

# **CONTRÔLE AÉRIEN ET LIAISONS DE DONNÉES : VERS UN PLUS GRAND PARTAGE DE L'INFORMATION.**

**Francis JAMBON, Joëlle COUTAZ**  
**Laboratoire de Génie Informatique, Institut IMAG,**  
**B206, B.P. 53 X, 38041 Grenoble CEDEX**  
**Téléphone : 76.51.48.54 - Télécopie : 76.44.66.75**  
**Courrier électronique : jambon@imag.fr, coutaz@imag.fr**

**Résumé :** Le contrôle de la navigation aérienne est menacé par une saturation prochaine des fréquences radio utilisées pour la communication entre les pilotes et les contrôleurs. De plus, le manque d'informations sur la position des véhicules et aéronefs au sol rend leur guidage difficile. Par l'intermédiaire du collecticiel nous montrons comment la radiotéléphonie permet actuellement la complétion d'information entre les domaines du pilote et du contrôleur. Les spécialistes du domaine proposent l'utilisation de liaisons de données afin de faciliter le transfert d'information entre aéronefs et contrôle aérien soit sous une forme comparable au courrier électronique, soit sous la forme de messages automatiques. Nous proposons une utilisation des liaisons de données sous une double forme : sous la forme d'une transmission automatique informant le contrôle aérien des paramètres de vol des aéronefs, et sous une forme très interactive permettant un échange de données de type symbolique facilitant les négociations et s'inscrivant comme un complément à la radiotéléphonie dont elle doit diminuer l'encombrement des fréquences.

**Mots clés :** contrôle aérien, liaison de données, data link, collecticiel.

## **1. Introduction**

Le contrôle de la navigation aérienne doit évoluer pour faire face à l'augmentation du trafic aérien. Cette nécessaire évolution est également l'occasion d'améliorer de manière globale la sécurité du transport aérien [Hughes 92]. Nous avons choisi dans le cadre de notre étude d'appréhender la tâche de régulation de la circulation aérienne sous l'angle du collecticiel. Cette approche nous a amenés à étudier plus particulièrement le partage de l'information entre pilotes d'aéronef et contrôleurs aériens.

Le contrôle de la navigation aérienne peut s'appréhender comme un collecticiel où les utilisateurs sont à la fois les pilotes d'aéronef et les contrôleurs aériens. La tâche commune est de permettre à tous les aéronefs du secteur de contrôle concerné d'effectuer les actions suivantes, citées par ordre de priorité : évoluer en toute sécurité dans l'espace aérien et au sol, atteindre la destination prévue ou une destination de dégagement, arriver à destination le plus rapidement possible, et effectuer le trajet dans les meilleures conditions de confort possible. L'état global du système est défini par des données auxquelles les utilisateurs n'ont pas nécessairement accès directement. Ces informations comprennent l'état des aéronefs, leur position, leur trajectoire, les intentions des pilotes, les données météorologiques et l'état des infrastructures aéroportuaires.

Dans le cadre de cette étude, nous avons choisi de nous intéresser au partage de l'information plutôt qu'aux moyens de communication. L'information de base du

système est en effet toujours la même quels que soient les moyens de communication utilisés. Dans un premier temps, nous évaluons le partage d'information dans le contrôle aérien actuel, puis nous expliquons pourquoi le système actuel doit évoluer dans un proche avenir. Nous passons ensuite en revue les solutions proposées, puis nous présentons notre proposition avec ses principales caractéristiques. Un lexique des termes techniques aéronautiques et notés en italique dans le texte peut être consulté en fin d'article.

## 2. Le partage d'information dans le contrôle aérien actuel

Actuellement les principaux moyens de communication utilisés pour le contrôle de la navigation aérienne sont la *radiotéléphonie* et le *radar secondaire*. L'utilisation des *liaisons de données* se limite à des transferts d'informations unidirectionnels et peu interactifs : l'aéronef reçoit régulièrement des bulletins d'informations météorologiques d'aéroport, ou internes aux compagnies aériennes. De son côté, le contrôle aérien reçoit de l'aéronef son numéro de vol et quelques paramètres de vol comme l'altitude et la vitesse de l'aéronef par l'intermédiaire du *transpondeur*.

