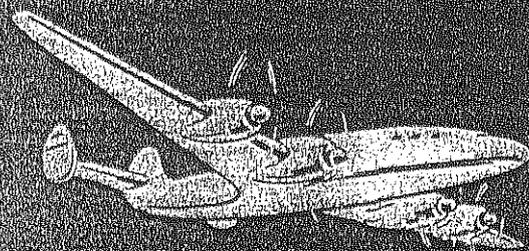
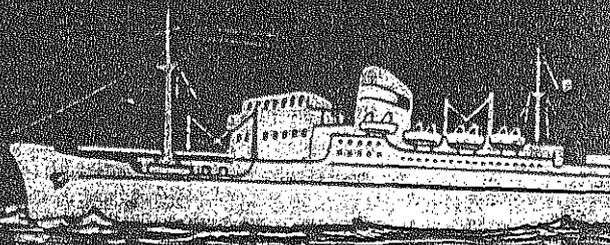


NAVIGATION

REVUE TECHNIQUE

DE NAVIGATION MARITIME AÉRIENNE ET SPATIALE



TRIMESTRIELLE
Vol. IX

NUMÉRO 35
JUIN 1961

THÈME XI (18 mai 1961)

PERSPECTIVES SUR L'AUTOMATISATION DU CONTRÔLE DE LA CIRCULATION AÉRIENNE

par J. VILLIERS

INGÉNIEUR EN CHEF DE LA NAVIGATION AÉRIENNE

Les exposés précédents ont montré les méthodes actuellement utilisées pour le contrôle (1) de la circulation aérienne dans les régions à grande densité de trafic. M. GRIVEAU, en particulier, nous a fort bien expliqué, dans le cas de la région parisienne, le tracé des routes aériennes et nous a laissé entrevoir la complexité des procédures utilisées pour assurer, dans les meilleures conditions possibles, la séparation des différents types de trafic (Orly et Le Bourget), avion arrivant et partant, avions en transit.

La puissance et la souplesse des techniques modernes du traitement et de l'affichage de l'information permettent aujourd'hui d'envisager une transformation, plus ou moins complète, des méthodes en usage pour le contrôle de la circulation aérienne.

Il n'est pas possible de tenter d'explorer l'influence de l'introduction de moyens nouveaux sur l'évolution probable de ce contrôle dans les années futures sans analyser, au préalable, les particularités spécifiques du trafic aérien puis les caractéristiques essentielles, les limitations et les faiblesses du dispositif de contrôle actuellement en service.

La création de voies aériennes ou d'itinéraires prédéterminés apporte une restriction à la liberté de vol des avions mais contribue largement à simplifier le problème du contrôle de la circulation aérienne. Un examen superficiel pourrait laisser penser que l'acheminement d'un trafic aérien sur N couloirs, chaque couloir comprenant P niveaux d'altitude utilisables, se ramène à un problème assez similaire à celui d'un réseau de chemin de fer comprenant un nombre de voies distinctes égal au point $N \times P$. Malheureusement, le contrôle de la circulation aérienne se trouve considérablement compliqué pour de nombreuses raisons, parmi lesquelles les suivantes sont les plus significatives :

a) pour atteindre leur altitude de croisière, pour en redescendre, ou, d'une manière générale, pour obtenir les performances optimales, les avions sont amenés à changer fréquemment d'altitude et à occuper ainsi successivement de multiples tronçons de $N \cdot P$ voies définies ci-dessus ;

(1) Dans tout le texte les mots « contrôle » et « contrôleur » seront pris dans le même sens que les mots anglo-saxons de « control » et « controller ».

b) comme les gares terminales ferroviaires, et à un degré encore plus accentué, les aéroports n'offrent aux avions qu'un nombre restreint de voies d'approche (au maximum une ou deux pistes pour les arrivées et les départs), et il importe d'assurer en temps utile les aiguillages de toutes les voies d'accès sur la voie unique (ou double) réservée à l'atterrissage, tout en conservant les séparations exigées par la sécurité aérienne (transformation d'arrivées aléatoires en échelonnements réguliers);

c) les vitesses des avions sont réparties sur une gamme très large couvrant plus de trois octaves;

d) la position instantanée des avions n'est pas connue au sol d'une manière continue et précise. La situation future (ou estimée) ne peut être appréciée qu'avec une marge d'incertitude assez importante en raison du vent et d'autres phénomènes météorologiques (concentrations orageuses ou turbulentes, absence de visibilité sur un aéroport, etc.), ainsi que des multiples perturbations du trafic plus ou moins prévisibles (pannes radio d'un avion, incidents de vol divers, etc.);

e) les exigences actuelles du transport aérien, formulées implicitement par les passagers et explicitement par les Compagnies, ne se prêtent pas à la planification à long terme des vols et, en particulier, à leur distribution régulière au cours de la journée et de la nuit. Les Centres, plus de 10 % du trafic journalier; l'Aéroport d'Orly, par exemple, reçoit, pendant l'heure de pointe, 12 % des avions atterrissant au cours de la journée.

