

- 8 -

**"L'intelligence artificielle dans le contrôle de la circulation aérienne"**

**(ITA Magazine 1987)**





## TECHNIQUES

# L'intelligence artificielle dans le contrôle de la circulation aérienne

par Jacques VILLIERS  
Ingénieur général de l'aviation civile  
Chef de l'inspection générale de l'aviation civile  
et de la météorologie

Chacun sait que l'homme joue un rôle très important dans le contrôle de la circulation aérienne. Les progrès réalisés au niveau de la technologie, de l'automatisation et des infrastructures ont permis de diminuer l'importance du facteur humain. La prochaine étape dans ce sens passe par l'intelligence artificielle et l'objet de cet article est de déterminer jusqu'à quel point. C'est pourquoi l'auteur analyse le comportement de l'actuel contrôleur et tente de trouver quelle démarche cérébrale le conduit à agir.

Les réflexions présentées ici concernent les perspectives de l'intelligence artificielle au profit d'un système particulier de traitement de l'information en temps réel : le contrôle de la circulation aérienne.

Ce système bénéficie de l'assistance du traitement automatique de l'information depuis de très nombreuses années.

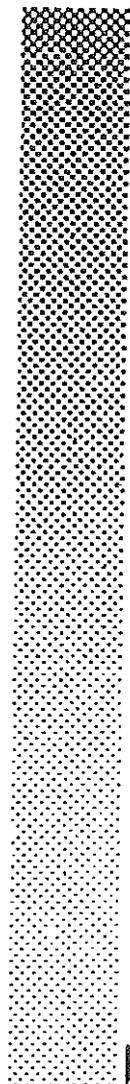
Il a subi au cours des ans une évolution progressive et reste encore susceptible de grandes novations.

L'expérience en ce domaine a montré que la trilogie conception/réalisation/formation constitue un tout indissociable et que tout progrès ne peut reposer que sur une analyse préalable approfondie des comportements et des modes opératoires des contrôleurs, c'est-à-dire de l'homme cognitif dans un environnement de temps réel et dans toutes les composantes de son activité : perception, mémorisation, organisation de son travail, analyse des situations, décision.

L'accès à la connaissance de l'homme/acteur et de l'homme/décideur au sein de ce système doit constituer la préoccupation centrale ; il a imposé le développement de méthodologies spécifiques et la coopération active des contrôleurs eux-mêmes.

Cette connaissance a joué un rôle aussi essentiel pour perfectionner le système manuel que pour déterminer la dévolution, au sein du système hybride homme/machine, des rôles respectifs de l'homme et de la machine ainsi que des modalités et des contenus de la communication bilatérale entre eux.

Dans un tel contexte, l'analyse du travail de l'homme/expert (le contrôleur) joue un rôle beaucoup plus large que celle qui aurait pour seul objectif de réaliser des programmes de calculateur susceptibles de reproduire les processus mis en œuvre par l'homme/expert, notamment en vue de les substituer à ces derniers.



Il y a certaines raisons de penser que les questions qui se sont posées, les méthodologies qui ont été développées, les options qui ont été progressivement prises (et les raisons qui ont imposé les choix) sont susceptibles de présenter un intérêt plus général que celui qui s'attache à la seule sphère du contrôle de la circulation aérienne.

Tout en prenant appui sur l'expérience acquise dans ce dernier domaine, mon propos trouvera peut-être quelque écho auprès de ceux qui, plus généralement, s'intéressent ou se consacrent aux systèmes comme celui-ci, dont les entrées comme les sorties ne sont constituées que par de l'information et dont le rôle exclusif est de produire de la décision en temps réel dans un environnement complexe.

La détermination du degré possible et souhaitable d'automatisation de tels systèmes impose de répondre successivement à des interrogations essentielles qui s'enchaînent en boucles d'itérations successives : pourquoi automatiser, jusqu'où et quoi automatiser, comment automatiser ?

---

### Pourquoi automatiser ?

---

La question de savoir pourquoi il faut automatiser tel ou tel système, à telle ou telle période de son évolution n'est pas de celles que l'on puisse considérer comme banales, bien que soit grande la tentation de considérer a priori que dans le domaine du traitement de l'information, les calculateurs sont plus doués et donc plus efficaces que les hommes, qui peuvent donc en être normalement éliminés.

Ceux qui l'ont cru trop rapidement pour le système de la circulation aérienne ont essuyé par le passé de cruels revers.