Du point de vue du contrôleur aérien, la situation du trafic à un instant donné est indiquée essentiellement par une image *radar*, et par des *bandes de progression (strips)*. Ces informations sont complétées et remises à jour via la *radiotéléphonie* par les pilotes d'aéronef. Les informations transmises aux contrôleurs incluent la position exacte et la route prévue de l'aéronef issue de *l'ordinateur de vol (FMS)*, la trajectoire prévue de l'aéronef issue du *pilote automatique (PA)*, et l'état général de l'aéronef (Fig. 1). Ces informations complémentaires sont notées sur les *bandes de progression* ou stockées dans la mémoire du contrôleur aérien qui élabore une image mentale du trafic actuel et futur.

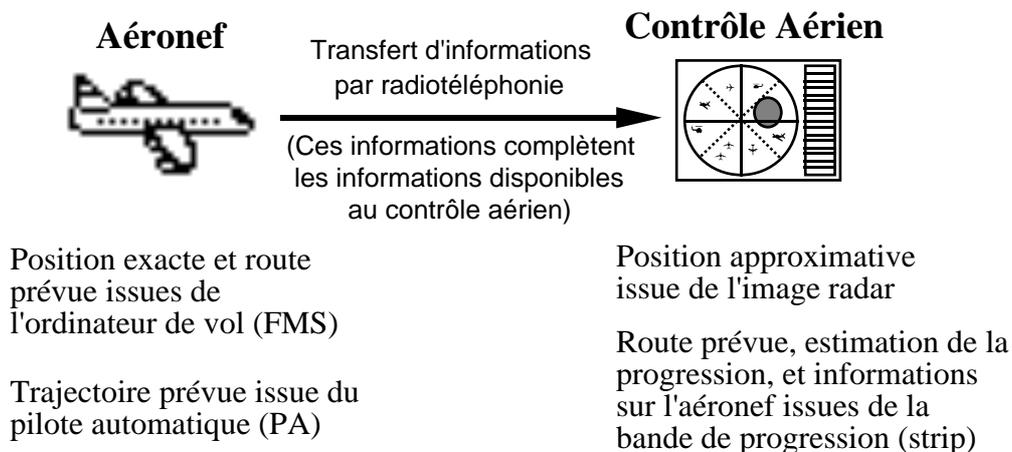


Figure 1 : Le partage d'information du point de vue du contrôleur dans le contrôle aérien actuel. La flèche indique le sens des échanges.

Du point de vue du pilote, la situation des aéronefs évoluant dans son espace aérien est identifiée, pour l'essentiel, par une activité appelée *party line*. Le *party line* est ici l'écoute par le pilote des communications *radiotéléphoniques* qui ne lui sont pas directement adressées. Par exemple, le pilote est assuré que la piste est libre avant d'être autorisé à atterrir s'il entend l'aéronef qui vient de se poser indiquer au contrôleur "IT640 piste dégagée". Le contrôleur peut indiquer à un pilote de manière explicite la position des autres aéronefs pour justifier un changement de ses paramètres de vol, mais ce n'est pas la source d'information prédominante (Fig. 2). Tout comme le contrôleur aérien, le pilote d'aéronef se fait une image mentale du trafic actuel et futur à partir des informations issues du *party line*.