Cette situation, liée à l'imprécision de la prévision à moyen terme des positions des avions en vol, montre que le contrôle de la circulation aérienne doit assurer son service par une planification à très court terme (de l'ordre de la demi-heure au maximum). Cette planification devant être remise fréquemment en question et réaménagée chaque fois que l'on constate que le trafic ne se déroule pas exactement selon les prévisions;

f) les règlements de la circulation aérienne prévoient des normes de séparation très sévères en raison même de l'imprécision des vols (en position et en vitesses horizontales et verticales), de sorte que, malgré l'utilisation plus ou moins complète de ses trois degrés de liberté, l'espace aérien est en fait bien exigü, particulièrement dans les régions terminales. Actuellement, par exemple, les 30 000 km² centrés sur Paris, et comprenant trente couches d'altitude utilisables, peuvent être considérés comme saturés dès que plus de cinquante avions y évoluent simultanément. Cette saturation provient non seulement du faible débit des aéroports, mais encore de ses répercussions sur l'échelonnement (et les attentes) des avions en arrivée et au départ;

g) il n'existe pas, actuellement en service, d'avertisseur d'abordage propre à renforcer la sécurité par le déclenchement d'une alarme lorsque les normes de séparation ne sont pas remplies pour des raisons qui ont pu échapper au responsable du trafic (block system).

Fort heureusement, le problème n'a pas été aussi complexe dès la naissance du transport aérien et les structures et méthodes qui ont été mises progressivement en place ont permis un sain développement de la circulation aérienne. Cependant, comme pour la circulation routière, ou pour tout type

de circulation à caractère aléatoire, les probabilités d'embouteillage augmentent beaucoup plus vite que l'augmentation du trafic lui-même.

La circulation aérienne arrive actuellement au point critique et les responsables recherchent activement de nouvelles méthodes et de nouveaux moyens pour faire face à la situation des années futures pour lesquelles une augmentation du trafic doit être prévue. Les différentes études en cours pour préparer l'avenir ne peuvent pas être passées en revue avant d'analyser au préalable les limitations essentielles des procédés actuellement utilisés.

On sait que la responsabilité de l'écoulement du trafic aérien est partagée entre les Centres de Contrôle Régionaux (C.C.R. et F.I.R.) et les tours de contrôle d'aérodrome. Au sein de ces organismes (et particulièrement des C.C.R.), le volume du trafic aérien dépasse largement les possibilités d'une seule équipe (contrôleur et aides-contrôleurs). En conséquence, le domaine d'action d'un C.C.R. est partagé en plusieurs secteurs confiés chacun à un contrôleur (et à ses aides). La compétence d'un secteur s'étend à une portion limitée du volume total.

Chaque secteur dispose d'une fréquence VHF pour les liaisons air-sol et sol-air avec les avions évoluant dans le volume correspondant. Comme il est bien connu, le contrôle, dans chaque secteur, s'effectue à l'aide d'un tableau comprenant des bandes de progression, ou « strip ». Chaque strip correspond à la portion de vol d'un avion relativement à un point de report donné (1). D'une manière générale, le contrôleur, en analysant le tableau de progression, prend une connaissance synoptique de la situation actuelle et future des vols sous sa responsabilité; les renseignements sont classés sur les strips et les strips sont échelonnés sur le tableau, de telle manière que les informations concernant un même paramètre se trouvent rassemblées (le paramètre peut être la balise, l'heure ou l'altitude), de façon à permettre une interprétation de la situation aussi immédiate que possible.

Le contrôleur reçoit en principe les strips concernant chaque vol avant que l'avion se présente dans son secteur. Ces strips sont établis manuellement par un personnel peu spécialisé (qui reçoit ses informations par l'intermédiaire du service fixe : télétype, téléphone), puis distribués aux secteurs intéressés.

Les renseignements portés sur le strip ne constituent que des prévisions et le contrôleur a, en particulier, la charge :

a) de tenir à jour le strip, en fonction des éléments que lui communiquent les avions en vol;

b) d'informer les unités de contrôle adjacentes et de s'informer auprès d'elles;

c) de prendre les décisions et de les notifier aux avions.

L'interprétation du tableau de strip, supposé tenu à jour avec des renseignements précis et valables, et l'élaboration des décisions imposent

(1) En France, cependant, on utilise un strip par secteur et non un strip par point de report.

une grande agilité d'esprit et une très longue expérience de la part du contrôleur, mais, en raison même de l'organisation du tableau, nécessitent plus d'attention soutenue que de temps.