Parmi les objectifs qui peuvent être fixés à l'automatisation dans le domaine de la circulation aérienne figurent :

- l'abaissement des coûts (l'heure de contrôle en route participe à hauteur de 5 à 6 % du coût de l'heure de vol d'un avion de transport lourd, et la masse salariale constitue 68 % de ce coût du contrôle) ;

- l'affranchissement des défaillances humaines (défaut de vigilance ou d'appréciation) pouvant entraîner des collisions ;

- l'augmentation de la capacité du système en vue d'éviter les retards, les changements d'itinéraires et les attentes

en vol qui alourdissent les coûts d'exploitation des compagnies aériennes.

La tentation de recourir au traitement automatique de l'information est d'autant plus évidente que ce n'est pas, en général, la capacité intrinsèque de l'espace qui constitue le facteur limitatif des performances du système, mais le flux des informations à traiter et des tâches à accomplir par les contrôleurs qui, en pointe, ne doivent jamais dépasser leurs capacités effectives.

La segmentation de l'espace en volumes élémentaires de contrôle décroissants n'apporte qu'une solution partielle au problème de l'efficacité et de la saturation ; elle crée de nouvelles tâches (coordination), impose des recouvrements de compétence et segmente l'accès à l'information.

D'une manière générale de tels systèmes sont plus ou moins soumis à la loi quadratique de croissance des tâches et des problèmes lorsque le trafic croît linéairement.

Dans un tel contexte, il apparaît clairement que l'automatisation du traitement de l'information présente un intérêt majeur : le problème est d'en déterminer les limites et les modalités.

A cet effet trois ordres de problèmes doivent faire l'objet d'une investigation :

- la faisabilité d'explicitation des objectifs du système, ses critères d'optimisation et les algorithmes opératoires ;

- l'information disponible et les moyens de communication internes au système ;

- la sécurité.

---

### Explicitation des caractéristiques du système

---

L'objectif du système de contrôle de la circulation aérienne s'exprime d'une manière particulièrement simple et claire : il consiste à laisser évoluer aussi librement que possible le trafic tel qu'il se présente (selon le plan de vol des avions) et de prendre les dispositions minimales, c'est-à-dire les dispositions nécessaires et suffisantes, pour éviter toute collision.

Les critères d'optimisation visent à l'économie maximale des vols et sont d'autant mieux satisfaits que la condition précédente se trouve mieux remplie (minimisation des contraintes imposées à chaque vol du fait de la présence de l'ensemble du trafic).

Les algorithmes opératoires dans le système supposé automatisé peuvent être entièrement explicités sous forme logico-mathématique.

Donc, de ce point de vue, il apparaît que toutes les conditions nécessaires sont remplies pour que le système soit, par nature, entièrement automatisable et que les contrôleurs puissent être exclus à la fois des processus de décision, voire de toute participation à la conception et à la réalisation du système automatisé. Tout au plus pourrait-on considérer que l'explicitation préalable des modes opératoires actuels des contrôleurs (par des méthodes d'analyse d'expertise) pourrait permettre de simplifier ou d'alléger les programmes des automates en les enrichissant du « savoir-faire » des hommes qu'ils sont destinés à remplacer.

Cependant, si les conditions ci-dessus exposées sont bien nécessaires pour envisager une automatisation des processus de décision, elles n'en sont pas pour autant suffisantes.

Plusieurs domaines complémentaires doivent faire l'objet d'analyses plus approfondies :

- l'information disponible
- la décision dans l'incertain
- l'homme dans la boucle de communication
- la sécurité.

### L'information disponible

A tout moment toute décision (aussi bien de laisser faire que d'intervenir sur la trajectoire d'un avion déterminé) se fonde sur la connaissance de la position actuelle de tous les avions et sur la prévision de leur position future.

Or, si les positions des avions sont connues par le système avec une assez bonne précision, l'anticipation de leurs positions futures est entachée d'imperfections :

- soit en raison du caractère grossier de l'instrument de mesure (p.e. calcul des vitesses à partir des échos radar) ;
- soit par manque d'information précise (par exemple sur les vitesses d'évolution verticale des avions en montée ou en descente).