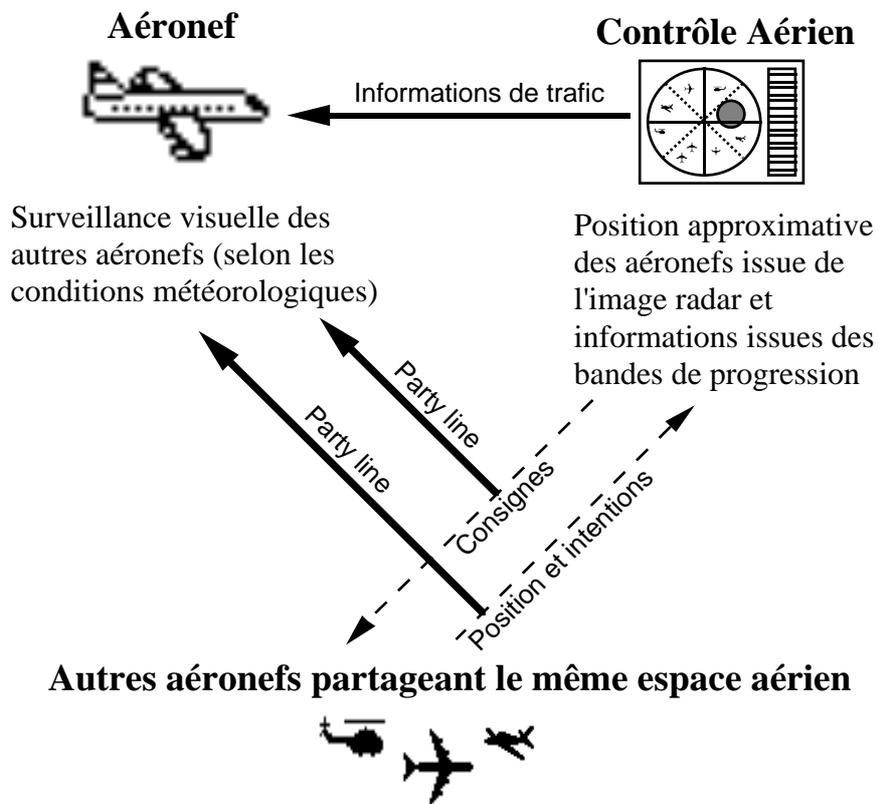


Figure 2 : Le partage d'information du point de vue du pilote dans le contrôle aérien actuel. Les flèches en trait plein indiquent l'acquisition d'information par l'aéronef. Les flèches en pointillé traduisent les échanges d'information ne concernant pas directement l'aéronef.

### 3. La problématique

Les experts considèrent que compte tenu de l'augmentation actuelle du trafic aérien, les fréquences radio utilisées par les contrôleurs seront saturées en 1996 [Figarol 93]. L'augmentation du nombre de fréquences disponibles n'est pas une solution envisageable car elle signifierait une augmentation du nombre de changements de fréquence par aéronef préjudiciable à la sécurité. De même, une meilleure organisation et harmonisation du trafic

aérien ne ferait que reculer l'échéance. Il apparaît donc que d'autres solutions doivent être envisagées pour faire face à l'accroissement du trafic et pour augmenter de manière générale la sécurité des mouvements des aéronefs en vol mais aussi au sol.

En effet, la circulation de surface des aéronefs sur les grands aéroports modernes est proche de la saturation. De plus, elle devient dangereuse en cas de mauvaises conditions météorologiques car ni les pilotes, ni les contrôleurs aériens ne disposent d'informations précises et fiables sur la position des aéronefs et des véhicules évoluant au sol [Monzel 93]. Dans le meilleur des cas, le pilote ne dispose que de panneaux indicateurs situés sur le bord des voies de circulation et le contrôleur ne bénéficie pour sa part que d'un *radar primaire* représentant aéronefs, véhicules et obstacles sous la forme de taches lumineuses. Comme pour le problème de la saturation des fréquences que nous venons d'évoquer, de nouveaux outils doivent être envisagés pour améliorer la connaissance du trafic de surface.

#### **4. Propositions actuelles**

Les experts du domaine s'accordent à proposer, comme solution technique, l'utilisation des *liaisons de données (data link)* permettant une meilleure communication entre les aéronefs et le contrôle aérien. Il reste néanmoins à identifier le contenu des informations à transférer et la nature de l'interface homme-machine de ce système. Les solutions proposées peuvent se scinder globalement en deux catégories :

Une première solution est le remplacement d'une partie variable des échanges *radiotéléphoniques* par des échanges de messages textuels via la liaison de données d'une manière comparable au courrier électronique. Cette solution permet de diminuer directement l'encombrement des fréquences utilisées en *radiotéléphonie*. Par contre, cette nouvelle modalité de communication ne possède pas la souplesse, la richesse, ni la vitesse de la communication vocale. De plus, le *party line* risque d'être perdu. Les études récentes semblent montrer que ce n'est pas une solution envisageable lorsque le facteur temps est primordial.

L'échange de messages de type symbolique comme par exemple le tracé d'une route ou les paramètres contenu dans le *pilote automatique* d'un aéronef constitue une autre alternative. Ces solutions sont plus audacieuses car elles ne peuvent pas s'appuyer sur une phraséologie déjà définie et largement usitée comme dans le cas précédent. A notre connaissance, peu d'études ont été réalisées sur ce sujet qui semble pourtant prometteur.