Il n'en est pas de même de la collecte des informations nécessaires à la tenue à jour du tableau qui absorbe la quasi-totalité du temps du contrôleur et de ses adjoints. De plus, les renseignements ainsi acquis souffrent d'imprécision et de retard. En particulier, on n'est renseigné sur la position actuelle et future des avions que lors de l'échange de messages air-sol par lesquels le pilote fait connaître son instant de passage sur un point de report, son heure de passage estimée sur le point suivant ou, éventuellement, son intention de modifier son vol par rapport au plan de vol préétabli.

On conçoit ainsi que l'on exige du contrôleur, en plus de sa fonction essentielle de responsable de l'échelonnement des avions, des fonctions de standardiste en liaison, par une ligne unique, avec tous les avions sous dépendance (fréquence VHF) et, par de nombreuses lignes téléphoniques avec toutes les unités de contrôle adjacentes.

Le nombre d'avions que peut contrôler simultanément un secteur est donc essentiellement limité par la saturation du contrôleur, par ses tâches annexes liées à l'acquisition des informations nécessaires à la tenue à jour de son tableau de progression et à la connaissance des éléments de tableaux des strips adjacents susceptibles de réagir sur son trafic (en particulier, pour les transferts qui nécessitent l'accord des deux contrôleurs intéressés).

Le radar apporte cependant une aide au contrôle du trafic, mais on connaît fort bien les limitations de ce dispositif. Actuellement, le radar ne fournit, en effet, aucune information sur l'altitude et l'indicatif des avions ayant donné naissance à un « écho » sur son écran cathodique. Le contrôleur peut effectuer une corrélation entre les renseignements du radar et ceux du tableau de strip et remédier à cette carence au prix, cependant, d'un effort d'attention et d'une dépense de travail non négligeable.

On admet généralement qu'un contrôleur et ses adjoints ne peuvent guère prendre en charge, en heure de pointe, plus de dix ou quinze avions, et nous venons de voir que son attention ne peut pas être uniquement axée sur l'interprétation de la situation. Ce sont, au contraire, les tâches annexes qui limitent la capacité d'un secteur.

Face à l'accroissement du trafic on a donc été amené à partager l'espace contrôlé par un C.C.R. en un nombre croissant de secteurs : par exemple, à Paris on comptait deux secteurs en 1950, six en 1955, treize en 1960.

Malheureusement, la division du travail n'apporte pas une solution définitive au problème.

En effet, les liaisons d'interaction des secteurs croissent rapidement en fonction du nombre de ceux-ci.

Il est bien démontré que, dans un volume donné, huit secteurs de contrôle ne peuvent pas absorber deux fois le trafic acceptable pour quatre secteurs de contrôle.

Il suffit de reprendre l'exemple de Paris pour s'en convaincre. Cet exemple serait d'ailleurs encore plus probant si l'on montrait que la complexité du travail exigé de chaque contrôleur, et la fatigue qui en découle, ont largement augmenté au cours de ces dernières années.

Une statistique récente, effectuée aux États-Unis d'Amérique, a montré que sur ce territoire on trouvait, en heure de pointe, en moyenne trois contrôleurs en activité pour deux avions en vol.

Le dispositif entièrement manuel actuellement mis en œuvre est donc peu économique et surtout peu apte à une extension ultérieure.

Si la sécurité de la prévention des collisions est actuellement assurée à un niveau satisfaisant, il n'en reste pas moins que de récents abordages dramatiques ont attiré l'attention sur les limites mêmes de cette sécurité.

Fort heureusement, il est possible de prévoir la mise en place de moyens nouveaux, susceptibles d'apporter des améliorations importantes aux méthodes actuelles.

Il est encore difficile de dégager dès maintenant la philosophie d'un système complet définitif.

Toutefois, les améliorations qui vont être apportées dans de nombreux domaines sont sélectionnées en vue de leur intégration ultérieure dans un dispositif complet, souple et, peut-être, entièrement automatique.

Nous allons tenter d'analyser les perfectionnements qui font actuellement l'objet de recherches. Nous étudierons successivement : le service fixe, le calcul, l'impression et la distribution des strips; le calcul automatique des conflits à moyen et court terme, l'affichage et le transfert des informations et nous tenterons, avec le maximum de précautions imposé par la complexité du problème, de rechercher ce que pourraient être les solutions d'avenir dans le cadre d'un automatisme plus ou moins complet.