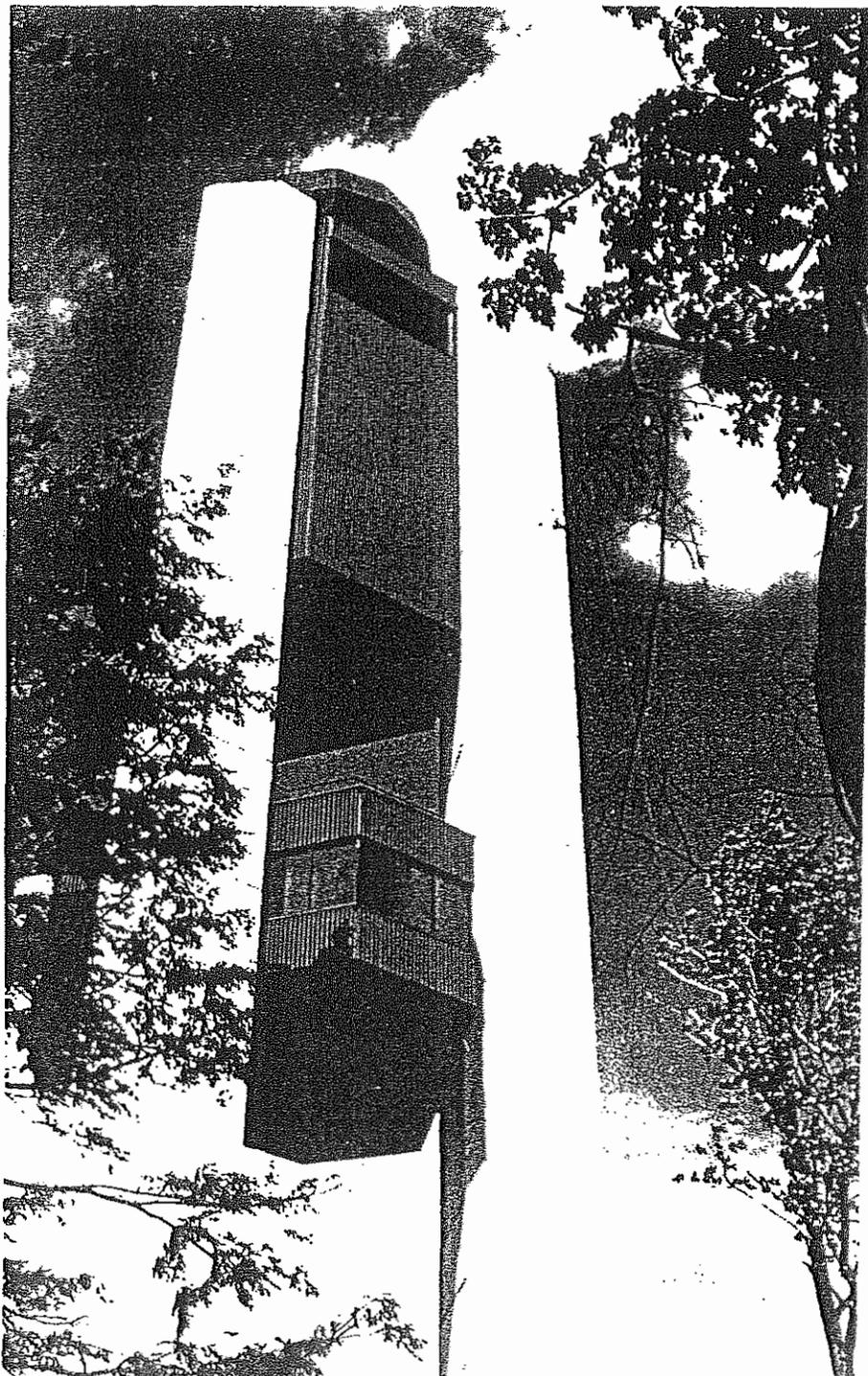
A ces imprécisions s'ajoutent celles qui sont introduites par le contrôleur qui procède plus par appréciation que par calcul ; et s'ajoutent aussi les événements imprévisibles (p.e. demande d'un

pilote pour une descente d'urgence ou pour contourner une masse nuageuse turbulente). Enfin, chaque élément de contrôle (secteur) ignore les avions qui ne lui ont pas encore été transférés par le secteur adjacent mais qui l'interféreront ultérieurement avec le flux du trafic qu'il a présentement en compte.

### La décision dans l'incertain

Il s'agit donc de décider dans l'incertain. Il existe ainsi une relation permanente entre toute décision et l'échéance future à laquelle on se place pour apprécier à la fois son opportunité et son contenu.

*Tour de contrôle de l'aéroport de Montréal-Mirabel, mis en service en 1975.*



L'action au sein d'un tel système doit trouver son juste équilibre entre une option essentiellement stratégique (visant à organiser le trafic avec une anticipation aussi grande que possible) et une option essentiellement tactique (qui consiste à n'intervenir que le plus tardivement possible avec un préavis juste limité au temps d'intervention nécessaire pour éviter une collision potentielle).

