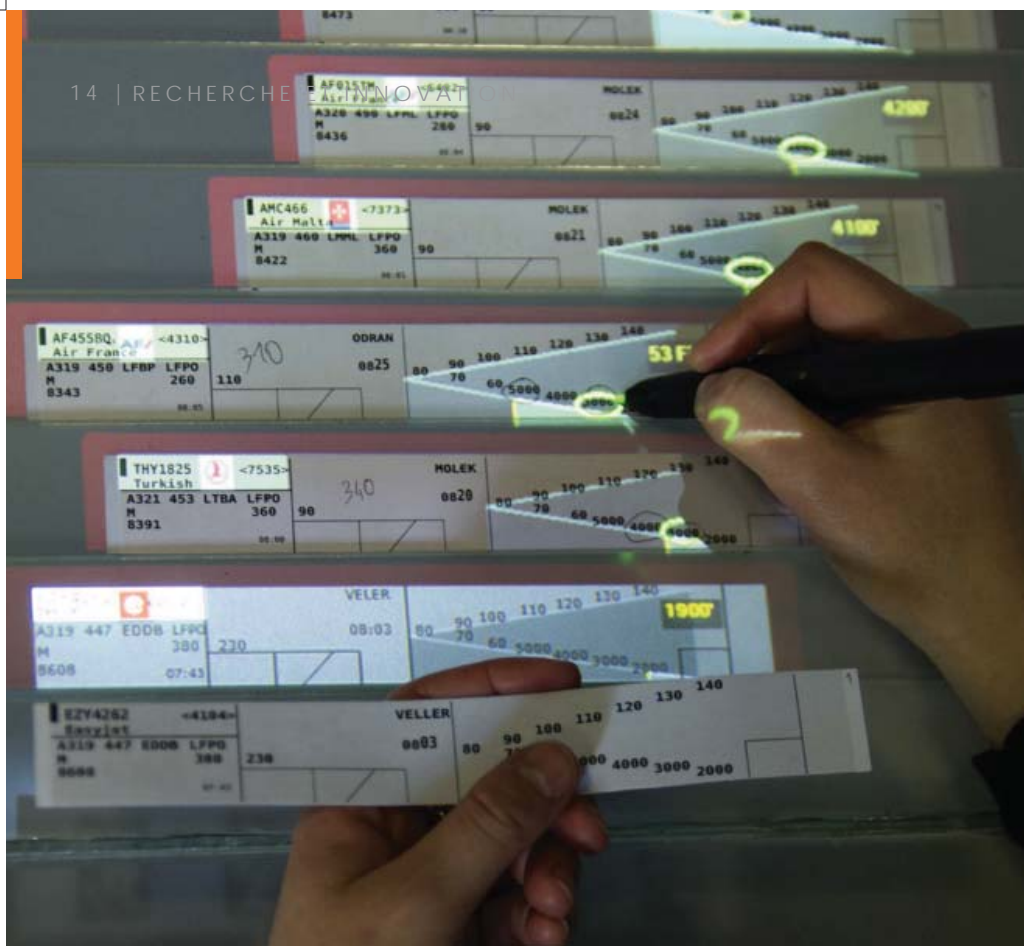
## COMMUNICATION POUR LA COLLABORATION ET LA PRISE DE CONSCIENCE

Les contrôleurs communiquent et maintiennent la vigilance au travers du mouvement des strips papiers et de leurs gestes dans l'espace physique.

L'état global de la gestion du trafic peut être déduit à partir de strip et de l'état physique du stripboard.

Le trafic devient plus disponible pour la surveillance (par exemple par un contrôleur en chef avec une tablette externe). Les strips papiers peuvent être virtuellement étendus afin de compléter et de faciliter la communication orale entre les secteurs.





## STRIP'TIC EN SITUATION

Dans le scénario qui suit, Paul est un contrôleur de planification. Son rôle est de coordonner avec les secteurs adjacents et préparer le flux de l'arrivée d'aéronefs pour Tessa, contrôleuse tactique, assise à côté de lui.

Le rôle de Tessa est de gérer le trafic dans son secteur, le suivi sur son écran radar, et utilisant une communication radio pour donner les autorisations pour les nouveaux pilotes altitudes, les titres, ou des vitesses.