SERVICE FIXE

Le réseau du service fixe des années passées pouvait convenir à l'acheminement des plans de vol pour des avions lents et rares, mais il est bien connu que sa rénovation complète devra être entreprise aussi bien dans la texture du réseau que dans les méthodes utilisées dans les Centres de Transit des messages. On estime actuellement à moins de 20 % le nombre de « plans de vol » qui peuvent être effectivement exploités par le contrôleur responsable avant qu'il ne prenne l'avion en charge. C'est pourquoi, au prix d'un effort financier considérable, les États responsables de l'acheminement du trafic des messages télégraphiques prévoient d'équiper leurs Centres de Transit en dispositifs semi-automatiques ou automatiques de transfert pour gagner un temps précieux. On peut, dès maintenant, entrevoir le moment où les messages de circulation aérienne (émanant des Centres de Contrôle ou des Compagnies) ainsi que les messages de météorologie seront acheminés sans manipulation intermédiaire entre l'expéditeur et le destinataire ou, dans un stade futur, entre l'expéditeur et les calculateurs destinés à les exploiter.

CALCUL ET IMPRESSION DES STRIPS

Dans la très grande majorité des grands Centres de Contrôle Régionaux, les strips sont actuellement rédigés à la main, après un calcul sommaire. Ce travail est effectué par une équipe de personnels, moins spécialisés que les contrôleurs affectés aux secteurs.

L'automatisation de cette tâche annexe doit être analysée sous plusieurs angles : rentabilité, efficacité.

Il n'est pas certain que l'automatisation, appliquée à ce domaine partiel, apporterait une économie appréciable de temps et de dépense aussi longtemps qu'il faudrait maintenir en service une équipe de personnel pour transcrire sur un clavier les renseignements contenus dans les plans de vol. L'économie sera beaucoup plus évidente le jour où ces renseignements seront introduits dans le calculateur, directement par l'expéditeur (Centres de Contrôle adjacents, Compagnies aériennes, etc.).

Cependant, cette automatisation permet d'imprimer les multiples strips nécessaires à la méthode de contrôle dite par « points de report » (huit ou même dix strips pour certains vols), sans travail supplémentaire.

D'autre part, les strips pourraient être calculés d'une manière beaucoup plus précise à partir des données du plan de vol, des performances propres de chaque type d'avion (en particulier dans les phases de montée et de descente) et des données météorologiques concernant le vent prévu aux différentes altitudes traversées par l'avion.

Le choix de la grandeur des caractères imprimés sur le strip et la nécessité de prévoir des caractères de tailles très différentes selon la nature de l'information posent un problème irritant. On sait que les « imprimantes » des calculateurs classiques se prêtent mal à l'impression de caractères alphanumériques de tailles variables, et les avis sont encore partagés sur l'opportunité de développer une imprimante spéciale. L'étude d'une telle machine est en cours en Grande-Bretagne.

Il est fort probable que le principe même de la création et de l'exploitation des strips ne sera pas remis en question aussi longtemps que les Centres de Contrôle ne seront pas partiellement ou complètement automatisés.

L'utilisation des strips a fait ses preuves et ses documents présentent des avantages certains sur les dispositifs d'affichages électromécaniques ou cathodiques. En effet :

- ils sont stables, ne peuvent être accidentellement détruits, relatent toute l'histoire du vol et peuvent être stockés pour archivage;
- ils sont facilement modifiables à la main;
- ils sont transférables d'un secteur à un secteur voisin;
- ils peuvent, éventuellement, être acheminés automatiquement du lieu où ils sont imprimés aux secteurs intéressés, ou, éventuellement,

Des propositions sont toutefois faites, comme il le sera expliqué ci-après, pour remplacer les strips par des dispositifs électromécaniques.

AMÉLIORATIONS DE LA CONNAISSANCE DE LA POSITION DES AVIONS

Nous avons déjà noté que le radar contribue notablement à l'apport d'informations sur la position instantanée des avions. Cependant, même complété par des répondeurs de bord (radars secondaires), ce procédé ne semble pas apte, sous sa forme actuelle, à donner une connaissance permanente et complète du trafic sous une forme directement exploitable par des contrôleurs et, ultérieurement, par des calculateurs électroniques.

Deux types de procédés pour acquérir ces données sont actuellement en cours d'étude, de développement ou d'essais. Les uns sont indépendants du radar (« data-link »), les autres, au contraire, consistent à utiliser des calculateurs arithmétiques pour tirer un parti plus complet du radar, grâce à l'extraction et à la manipulation automatique des informations qu'il recueille.

Il n'entre pas dans le cadre de cet exposé de décrire en détail les multiples procédés d'échanges automatiques d'informations entre les avions en vol et le Centre de Contrôle. Ces dispositifs, désignés sous le vocable de « data-link » — terme difficile à traduire élégamment en français — utilisent un partage automatique dans le temps d'une voie de communication entre un grand nombre d'avions. Les canaux indépendants de transmission ainsi créés sont attribués successivement pour l'émission et la réception de messages codés conventionnels.