Ainsi replacée dans son contexte informationnel aléatoire, c'est-à-dire avec sa part d'imprévisible, l'explicitation des objectifs et des processus opératoires perd la simplicité apparente qu'on lui avait reconnue ci-dessus.

L'expérience montre cependant que, malgré le caractère incertain et incomplet de l'information disponible, des contrôleurs bien entraînés savent établir à chaque instant un juste compromis entre l'organisation du trafic (pour limiter le nombre de conflits potentiels ultérieurs) et l'intervention de dernier instant pour éviter les conflits résiduels.

Il va de soi que le contrôleur procède d'une manière heuristique ; il élabore et met en œuvre à chaque instant les solutions qui lui paraissent suffisamment satisfaisantes, pour adapter les flux des décisions qu'il prend au flux d'information qu'il reçoit.

Dans un tel contexte, la connaissance des comportements et des modes opératoires des contrôleurs présente donc un intérêt potentiel déterminant.

Peu de chose existe encore en ce domaine.

Sans risque d'erreur grossière, on peut cependant estimer que parmi les critères d'optimisation les plus fondamentaux implicitement pris en compte par les contrôleurs, figure la régulation de leur propre flux de travail.

C'est en effet ce flux qui conditionne la capacité effective du système, et plus spécifiquement pour un contrôleur donné et à un moment donné, c'est la régulation de ce flux qui le met à l'abri du stress voire d'un débordement éventuel futur dont il ne peut pas accepter l'éventualité. Réguler ce flux c'est aussi optimiser la capacité effective du système.

Dans l'hypothèse d'un système qui serait entièrement automatisé, la contrainte de régulation des flux de tâches disparaîtrait dès lors que la capacité et la puissance des calculateurs seraient prévues en conséquence.

Il se fait cependant que cette éventualité

ne pourrait constituer qu'une hypothèse d'école à ce stade de l'état du système.

En effet, l'homme reste encore nécessaire dans les communications internes au système et notamment pour la mise en œuvre des décisions.

Toute décision d'intervention pour altérer le flux naturel du trafic a donc pour effet d'augmenter la tâche globale des contrôleurs et des pilotes (temps d'intervention) et de perturber l'économie des vols.

Il s'ensuit en particulier que toute intervention de nature stratégique ne se justifie que si elle est susceptible de créer une situation plus stable et donc globalement moins consommatrice de tâches qu'un sursis à toute intervention, dès lors que celle-ci ne s'impose pas immédiatement.

La programmation éventuelle d'un automate pour remplacer ou pour assister l'homme pose donc des problèmes de même nature que ceux auxquels les contrôleurs sont confrontés.

---

### L'homme dans la boucle de communication

---

Dans les conditions actuelles, l'envoi des instructions de contrôle, de même que leur exécution par le pilote, restent tributaires des moyens de communications radiotéléphoniques.

On pourrait certes imaginer le recours à la voix artificielle pour l'envoi des instructions (ce qui serait aisé) et au décodage de la voix humaine pour les demandes et accusés de réception des pilotes (ce qui est encore loin des possibilités actuelles). Mais outre que cette dernière éventualité reste encore hypothétique, il y a tout lieu de penser (comme on le montrera ci-dessous) qu'elle ne se révélera pas utile, étant donné les évolutions susceptibles d'intervenir entre-temps.

Toujours est-il que dans l'état actuel et immédiatement prévisible, le maillon humain reste nécessaire ; il est consommateur de temps, et le temps est justement le paramètre limitateur de capacité et d'efficacité de ce système en temps réel.

---

### L'homme et/ou la machine

---

L'homme étant, et restant encore, dans la boucle d'exécution, le système est, et reste donc, un système hybride homme/machine. La détermination des

rôles respectifs de l'homme et des automates dans la boucle de décision pose alors sous un jour spécifique.

Il existe deux partis possibles dans la conception du système, selon qu'il est considéré que c'est l'homme ou c'est l'automate qui prend les décisions. Ils sont exclusifs l'un de l'autre et conditionnent fondamentalement le système.

La question préalable qui se pose est de savoir si la machine est capable, dans les conditions décrites ci-dessus, de faire mieux que l'homme.

Fort de d'un entraînement de plusieurs années pour acquérir les performances nécessaires, fort d'une connaissance approfondie des spécificités du trafic telle ou telle époque et à telle heure dans telle ou telle partie de l'espace, fort de l'intégration de centaines de situations vécues, les contrôleurs sont capables de trouver les bons compromis pour réguler leur tâche — du moins tant que le trafic ne dépasse pas une certaine intensité (qui est elle-même régulée en volume par un organisme spécialisé, le CORTA). Ils savent donner au flux de trafic une stabilité qui minimise les flux d'intervention, et donc par conséquent ne s'éloigne pas trop des conditions économiques optimales de l'exécution de l'ensemble des vols.