Paul Tessa et partagent un ensemble de bandes de papier disposés sur un stripboard. Imprimé sur chaque bande est la voie prévue d'un aéronef par leur secteur.

### FEEDBACK DIGITAL POUR DES INTERACTIONS PHYSIQUES

L'action se déroule à 16 heures un vendredi. Paul entend l'imprimante de strip et prend celui du vol Turkish Airlines THY1825, sur le point d'entrer dans le secteur et d'atterrir à Orly.

**Le logo de la compagnie aérienne s'affiche également sur le strip, ce qui le rend plus facile à localiser sur le stripboard.**

Il pose le strip sur la stripboard et analyse rapidement la situation de ce nouvel appareil entrant. Le système affiche un halo

rectangulaire sous le strip de papier, coloré en rouge pour indiquer que l'avion est une arrivée (bleu pour les départs). Le logo de la compagnie aérienne s'affiche également sur le strip, ce qui le rend plus facile à localiser sur le stripboard.

Quelque temps après, le pilote du THY1825 appelle. Tessa souligne alors le signe d'appel de l'avion sur le strip, pour indiquer visuellement que le vol est maintenant sous sa responsabilité. Une réaction animée s'affiche sur l'écran du radar sous la forme d'un cercle concentrique désignant le vol.

### CONNECTER LES INFORMATIONS PHYSIQUES ET NUMÉRIQUES

Strip'TIC connecte le radar et le stripboard en établissant une liaison visuelle entre les strips et les symboles radar.

**Tous les vols qui vont traverser cette balise dans un avenir proche sont mis en surbrillance sur l'écran radar.**

Paul observe que le THY1825 est arrivée à ODRAN, l'une des trois principales balises d'arrivée pour Orly. Un avion léger, indicatif d'appel F-GFPS, est estimé à transiter en même temps.

Paul veut informer Tessa le plus rapidement possible : il prend le strip du tableau pour attirer son attention, et pointe ODRAN sur

le strip avec son stylo. Cela active la mise en évidence sur le radar de tous les vols traversant cette balise dans un avenir proche. Tessa détecte immédiatement le conflit potentiel sur ODRAN et décide de le surveiller.

Un autre appareil appelle: "Bonjour, c'est Lufthansa 8950, descendant flight level 90, ODRAN entrant." Tessa ne trouve pas le strip correspondant sur le stripboard. Le planificateur peut l'avoir déposé à un endroit inattendu. Heureusement, le vol est en surbrillance sur l'écran radar. Elle le pointe sur le radar pour que le strip correspondant apparaissent en surbrillance également sur le stripboard.

### DES STRIPS PAPIER EN TEMPS RÉEL

Le papier imprimé n'est pas dynamique, ce qui oblige les contrôleurs à réimprimer les strips quand ils veulent des informations à jour.

**L'altitude des avions est affichée en temps réel sur le strip papier par projection, ce qui permet de combiner efficacement l'information radar en temps réel et l'information du strip papier.**

En outre, les données en temps réel sont disponibles uniquement sur l'écran radar, ce qui nécessite que le contrôleur consolide mentalement les informations disponibles.

Grâce à la projection en temps réel des altitudes des avions sur les strips, Tessa remarque que le THY1825 atteint son niveau de vol 90 assigné. Elle décide de permettre à l'avion de descendre plus loin, contacte le pilote, et donne une nouvelle altitude: 3.000 pieds.

Elle enregistre cette clearance en encerclant l'indication pré-imprimée de 3.000 pieds sur le strip. Le système reconnaît cet ordre et indique qu'il est cohérent en entourant le cercle dessiné en vert (les évaluations aurait été rouge en cas d'incohérence, par exemple un nouveau niveau au-dessus de 90).

### PERMETTRE L'INPUT PAPIER PAR L'OCR

Tessa demande au THY1825 de tourner au cap 340. Elle écrit 340 sur le strip. Le système reconnaît les valeurs saisies et peut l'utiliser pour vérifier qu'il n'y a aucun risque de collision avec d'autres appareils.