L'utilisation des data-links pour permettre à chaque avion de transmettre au sol ses coordonnées paraît extrêmement séduisante. Il est, en effet, curieux de constater que, dans le stade actuel du contrôle de la circulation aérienne, les avions convenablement équipés peuvent connaître, d'une manière *continue* et relativement *précise*, leurs coordonnées (par exemple, azimuth-distance avec le système standard VORTAC et altitude grâce aux altimètres barométriques ou radio-électriques), mais que les services responsables de l'écoulement du trafic n'ont accès à ces informations que par l'échange de communications radiotéléphoniques (VHF), donc d'une manière très discontinue (et, en conséquence, imprécise) et se prêtant mal à une automatisation directe ultérieure. On a d'ailleurs déjà noté ci-dessus l'ampleur de la tâche imposée par ces communications aux contrôleurs et l'embouteillage des canaux de transmission VHF qui en découle.

Dans l'intéressant exposé que vous entendrez ultérieurement, mon collègue et ami le Capitaine STERN, de l'Aviation militaire française, recherchera les avantages qui peuvent découler de l'exploitation complète des possibilités offertes par le radar. Cette approche du problème permet de s'affranchir de l'équipement des avions.

responsables français civils et militaires et de déflorer ainsi (bien superficiellement) la documentation qu'il va nous présenter.

Dans le dispositif commun Strida-Cautra les radars couvrant la zone à contrôler sont dotés d'extracteurs automatiques d'information et de calculateurs de piste permettant d'obtenir et de traduire en code digital les coordonnées et les vitesses des avions telles qu'elles découlent de l'analyse des signaux du radar. Chaque groupe d'informations concernant un avion est stocké dans un mémoire à ferrites avec une adresse arbitraire (numéro de piste). Ces fonctions sont assurées par les calculateurs du Strida.

Par ailleurs, les positions des avions (de la circulation aérienne générale), estimées par les Centres de Contrôle Régionaux, sont introduites dans ces mêmes calculateurs qui assurent la corrélation entre ces deux informations afin d'associer au « numéro de piste » l'indicatif de l'avion concerné.

L'un des objectifs d'une telle organisation est de fournir au contrôleur de la circulation aérienne des données continues, précises et complètement informées de la position des avions dont il assure l'échelonnement.

Il n'est guère possible de comparer les mérites respectifs du data-link et de l'association radar-calculateur dont certaines fonctions visent un but similaire.

Il n'est pas absurde de penser que, dans un avenir plus ou moins lointain, ces deux dispositifs pourront se coupler harmonieusement pour apporter au contrôle de la circulation aérienne des données sûres, précises et continues obtenues par deux moyens indépendants et complémentaires. Dans cette même perspective d'indépendance et de recoupement des sources d'information, on peut noter une autre solution fort séduisante qui consisterait à faire assurer, par un calculateur relativement simple, une corrélation automatique directe entre les informations extraites du radar et celles qui proviennent directement des avions par la voie du data-link.

Quelles que soient les solutions que l'expérience amènera à retenir, il n'est pas déraisonnable de penser que tôt ou tard on ne pourra plus envisager le contrôle de la circulation aérienne sans la mise en œuvre de procédés susceptibles de renseigner efficacement et automatiquement les hommes ou les calculateurs responsables de l'efficacité et de la sécurité de l'écoulement du trafic aérien.

On peut bien facilement réaliser quelles seraient les difficultés que rencontrerait un sergent de ville si on lui imposait d'acheminer le trafic routier sur la place de la Concorde, en ne lui octroyant que les seuls moyens dont disposent actuellement les contrôleurs de la circulation aérienne et en supposant que les automobilistes ignorent tout de la position des véhicules qui les entourent. Il est particulièrement évident que la Place de la Concorde n'en serait que plus dégagée pour le touriste mais que seuls de rares individus pourraient conserver le privilège d'utiliser leur auto (1).

AUTOMATISATION DU CONTROLE DE LA CIRCULATION AÉRIENNE

Pour prendre à chaque instant les dispositions les meilleures pour assurer l'écoulement sûr et rapide de la circulation aérienne, le contrôleur interprète la situation du trafic et son évolution probable en fonction des règlements en vigueur (normes de séparation) et des performances de chaque avion. Cette tâche du contrôleur est double puisqu'il doit prévoir les conflits possibles et résoudre les conflits potentiels en choisissant la solution la plus favorable.

Rien ne s'oppose, *a priori*, à ce qu'un calculateur disposant des mêmes informations que celles qu'acquiert le contrôleur, puisse effectuer les mêmes fonctions que ce dernier.

Une analyse plus minutieuse fait apparaître la complexité et l'importance du calculateur qui serait nécessaire. Une telle étude ne manque pas de frapper d'étonnement devant les capacités surprenantes d'un contrôleur entraîné qui peut, d'un coup d'œil, résoudre des problèmes dont la solution n'est à la portée que de calculateurs extrêmement évolués et puissants.

Toutefois, nous avons remarqué qu'une organisation complexe, basée sur l'exploitation par l'homme non assisté, présentait peu de souplesse et ne se prêtait pas à une croissance illimitée.