Compte tenu du caractère incertain et incomplet de l'information disponible, nul ne saurait prétendre, et encore moins prouver, qu'un ordinateur pourrait faire aussi bien, et a fortiori, mieux que les contrôleurs.

On a montré ci-dessus que, même si le parti était pris de confier la décision au calculateur, les contrôleurs n'en resteraient pas moins dans la boucle de communication/exécution.

Le fait que l'homme informateur/exécutant resterait au service de la machine et par ce fait même, observateur des décisions de celle-ci, aurait pour effet :

— d'abaisser le rôle de l'homme sans avantage ou économie notable,

— de laisser l'homme juge des performances de la machine qui risquent bien de se révéler pendant longtemps inférieures à ses performances propres.

Pour ces raisons, le contrôleur ne peut que rejeter un système dans lequel il serait mis au service de la machine.

C'est donc vers des systèmes d'assistance à la décision qu'il convient de s'orienter.

## La sécurité : décision et supervision

La finalité essentielle du système étant la sécurité, la question du partage des tâches entre l'homme et la machine se pose non seulement pour l'élaboration des décisions mais aussi pour la supervision du système en cas de défaillance plus ou moins complète de celui-ci.

En ce domaine aussi, le choix doit être très clair.

Il serait illusoire dans le cadre d'un système conçu pour donner le pouvoir de décision à la machine, d'escompter que l'homme, sorti de la boucle, puisse se substituer à tout moment à la machine défaillante, c'est-à-dire reprendre en main une situation qu'il n'a pas lui-même créée et dans un contexte qu'il n'a d'ailleurs pas mémorisé avec la même vigilance que s'il assumait lui-même, en permanence, la responsabilité de l'écoulement du trafic.

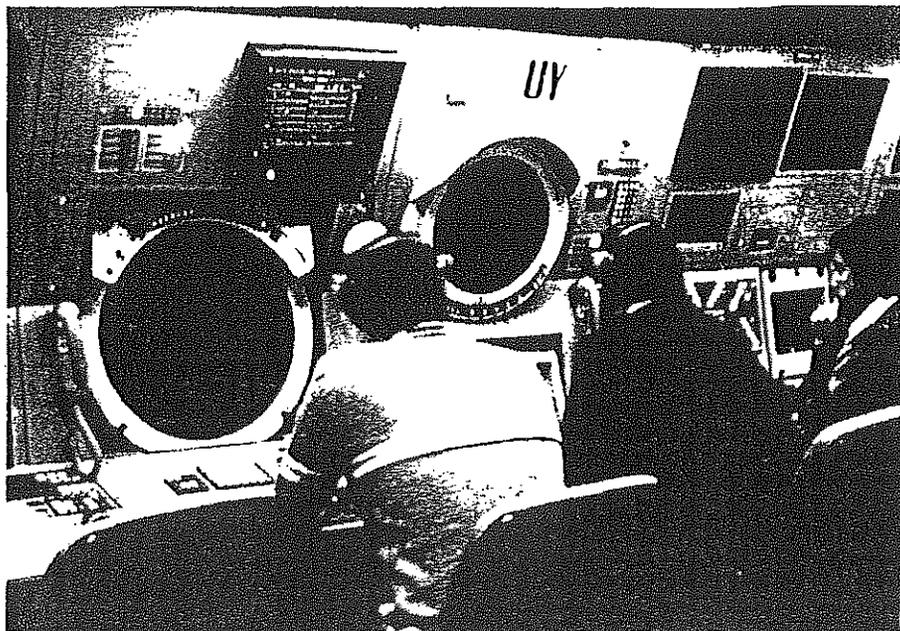
En revanche, dans un système resté manuel dans son essence (même si l'homme est conseillé et assisté par la machine) la machine est capable d'apporter une supervision de sécurité et déclencher en temps opportun une alarme lorsque, par suite d'une absence de vigilance ou d'une erreur d'appréciation, un danger à court terme se fait jour (filet de sauvegarde).