### FAVORISER LA COGNITION INCARNÉE

Avec Strip'TIC, les contrôleurs peuvent

continuer d'interagir dans l'espace physique et s'appuyer sur l'externalisation pour réduire leur charge cognitive. Par exemple les dispositions spatiales des strips les aident à gérer leur charge de travail. Les manipulations physiques du strip peuvent également fournir quelques aides tacites sur le niveau de clearance donné.

Tessa est droitrière et doit maintenir le strip avec sa main gauche pour écrire dessus. Par conséquent, elle sait d'instinct qu'elle a encadré un niveau élevé, puisque sa valeur se trouve en bas à droite du strip. Par opposition, puisque les strips virtuels n'ont pas besoin d'être tenus, ils ne déclenchent pas ce type de mémoire incarnée.

**Les manipulations des strips papier participent au processus cognitif des contrôleurs. La réalité augmentée s'appuie sur ce processus pour le rendre encore plus efficace.**

Maintenant l'avion le plus bas dans son secteur, l'EasyJet EZY4262, est à cinq miles nautiques de la piste. Tessa a besoin de transférer le contrôle aux contrôleurs de la tour, mais plus urgent encore, elle doit donner une clearance d'interception à un autre avion pour qu'il puisse rejoindre le circuit d'atterrissage.

Comme un rappel physique, elle tient le strip EZY4262 dans sa main gauche pour ne pas oublier de l'envoyer à la tour de contrôle.

### STRIPS AUGMENTÉS : UN MÉLANGE DE MÉDIAS VIRTUELS ET PHYSIQUES.

Le système fournit un artefact hybride, dans lequel le papier et le numérique sont identiques et ont une importance égale.

Quand un contrôleur tient un strip papier, les autres contrôleurs peuvent utiliser le stylo numérique pour interagir avec son jumeau virtuel: ils peuvent écrire dessus ou le déplacer en le faisant glisser sur le stripboard.

Lorsque le strip papier est redéposé sur le stripboard le strip virtuel est projeté en dessous. Les notes manuscrites du strip virtuel apparaissent alors sur le strip papier. Le système permet au contrôleur d'étendre virtuellement le strip physique.

Trente minutes plus tard, le trafic devient très intense et le secteur de Tessa doit être divisé. Deux collègues sont en attente dans la salle de contrôle.

Tessa initie le mode de dégroupage dans le système. Elle décide de laisser la main sur la zone autour de la balise MOLEK. Elle ramasse les strips des vols qui sont dans ce secteur et elle donne à Patrick, le planificateur de ce nouveau secteur.

Pendant cette phase, les jumeaux virtuels des strips supprimés restent affichés sur son board. Jusqu'à ce que Patrick lui dise qu'il est prêt à contrôler l'avion correspondant, elle continue de le faire avec les strips virtuels, les réorganisant sur le stripboard et notant les clearances nécessaires. Les informations saisies sont projetées simultanément sur

les strips physiques correspondants sur le stripboard de Patrick.

Plus tard, l'équipage d'un avion qui a récemment décollé appelle pour signaler un passager malade et signaler qu'ils doivent retourner à l'aéroport. Tessa veut noter le problème sur le strip correspondant, mais il est déjà très complet. Elle choisit d'agrandir le strip physique avec une zone d'écriture virtuelle en pointant sur le côté droit du strip virtuel en dessous.

**STRIP'TIC ne modifie rien aux actions fondamentales du contrôle aérien mais y apporte un support qui permet d'être plus efficace et de renseigner le système informatique en temps réel.**