Le problème se pose donc de savoir, d'une part, si un calculateur peut apporter une aide efficace à un contrôle manuel et, d'autre part, si un calculateur peut être capable de remplacer le contrôle manuel dans un avenir plus ou moins lointain.

En ce qui concerne le contrôle de la circulation aérienne, l'expérience de l'apport des techniques de manipulation automatique de données est encore beaucoup trop limitée pour que l'on puisse actuellement apporter une réponse certaine à la deuxième question.

Par contre, on peut entrevoir dès maintenant comment utiliser un calculateur en parallèle avec une exploitation classique.

La mémoire permanente du calculateur peut être chargée de renseignements tels que les normes de séparation, les performances des différents types d'avions, les positions des balises, points de report et routes aériennes, le programme général et les sous-programmes, ainsi que les informations d'ordre météorologique renouvelées autant que besoin.

On peut de même introduire systématiquement dans les mémoires du calculateur les données concernant les prévisions (plans de vol) et le déroulement effectif des vols et conserver ces informations tant que le vol intéresse la zone contrôlée.

Chaque nouvelle introduction d'une information concernant un vol peut automatiquement donner lieu, dans le calculateur, à des calculs et comparaisons de nature à étudier les conséquences de cette nouvelle donnée,

(1) Rien dans ce texte ne permet de penser que l'auteur estime pour autant que la vie parisienne en deviendrait moins agréable, ou moins adaptée à la nature physiologique et psychique des Parisiens et de leurs hôtes.

et, en particulier, à rechercher si elle n'est pas génératrice de conflit dans un délai arbitrairement fixé (par exemple, 10 à 30 mn) (4).

Au cas où le calculateur détecterait une incompatibilité, les éléments essentiels du conflit prévu pourraient être automatiquement communiqués au contrôleur responsable (recherche automatique des conflits). On pourrait envisager que le calculateur élabore une ou plusieurs solutions au problème et communique au contrôleur les propositions de modification d'un ou plusieurs vols qui seraient de nature à faire respecter les normes de séparation (optimisation des décisions).

Enfin, le calculateur pourrait apporter une aide précieuse pour rechercher, à chaque moment, la solution la meilleure pour transformer les arrivées des avions en ordre aléatoire sur des voies diverses, en un flot continu et régulier sur la trajectoire d'approche finale des aéroports (optimisation du débit des aéroports, optimisation des trajectoires d'arrivée).

En raison de la complexité de ces problèmes et du nombre considérable de paramètres en jeu, il n'a pas encore été envisagé de demander aux calculateurs de résoudre les problèmes d'optimisation, dont la technique est du ressort du calcul opérationnel et dont les éléments d'appréciation sont fort difficiles à définir complètement *a priori*. Par contre, la recherche automatique des conflits a donné lieu à des études sérieuses et, dans divers pays, des programmes de calcul existent et sont ou seront prochainement mis en expérimentation. Les études les plus évoluées traitent non seulement le problème sur les voies aériennes mais encore sur tout itinéraire allant de tout point quelconque à tout autre point quelconque de la zone à contrôler.

Par ailleurs, le calculateur est aussi capable de calculer les positions instantanées des avions telles qu'elles découlent de l'analyse des plans de vol (et de leurs modifications), et de fournir à un rythme régulier (par exemple, toutes les 10 s) des informations susceptibles d'être affichées sur un écran cathodique. L'image ainsi obtenue ressemble à celle que donnerait un radar avec pour avantage que chaque position est accompagnée de caractères alphanumériques définissant l'indicatif et l'altitude de l'avion. Les techniques modernes permettent de superposer sur un même tube cathodique l'image d'un radar et l'image synthétique ci-dessus définie, facilitant ainsi au contrôleur l'étude de la corrélation entre les « plots synthétiques » (positions estimées des avions) et les « plots radar ». Le même écran peut recevoir ainsi, dans une partie peu utilisée de sa surface, les prévisions de conflit effectuées par le calculateur. Le contrôleur pourrait ainsi, à sa discrétion, afficher sur son écran un ou plusieurs types d'informations :

- plots radar;
- totalité des plots synthétiques;
- plots synthétiques des avions en conflit;
- plot synthétique de n'importe quel avion dûment désigné;
- tableau des conflits.

Il est évident que la calculatrice pourrait rendre de nombreux autres services dans le centre de contrôle, tels que l'impression des strips et l'acheminement sélectif vers une position de contrôle d'une donnée introduite par une autre position (coordination automatique entre les contrôleurs).

Pendant, plus que dans tout autre problème d'utilisation des calculatrices, l'étude des « entrées » et des « sorties » des informations se pose d'une manière délicate.

ENTRÉE ET SORTIE DES INFORMATIONS

L'entrée initiale des plans de vol peut facilement être effectuée par des opérateurs peu spécialisés ou, directement, à partir des centres où ces plans de vol sont élaborés.