Le problème du maintien en état de

fonctionnement de l'ensemble des moyens matériels et logiciels (senseurs, calculateurs, visualisations, communications...) impose de son côté des choix de degré d'automatisation de même nature que le problème opérationnel. Ils ne se limitent pas à la seule maintenance (au sens classique du dépannage) mais requièrent une même réflexion en profondeur sur les rôles respectifs susceptibles d'être dévolus à l'homme et à la machine (supervision, détection de l'origine des pannes, substitution de matériels et de programmes, maintenance). Il s'agit d'un problème essentiel qui relève de la même approche que celle qui doit guider la conception du système ; il impose les mêmes réflexions fondamentales et les mêmes approches expérimentales sur les modalités opératoires et les limites des potentialités de l'homme/expert capable de dominer le fonctionnement d'ensembles à haute complexité. L'exemple des problèmes de cette nature est — malheureusement — bien connu dans le domaine des centrales atomiques. Il n'en reste pas moins entier dans chaque cas d'espèce et ne saurait être négligé.

La conception de la supervision doit faire partie intégrante de la conception du système et le champ de l'analyse de l'homme/expert doit donc englober tous les opérateurs soit qu'ils utilisent la machine soit qu'ils en maintiennent les performances.

*Le Centre Régional de la Navigation Aérienne de Reims, en service depuis février 1983, est le plus récent de France. La technologie y est omniprésente, mais la présence de trois personnes par console est encore, jusqu'à présent, nécessaire. (Source : Thomson-CSF)*



## L'état actuel du système

Dans le système actuel (CAUTRA) le calculateur n'est pas encore impliqué dans les processus de décision. Son rôle n'en est pas moins essentiel. Le calculateur maîtrise la majeure partie des flux d'information (plans de vol, radar...) et procède à la délivrance à chaque instant et à chacun des contrôleurs, de l'information nécessaire — et rien que l'information nécessaire — sous la forme la plus pertinente et au moment le plus opportun ; le calculateur déclenche aussi tous les processus internes pour préparer et faciliter les actions des contrôleurs (notamment les transferts de contrôle de secteur à secteur).

Dès ce stade le calculateur joue un rôle déterminant dans l'amélioration des performances du système, notamment en tant que filtre et corrélateur d'information, c'est-à-dire en tant que réducteur de la pollution de l'information pertinente par l'information non élaborée ou non significative à un moment donné. Il contribue donc à éviter la croissance quadratique de l'information et des tâches avec le trafic.

De plus, le calculateur assure la fonction essentielle de filet de sauvegarde (alarme automatique de dernier moment).

Même ce stade peu évolué du traitement automatique de l'information a nécessité des études approfondies des comportements et modes opératoires des contrôleurs afin de concevoir un outil aussi adapté que possible.

Analyses d'intelligence (naturelle ou artificielle) avant la lettre, les études ergonomiques (mot choisi faute de mieux dès lors que le travail étudié est de nature perceptif et cognitif) ont permis non seulement de déterminer les meilleurs compromis pour la définition du système, mais aussi de déboucher sur des programmes d'enseignement conçus à l'usage des jeunes contrôleurs.

En faisant travailler ensemble des ergonomes, des ingénieurs et des contrôleurs pour analyser la nature profonde de la tâche de contrôle et de ses modes d'exécution, la conception du système s'est affranchie de la source de conflits irritants entre détenteurs d'un « savoir-faire » incapables par eux-mêmes de « faire savoir » et concepteurs de système « pouvant tout faire ». Si les contrôleurs ne sont capables par eux-mêmes

ni d'explicitier la nature des processeurs qu'ils mettent en œuvre, ni donc d'exprimer des « besoins », (notamment s'ils doivent être satisfaits par des techniques qu'ils ne maîtrisent pas eux-mêmes), ils n'en restent pas moins les seuls juges de la qualité de l'outil qui leur est proposé... une fois réalisé.

## Calculateur et décision

La détermination du rôle du calculateur au service de l'élaboration des décisions des contrôleurs ne peut s'effectuer qu'en analysant soigneusement les performances spécifiques des calculateurs et des hommes et en déterminant leurs complémentarités potentielles.

Quels que soient les processus que les contrôleurs mettent en œuvre pour élaborer leurs décisions, on peut raisonnablement penser qu'ils font très peu appel au calcul mental pour l'estimation des positions futures des avions (en raison de la complexité des calculs et de l'effort nécessaire qui serait prélevé sur leur « capital effort temps réel »).

Le contrôleur procède par estimations et ajoute de ce fait une incertitude supplémentaire à l'incertitude inhérente aux informations imprécises et partielles disponibles.