### CALCUL TANGIBLE ET COGNITION

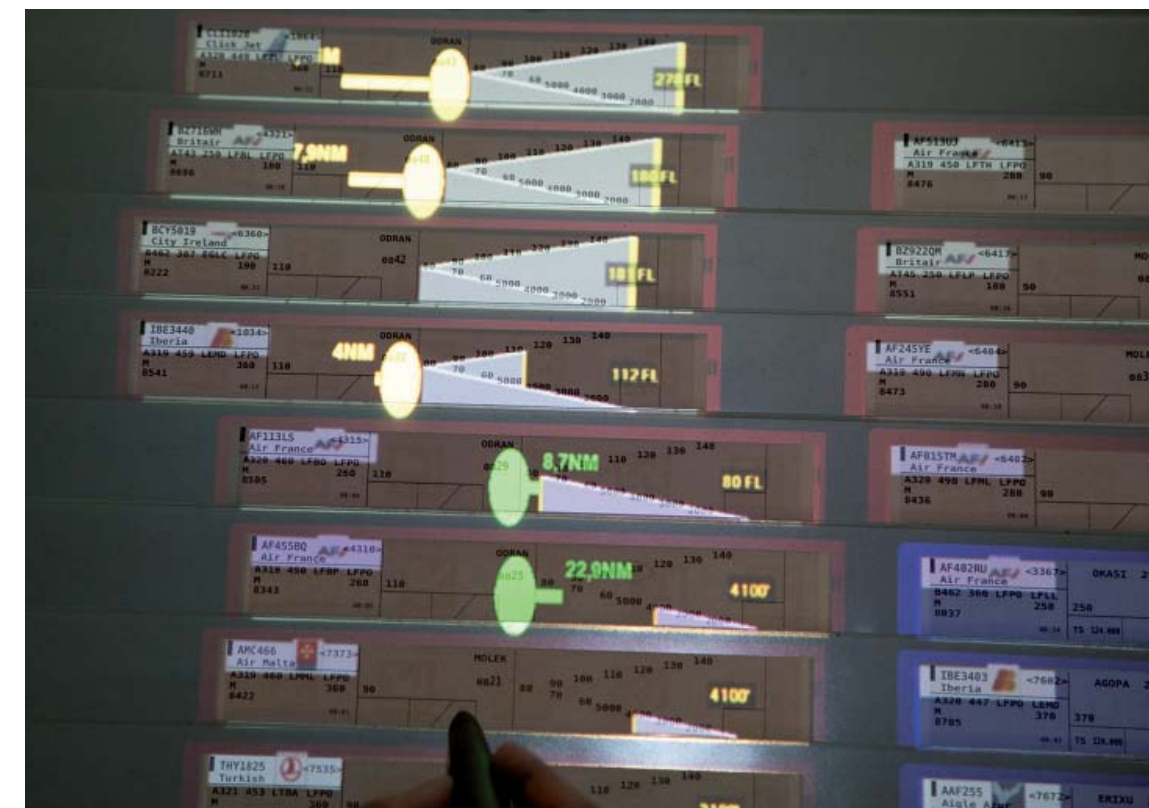
Actuellement, les contrôleurs doivent effectuer des calculs sujets à l'erreur et prendre beaucoup de temps pour vérifier leurs résultats.

Puisque le trafic est très intense, Tessa a dû mettre les avions en arrivée dans les circuits d'attente. Les strips sont organisés en deux piles sur les balises d'approche MOLEK et ODRAN, mais notre contrôleur tactique veut optimiser la séquence d'arrivée afin de combler les gaps éventuels.

Pendant qu'elle dépose les strips, le système calcule automatiquement l'horaire de sortie de la pile - que le pilote a besoin de connaître - et l'affiche à côté de chaque strip. Tessa peut réorganiser les strips pour produire la séquence optimale.

Ce calcul tangible illustre comment le soutien informatique peut compléter des manipulations physiques, plutôt que de les remplacer.

Extrait de "Tangible Augmented Reality for Air Traffic Control", JEAN-LUC VINOT, Université de Toulouse - ENAC, CATHERINE LETONDAL, Université de Toulouse - ENAC, RÉMI LESBORDES, DSNA/DTI/R&D, STÉPHANE CHATY, Université de Toulouse - ENAC, STÉPHANE CONVERSY, Université de Toulouse - ENAC, CHRISTOPHE HURTER, Université de Toulouse - ENAC





## STRIP'TIC, A CONNECTED AUGMENTED TANGIBLE AND COLLABORATIVE SYSTEM

Strip'TIC stands for Stripping Tangible Interface with controllers. It is a research collaboration between ENAC and DSNA/DTI (French Civil Aviation). This innovative prototype mixes the best of two technologies: paper and electronic strips. Based on upcoming technologies (digital pen, augmented reality, multitouch), the environment that is offered to the controllers through this system is both coherent (through linked radar and stripboard views, synchronized virtual and physical strips), robust (paper is failsafe) and easy to use (familiar interactions with paper enable direct manipulation of computational data).