Si l'on suppose que le Centre de Contrôle n'est pas alimenté automatiquement en informations sur la position instantanée des avions, les modifications au déroulement des vols ne sont d'abord connus que des contrôleurs de secteur eux-mêmes (par radiotéléphonie VHF).

Nous avons vu que les renseignements consignés dans les strips ne constituent que des estimations qui seront précisées ou modifiées au fur et à mesure du déroulement effectif des vols.

La remise à jour (up-dating) des informations peut être analysée sous différents aspects suivant la manière dont sont collectés les renseignements pouvant nécessiter la modification des estimations.

Dans le cas où le contrôleur recueille lui-même une information qui n'intéresse que son secteur, il peut remettre simplement son strip à jour à la main. Dans tous les cas où ces informations sont recueillies sans que le contrôleur intéressé ait à intervenir directement, il convient de les acheminer à celui-ci d'une manière aussi souple que possible. Nous supposons d'abord que les renseignements émanent d'une unité de contrôle adjacente et nous étudierons ultérieurement les conséquences de l'emploi de dispositifs automatiques de détermination de la position des avions. Deux types de procédés sont envisagés suivant que la nouvelle information est directement ou indirectement transcrite sur le tableau de progression du contrôleur.

La Federal Aviation Agency (U.S.A.) expérimente actuellement des procédés permettant l'impression directe et automatique des nouvelles données sur les strips en cours d'exploitation.

L'Administration hollandaise s'oriente dans le même sens, en utilisant un tableau de progression ne comprenant plus de strip mais des dispositifs électromécaniques positionnant des caractères (indicatifs d'avion, heures, altitudes, etc.) disposés comme dans un strip classique.

Il est clair que ces solutions imposent au contrôleur de chaque secteur une charge supplémentaire puisqu'il doit transcrire sur un clavier (ou un

On notera cependant que le système à chiffres sautants n'assure pas la pérennité des informations et présente en ce sens une déficience en cas de panne partielle ou totale du dispositif.

D'une manière plus générale, on peut contester l'intérêt de la modification automatique des strips d'un contrôleur sans intervention de ce dernier. Il en découle, en effet, deux inconvénients dont l'importance est encore difficile à évaluer: d'une part, les renseignements nouveaux risquent d'échapper à l'attention du contrôleur intéressé et, d'autre part, le contrôleur risque de moins bien les assimiler et les retenir en mémoire latente que lorsqu'il en a assuré lui-même la transcription manuelle.

C'est pourquoi il serait intéressant d'expérimenter le système dit de « télévision asservie » fonctionnant de la manière suivante. Il serait créé au sein du Centre de Contrôle une unité dite de « mécanographie ». Cette unité disposerait d'autant de récepteurs de télévision que de secteurs à servir. Chaque agent de cette unité utiliserait un clavier et devrait pouvoir servir quatre à cinq secteurs. Chaque récepteur de télévision recevrait les images élaborées par une caméra fixée au-dessus du tableau de progression du secteur correspondant. Lorsque le contrôleur d'un secteur porterait manuellement sur un strip une indication nouvelle, il lui suffirait de désigner (par l'enfoncement de deux boutons-poussoirs) la position verticale et horizontale de la modification qu'il vient d'effectuer. Ces indications seraient mises en mémoire et la caméra viendrait, successivement et automatiquement, se pointer sur les portions de strip intéressées, au fur et à mesure que l'opérateur mécanographe en aurait assuré la transcription sur un clavier. Les données ainsi introduites seraient transmises vers les secteurs intéressés par le calculateur. Elles seraient affichées sur des « visualiseurs » (cathodique ou électromécanique) disposés sur chaque pupitre de secteur.

Le contrôleur de chaque secteur analyserait son visualiseur et reporterait, autant que besoin est, les informations sur ses strips.

Cette solution simple et peu onéreuse alourdit quelque peu le mécanisme de l'entrée des informations et du transfert mais ne devrait pas présenter, par ailleurs, d'inconvénient important. Elle permet :

- de décharger les contrôleurs de la manipulation de clavier;
- d'assurer la conservation du strip et de ses avantages;
- de faire prendre conscience au contrôleur de toute situation nouvelle avant que son tableau de progression ne soit automatiquement modifié.

Dans un stade ultérieur, on pourrait envisager que le calculateur soit alimenté en informations continues et précises en provenance de data-links, de radars automatiques ou de système radar/data-link.

De même, ces informations pourraient être présentées sur un écran cathodique en lieu et place des « plots synthétiques » qui ont été définis ci-dessus. On pourrait aussi envisager de procéder automatiquement au « recalage » des plans de vol en ouvrant ainsi la porte à une solution de contrôle entièrement automatique.