S'agissant d'un futur entaché d'incertitudes, l'élaboration de la stratégie du contrôleur doit implicitement faire appel à des estimations de probabilité, sans qu'il lui soit évidemment possible de procéder au moindre calcul stochastique, en raison de leur extrême complexité non compatible avec les aptitudes des contrôleurs et le temps disponible.

Enfin le contrôleur ne peut traiter que le trafic qu'il connaît actuellement et ne peut prendre en compte que d'une manière limitée le trafic à venir, soit parce qu'il l'ignore encore (bien que l'information existe dans le système) soit parce que ses capacités de traitement et de mémorisation de l'information sont trop limitées.

Dans ces conditions, on peut donc imaginer que le calculateur pourrait assister l'homme en mettant à sa disposition ses capacités de prise en compte de la totalité de l'information disponible et de calcul précis portant à la fois sur les positions futures et sur l'estimation chiffrée des probabilités d'occurrence des situations conflictuelles futures.

Sous réserve absolue de disposer sinon d'un « modèle de contrôleur » du moins

d'information pertinente sur les objets que se fixe le contrôleur et les stratégies qu'il met en œuvre, on peut imaginer que le calculateur pourrait être en mesure d'apporter, du fait de ses performances spécifiques, une aide substantielle au processus de décision.

Il est évident que l'inclusion du calculateur dans la boucle d'élaboration des décisions ne peut se traiter que dans le cadre d'une approche globale axée sur le « modèle de contrôleur », étant entendu que le contrôleur ne saurait perdre intérêt à tout calcul partiel effectué par le calculateur, alors que lui-même ne cède que par estimations globales sa recherche heuristique de solutions acceptables de satisfaire à chaque instant ses propres objectifs.

Toute proposition du calculateur hors ce contexte ne constituerait qu'une pollution du travail du contrôleur.

L'analyse préalable du « modèle de contrôleur » est donc essentielle afin d'entreprendre toute action d'assistance au contrôle.

On a déjà vu que parmi les critères essentiels guidant l'action décisionnelle du contrôleur figure l'objectif d'éviter, tout prix sa propre saturation de tâche et donc la recherche du minimum d'intervention assurant le maximum de disponibilité à l'écoulement du trafic. Bien entendu ces finalités d'action du contrôleur pourraient être affinées par une étude plus attentive de leur mode opératoire réel ; compte tenu de la pression à laquelle l'utilisation de son propre temps est soumise, il y a tout lieu de penser que les critères d'optimisation qu'il met en œuvre ne s'écartent guère de la règle précédente plus ou moins complétement affinée par un ensemble de « trucs de métier » qu'il serait souhaitable d'explorer.

Il va de soi que fort de l'information dont il dispose (plus riche que celle des contrôleurs) et de ses moyens de calcul incomparablement plus puissants, le calculateur devrait se révéler capable de faire mieux que les contrôleurs selon les propres critères d'appréciation d'analyse et de décision que ceux-ci mettent effectivement en œuvre.

Tel est le sens de l'action qui pourrait être entreprise en faisant appel aux techniques expérimentales puis opératoires qui sont mises en œuvre pour développer les intelligences artificielles à partir du « savoir-faire », révéler le « faire savoir » et assister ensuite celui qui sait faire sans perturber son ap-

tude, en mettant ainsi une intelligence puissante mais dénuée de sensibilité et d'invention, au profit de la finesse et de l'intuition d'un esprit humain sachant estimer et agir (notamment aux fins de se protéger efficacement de toute surcharge qui mettrait en péril ses propres performances).

Dans un tel contexte, on entrevoit le moment où le calculateur élaborerait chaque fois qu'il l'estime souhaitable, au regard de critères identiques à ceux qui sont mis en œuvre par les contrôleurs, une proposition d'intervention stratégique sur le trafic.

Quelle que soit sa méfiance a priori — oh combien justifiée ! — il y a tout lieu de penser que le contrôleur acceptera progressivement les conseils du calculateur sous deux réserves essentielles :

— que la proposition s'insère dans un système de pensée conforme au sien propre et selon son propre déroulement ;

— que le contrôleur soit à même de constater que la mise en œuvre des propositions du calculateur conduit effectivement à une situation stable (pas de pompage de décisions en chaîne et a fortiori de décisions successives contradictoires) et surtout que l'expérience lui montre qu'il se trouve effectivement protégé ainsi de surcharges de tâches ultérieures.

Une telle mise en œuvre s'accommode du choix laissé au contrôleur quant à l'usage qu'il fait des suggestions du calculateur.