### DESIGN PROCESS

To design strip'tic, we analysed the controller activity using ethnographic and participatory design methods. During prototyping workshops, controllers were able to build paper and video mock ups, in order to provide us with their own view on what an appropriate support of their work could be and on the way the user should be able to interact with the system.

We ran design walkthrough sessions during which the controllers tried the prototype by running scenarios such as ungrouping, conflict detection stack management etc.

The Strip'TIC design team is composed of one controller and 4 HCI designers and researchers (visualization, tangible and paper-based interaction, graphic design.)

### A COHERENT AND CONNECTED SPACE

In strip'TIC, controller actions such as strip moves and pen input are instantaneously known from the system (even outside the stripboard, pen input still works).

The radar and stripboard views are linked: the controller can select an aircraft or a beacon from either the paper strips or the radar screen.

The virtual and paper strips are synchronized: strokes written onto the paper, such as clearances or level selections are displayed onto the virtual strips; conversely, pen input on virtual strips will be top projected onto the paper strips. Finally, the system projects up-to-date information onto the paper strips.

### AUGMENTED DATA THROUGH PROJECTION.

Dynamic information that augment the paper strip range from real-time information (aircraft altitude, clearance status), contextual information (logo, wake turbulences, distance to beacons) to computational assistance.

This encompasses stack management, that is supported through expected approach time calculation and stack level assignment, traffic sequences management and conflict detection.

For instance, the controller can select a beacon by pointing with the digital pen on the radar screen or the strip; the system will then automatically highlight this beacon on every paper strip with a top projection

### TANGIBLE STRIPS FOR SAFETY AND EFFICIENCY

Physical paper is robust (paper never breaks), efficient (physical strips are easy to manipulate, shift, group or grasp), and flexible: free-hand writings and drawings, convey important information (warning signs, potential problems underlined, emergency indication etc.) that are aimed to other controllers, even if the system doesn't need to interpret them.

Physical arrangements of paper strips on the strip board, according to the context of ATC traffic, help the controller to handle complex tasks through cognitive externalization.

### COMMUNICATION FOR COLLABORATION AND AWARENESS

Controllers communicate and maintain awareness through paper strips moves and gestures in physical space. Global traffic management state may be inferred from strips and stripboard physical state: it is thus available for monitoring (e.g by a chief controller with an external tablet).

Paper strips may be virtually extended in order to supplement and facilitate oral communication between sectors.

## AN EXAMPLE SCENARIO

In the scenario that follows, Paul is a planning controller. His role is to coordinate with adjacent sectors and prepare the flow of arriving aircraft for Tessa, a tactical controller, sitting next to him. Tessa's role is to manage traffic in her sector, monitoring it on her radar display, and using radio communication to give pilots clearances for new altitudes, headings, or speeds.

Paul and Tessa share a set of paper strips arranged on a stripboard. Printed on each strip is the planned route of an aircraft through their sector.

### DIGITAL FEEDBACK FOR PHYSICAL INTERACTION

It's Friday at 4 p.m. Paul hears the strip printer and grabs a strip for the Turkish Airlines THY1825 flight, about to enter the sector and land at Orly. He puts the strip onto the stripboard and quickly analyzes the situation with this new incoming aircraft.

The system displays a rectangular halo underneath the paper strip, colored in red to indicate the aircraft is an arrival (blue for departures). It also overlays the logo of the airline onto the strip, making it easier to locate it later on the stripboard.

Some time afterward, the pilot of THY1825 calls. Tessa then underlines the aircraft call sign on the strip, to visually indicate the flight is now her responsibility. Animated feedback is displayed on the radar screen, with a concentric circle designating the flight...

### CONNECTING PHYSICAL AND DIGITAL INFORMATION

Strip'TIC connects the radar and stripboard views by establishing a visual link between the strips and the radar symbols. Paul observes that THY1825 is inbound to ODRAN, one of the three main arrival beacons for Orly.

A light aircraft, call sign F-GFPS, is estimated to transit at the same time. Paul wants to inform Tessa as quickly as possible:

He takes the strip off the board to get her attention, and points with his pen at the ODRAN label on the strip. This highlights all the representations of the flights crossing this beacon in the near future.