CONCLUSIONS

Il apparaît à l'analyse que de très grandes analogies existent entre le problème du contrôle régional et les problèmes types de contrôle de gestion administrative des entreprises. Dans l'industrie, par exemple, le lancement d'une commande nouvelle nécessite l'étude de la comptabilité de cette commande avec les commandes antérieurement lancées, tant en ce qui concerne les stocks de matière que le degré d'occupation des machines ou les disponibilités en main-d'œuvre. Ce processus peut valablement être comparé à celui qui est nécessaire pour étudier la comptabilité d'un vol nouveau avec tous les vols précédemment enregistrés. Ne peut-on pas valablement comparer aussi la facturation d'une commande à l'impression des strips, ces deux opérations débouchant sur l'impression d'un document calculé en fonction des caractéristiques de la commande ou du vol et des éléments préenregistrés dans le calculateur ?

L'analogie pourrait être poussée fort loin, mais une différence essentielle doit être auparavant mise en lumière.

Le contrôle de la circulation aérienne exige un travail *en temps réel*, c'est-à-dire que chaque introduction nouvelle d'information doit donner lieu à un contrôle immédiat ou avec un délai ne devant pas excéder, par exemple, une minute. Le contrôle de gestion des entreprises s'accommode au contraire, en général, d'un délai de l'ordre de la journée ou, pour certains travaux, de l'ordre d'un mois.

On peut donc dire que la capacité du calculateur de circulation aérienne doit être prévue pour la minute de pointe, alors que pour le calculateur de gestion courante cette capacité peut être prévue pour la charge moyenne journalière ou mensuelle. De plus, le calculateur de circulation aérienne doit être capable d'effectuer toutes les tâches quasi simultanément, alors que le calculateur de gestion peut effectuer les différents travaux d'une manière successive (en particulier, une même mémoire peut être utilisée à plusieurs fins).

Il apparaît, au premier abord, que les raisons qui incitent à automatiser la gestion administrative d'une entreprise soient de nature bien différentes de celles qui incitent en faveur de l'automatisation du contrôle de la circulation aérienne. La recherche de la *rentabilité* semble, en effet, être d'abord recherchée par les entreprises industrielles, alors que l'Aviation civile a l'accroissement de la *sécurité* pour motif essentiel.

En fait, ces deux impératifs sont souvent complémentaires et, en général, profondément imbriqués.

Si l'on analyse de plus près le rendement d'une gestion d'entreprise automatisée, on s'aperçoit le plus fréquemment que le progrès technique n'apporte pas de diminution importante des frais apparents en raison du prix élevé de location des calculateurs et du bureau de mécanographes qui assure son approvisionnement en information (cartes perforées).

Cependant, le calculateur est capable, sans frais supplémentaire, d'accomplir de nombreuses tâches, qu'une gestion manuelle ne serait pas

en mesure d'assumer, en particulier de présenter aux cadres responsables une situation synthétique claire et récente des facteurs importants de la marche de l'entreprise, lui permettant ainsi de prendre à chaque instant la décision la meilleure. La limitation du travail manuel provient de deux causes essentielles :

— la main-d'œuvre nécessitée par le traitement des informations en vue d'une saine gestion d'une entreprise devient si considérable qu'il ne peut pas être effectué manuellement. Il apparaît, au contraire, comme le sous-produit essentiel de la mécanisation du travail conventionnel. Les renseignements synthétiques ainsi élaborés permettent d'améliorer rapidement et efficacement la qualité de la gestion;

— l'accroissement de la main-d'œuvre supplémentaire ne peut pas s'effectuer simplement car elle implique une grande interpénétration des tâches (comptabilité, gestion de stocks, étude des ventes, organisation et planning des ateliers) qui nuit à l'organisation saine du travail et nécessite une coordination coûteuse et complexe.

Ainsi analysés, le problème de l'entreprise et celui du contrôle de la circulation aérienne ne présentent-ils pas des analogies frappantes ? On peut donc raisonnablement penser que le bénéfice de l'automatisation dans les deux cas devrait être de même nature :

— traiter plus d'informations sans accroître l'effectif humain et sans complication supplémentaire;

— présenter des situations claires, précisées et constamment mises à jour, afin de permettre aux cadres responsables de prendre les décisions les plus réalistes et mieux adaptées à la situation effective.

Il est difficile d'imaginer dès maintenant les stades ultérieurs de l'automatisation et de prévoir la part de responsabilité effective dans la prise de décision qui sera confiée au calculateur au détriment du contrôleur.

Pour une période vraisemblablement assez longue, il n'est donc envisagé que d'*assister* et de *superviser* le contrôleur. Il serait exagérément optimiste de rechercher dès maintenant à renverser les rôles du calculateur et de l'homme, ce dernier n'ayant plus pour tâche que de superviser les dispositifs électroniques automatiques.