#### **5. Notre proposition**

En consultant son *ordinateur de vol*, le pilote connaît sa position exacte et la progression de son aéronef sur la route qu'il a saisie dans l'ordinateur. Le pilote informe le contrôle aérien de sa position et de ses intentions par *radiotéléphonie*. Nous proposons

de remplacer ce transfert *radiotéléphonique* par une *liaison de données* automatique. Une nouvelle sorte de *transpondeur* plus complet peut être affecté à ce transfert. Le contrôleur aérien connaîtrait alors la position, la trajectoire, la route prévue, et la progression de l'aéronef en temps réel directement sur son écran de contrôle sans aucune intervention du pilote. Le contrôleur disposerait alors des mêmes informations que le pilote remises à jour à chaque modification. De plus, cette solution permettrait dans l'avenir d'ajouter au sein du contrôle aérien un système automatique de prévention des abordages utilisant directement les données issues des *ordinateurs de vol* des aéronefs.

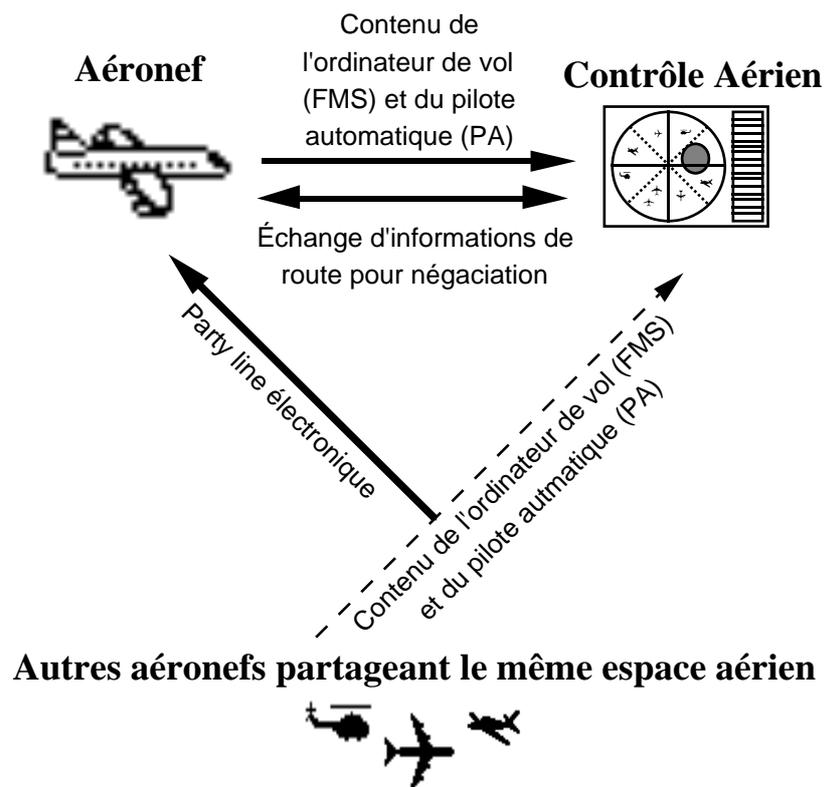


Figure 3 : Proposition de partage d'information dans le contrôle aérien futur. Les flèches en trait plein indiquent l'acquisition d'information par l'aéronef. Les flèches en pointillé traduisent les échanges d'information ne concernant pas directement l'aéronef.

Les négociations de trajectoire peuvent être simplifiées par une *liaison de données* bidirectionnelle interactive où pilote et contrôleur s'échangent des propositions de trajectoire. La modification de trajectoire proposée par le contrôleur apparaît sur l'écran de navigation du pilote qui peut à son tour la modifier et la renvoyer au contrôleur. La nouvelle trajectoire une fois acceptée par le pilote et le contrôleur est alors entrée directement dans l'*ordinateur de vol* de l'aéronef par le pilote. Le contrôleur peut alors vérifier par sécurité sur son écran de contrôle que le contenu de l'*ordinateur de vol* de l'aéronef est bien conforme au résultat de la négociation. Nous pensons que l'échange de trajectoires par *liaisons de données* permet une diminution sensible du volume des communications *radiotéléphoniques* réduits à des messages d'accompagnement. De plus,

le contrôleur aérien peut disposer dans une base de données, des trajectoires d'atterrissage usuelles. Ainsi, il est en mesure d'informer rapidement un aéronef en phase d'atterrissage d'un changement tardif de piste. Cette possibilité réduit les risques de confusion fréquents lorsque la charge de travail est élevée.