Tessa immediately detects the potential conflict over ODRAN and decides to monitor it closely. Another aircraft is now calling: "Good afternoon, this is Lufthansa 8950, descending Flight Level 90 (approx. 9,000 ft.), inbound ODRAN." Tessa cannot find the corresponding strip on the board—the planner may have put it in an unexpected place.

Fortunately, the flight is highlighted on the radar display. She points at it to have the strip highlighted too.

### REAL-TIME PAPER STRIPS

Ink printed on paper is not dynamic, which forces controllers to reprint strips when they want updated information. Besides, real-time data is available only on the radar display, which requires the controller to mentally consolidate the available information.

Thanks to the real-time projection of aircraft altitudes onto strips, Tessa notes that THY1825 is reaching its assigned flight level 90. She decides to allow the aircraft to descend farther, contacts the pilot, and gives a new altitude: 3,000 ft. She records this clearance by circling the pre-printed 3,000 ft. label on the strip.

The system acknowledges this order and signals it as consistent by highlighting the drawn circle in green (the feedback would have been red in case of an inconsistent clearance, for instance a new level above 90).

Enabling input from paper through OCR. Tessa also asks THY1825 to turn to heading 340. She writes 340 on the strip. The system recognizes the entered values and can use it to check that there is no risk of collision with other aircraft.

Thirty minutes later, the traffic gets quite intense, so Tessa's sector needs to be split up. Two colleagues are on standby in the

### FOSTERING EMBODIED COGNITION

With Strip'TIC, controllers can keep interacting in the physical space and rely on externalization to decrease their cognitive load. For instance, spatial arrangements of strips help manage their workload. Some tacit guidance on the given clearance level may also have been provided through physical manipulations of the strip.

Tessa is right-handed and must hold the strip with her left hand to write on it. Therefore she knows instinctively that she has circled a high level, as its value is located at the bottom right of the strip.

By contrast, since virtual strips do not need to be held, they do not trigger this type of embodied memory. Now the lowest aircraft in her sector, easyJet EZY4262, is five nautical miles from the runway.

She needs to transfer control to the tower controllers, but more urgently, she must give an interception heading clearance to another aircraft to let it rejoin the landing pattern. As a physical reminder, she holds the EZY4262 strip in her left hand so she won't forget to send it to the tower controller.

### AUGMENTED STRIPS AS A MIX OF VIRTUAL AND PHYSICAL MEDIA

The system provides a hybrid artifact, in which paper and digital media are identical and have equal importance. When one controller holds a paper strip, the other controllers can use the digital pen to interact with its virtual twin: They can write on it or move it by dragging on its border.

When repositioning the paper strip on the board, the virtual strip is aligned under it. The then obscured handwritten notes of the virtual strip are projected onto the paper strip. The system lets the controller extend the physical strip virtually.

Thirty minutes later, the traffic gets quite intense, so Tessa's sector needs to be split up. Two colleagues are on standby in the

control room. Tessa initiates the degrouping mode in the system. She decides to hand off the area around the MOLEK beacon, picks up the strips of the flights that are in this area, and gives them to Patrick, the planner of this new sector.

During this phase, the virtual twins of the removed strips remain displayed on her board. Until Patrick tells her that he is ready to control the corresponding aircraft, she continues to control them with their virtual strips, rearranging them on the stripboard and writing clearances as necessary.

The entered information is simultaneously projected onto the corresponding physical strips on Patrick's stripboard. Later, the crew of a recently departed aircraft calls to signal a sick passenger and report they must return to the airport.

Tessa wants to note the problem on the corresponding strip, but it is already quite full. She chooses to enlarge the physical strip with a virtual writing area by pointing at the right side of the virtual strip underneath.

### TANGIBLE COMPUTATION AND COGNITION

Currently, controllers need to perform error-prone calculations and take significant time to check their results. Since the traffic is really intense, Tessa had to put arriving planes in holding patterns.

The strips are organized in two stacks at approach beacons MOLEK and ODRAN, but our tactical controller wants to optimize the arrival sequence in order to fill potential gaps. As she lays the strips down, the system automatically calculates the stack exit time—that the pilot needs to know—and displays it beside each strip.

She can rearrange the strips as needed to produce the optimal sequence. This tangible calculation illustrates how computing support can complement physical manipulations, rather than replace them.