La suppression d'une partie des transferts d'information *radiotéléphoniques* a pour conséquence immédiate une perte du *party line*. Nous proposons de remplacer le *party line* effectué par le pilote sur la fréquence *radiotéléphonique* par un *party line* électronique dont les systèmes de bord de l'aéronef sont responsables. Les systèmes de bord écoutent les informations de position envoyés par les autres aéronefs au contrôle aérien. Le pilote dispose ainsi sur son écran de navigation de la position et de la trajectoire prévue des aéronefs susceptibles de l'intéresser. La réalisation de l'interface pose de délicats problèmes car il est nécessaire de filtrer les informations issues des autres aéronefs afin de ne porter à la connaissance du pilote que les informations pertinentes sur le trafic sous peine de saturer son canal visuel (Fig. 3).

## 6. Conclusion

Un meilleur partage de l'information qui n'est actuellement accessible qu'à un nombre restreint d'utilisateurs doit permettre une diminution des échanges *radiotéléphoniques* entre les pilotes et les contrôleurs ainsi qu'une meilleure tolérance du système aux erreurs humaines. La parole reste le moyen de communication privilégié, mais débarrassé des longs messages d'informations transitant maintenant par les *liaisons de données*. Cette solution semble élégante mais il reste encore à intégrer l'interface homme-machine du système à la fois au niveau du cockpit des aéronefs et au niveau des consoles du contrôle aérien. En effet, il semble nécessaire de filtrer la grande quantité d'informations disponible grâce aux *liaisons de données* sous peine de provoquer une surcharge visuelle donc cognitive pour les utilisateurs, ce que l'on désire justement éviter.

## 7. Références bibliographiques

- [Figarol 93] FIGAROL, Damien.  
Communication personnelle, Avril 93.
- [Hughes 92] HUGHES, John A., RANDALL, David, and SHAPIRO, Dan.  
*Faltering from ethnography to design.*  
Proceedings of the Conference on Computer-Supported Cooperative Work,  
Toronto, November 1992, p. 115-122.
- [Monzel 93] MONZEL, F.-G. et BORIES, A.  
*Système de guidage et de contrôle de la circulation de surface.*  
Revue des télécommunications, Les télécommunications dans les transports,  
Alcatel Alstom Publications, 1<sup>er</sup> trimestre 1993, p. 51-59.

## 8. Glossaire aéronautique

**Bandes de progression** : Bandes de papier cartonnées utilisées par les contrôleurs aériens. Elles regroupent les informations utiles au guidage et au suivi de la navigation d'un aéronef. Les informations disponibles sur cet aéronef sont en général : son type, sa compagnie, son numéro de vol, son code transpondeur, sa vitesse de croisière, son cap, sa route prévue, et les heures d'arrivée aux points de report précédent et suivant. Cette bande de papier peut aussi avoir une forme électronique. Les bandes de progression sont couramment appelées strips.

**Liaison de données** : Communications air-sol par liaison de données numériques. L'équivalent anglais largement usité est data link.

**Ordinateur de vol** : Ordinateur embarqué permettant la gestion des paramètres de navigation et l'optimisation en temps et consommation de la route suivie par l'aéronef. Il est souvent appelé FMS pour Flight Management System.

**Party line** : Écoute par l'équipage d'un aéronef ou par un contrôleur des communications ne lui étant par directement adressées, de manière à avoir connaissance de la situation et des intentions des autres aéronefs dans son secteur.

**Pilote Automatique** : Système permettant à l'aéronef de suivre automatiquement une route provenant du FMS ou encore un cap, une altitude, ou un taux de descente/montée affiché par le pilote.

**Radar** : Système de détection utilisant l'écho renvoyé par les cibles auxquelles le système a envoyé des ondes radio de forte puissance.

**Radar primaire** : Radar sur lequel les aéronefs, les véhicules, ou les obstacles sont représentés par une tache lumineuse proportionnelle en taille et en intensité à l'écho renvoyé.

**Radar secondaire** : Radar sur lequel les aéronefs sont représentés par un symbole auquel est associée une étiquette regroupant généralement l'identification de l'aéronef, sa vitesse, son altitude, et sa tendance à monter ou à descendre.

**Radiotéléphonie** : Communications phoniques utilisant les ondes radio.

**Transpondeur** : Système embarqué à bord d'un aéronef permettant l'affichage sur un radar secondaire du contrôle aérien du niveau de vol (hauteur par rapport à une référence constante et uniforme) de l'aéronef avec une précision de 100 pieds, de la vitesse de l'aéronef, ainsi qu'un code de quatre chiffres réglables depuis l'aéronef.