Auxiliairement, mais ceci est très important, toute mise en œuvre d'une proposition du calculateur par le contrôleur peut se faire par une simple désignation tactile de l'ordre proposé sur un écran cathodique, ce qui a un double effet bénéfique pour le système : envoi automatique de l'ordre au pilote par voix synthétique, auto information du calculateur de l'ordre donné.

Rien n'empêche de penser que, par cette voie, il serait possible d'atteindre un double objectif :

— réduction de la tâche moyenne des contrôleurs ;

— protection absolue des contrôleurs contre des accumulations ponctuelles de tâches.

Dans ces conditions, la capacité du système s'en trouverait accrue de même que la capacité de chaque fraction de l'espace (secteur). Le processus d'augmentation quadratique des tâches avec le trafic s'en trouverait arrêté, voire inversé, avec les conséquences bénéfiques qui s'ensuivraient sur le coût du système et sur son efficacité.

Quoi qu'il en soit un système expert supposé aussi introduit recèlera encore une ambiguïté fondamentale et devra encore payer la rançon découlant de son succès éventuel. Les contrôleurs ne lui feront confiance que si son efficacité et

*Le Centre de Contrôle Régional d'Aix-en-Provence (France). - Les moyens techniques existent désormais pour permettre de changer radicalement dans l'avenir les données essentielles du système » (Source : Thomson-CSF)*



sa sécurité sont totales et s'il en est ainsi les contrôleurs auront tendance à relâcher leur propre vigilance.

Il n'est donc pas possible à ce stade de prévoir à coup sûr l'impact opérationnel effectif de tels systèmes. En revanche on peut assurer à coup sûr que le développement même de ces systèmes est porteur d'avenir certain, pour la meilleure connaissance des phénomènes de cognition/décision mis en œuvre par les contrôleurs et par suite, pour l'organisation du travail, pour la définition des outils de travail, pour une formation rationalisée et bien entendu pour préparer l'avenir.

### Le futur

Les moyens techniques existent désormais pour permettre de changer radicalement dans l'avenir les données essentielles du système.

Il est en effet possible (les normes internationales sont en cours d'élaboration finale) de permettre grâce à une extension (dite mode S) des potentialités du radar secondaire non seulement de disposer d'informations plus précises (positions actuelles et données d'anticipations : vitesses, taux d'évolution...) mais aussi de faire sauter le verrou du flux limité d'ordres élaborable, transmissible et exécutable (grâce aux liaisons air/sol automatiques de données et à l'action automatique sur les commandes des avions).

Ce nouveau système d'information et de communication sera doublement réducteur d'incertitude :

— d'une part grâce à la meilleure connaissance des données d'anticipation ;

— d'autre part grâce aux possibilités qu'il offre de modifier, sans contrainte de temps ni de nombre d'actions, les trajectoires des avions soit pour les astreindre à se conformer à la prévision, soit pour les adapter à une trajectoire plus optimale pour résoudre les problèmes potentiels.

Par ailleurs, le contrôleur ne se trouvera plus impliqué obligatoirement dans la boucle d'information et d'exécution.

L'intégration des nouvelles potentialités dans le système futur amènera à se poser sous un jour nouveau tous les problèmes qui ont été évoqués ci-dessus.

Sans revenir sur l'analyse, on peut à coup sûr estimer que deux voies de mise en œuvre seront à proscrire :

— l'utilisation manuelle de moyens de communication automatiques et (c'est-à-dire remplacer la voix par un clavier au sol et à bord) ;

— l'automatisation complète mais immature du système.

C'est pourquoi l'utilisation du calcul comme aide à la décision avec les moyens actuellement disponibles constitue bien une étape indispensable. Le mode S permettant d'en développer les potentialités par accroissement des performances globales au fur et à mesure de l'équipement d'un nombre croissant d'avions.

Le mode S est techniquement disponible et rien n'empêcherait qu'il le devienne effectivement dans un avenir proche, si la communauté aéronautique décidait de s'en préoccuper avec diligence.

Or, on peut s'étonner de ce qu'il n'en soit rien, malgré les gains considérables en productivité, d'efficacité et de sécurité qui couvriraient au centuple les surcoûts dérisoires de coût attachés à la mise en œuvre du Radar secondaire (mode S). Mais on peut aussi se convaincre que les raisons qui motivent l'indolence de la communauté aéronautique dans la mise en œuvre de celle-ci n'a pas encore abouti en profondeur le problème central de l'aide automatisée à la décision ni de sa phase de recherche approfondie dans sa phase de mise en œuvre progressive.

En effet, dans le cadre des processus manuels de prise de décision qui existent actuellement (c'est-à-dire sans aide automatisée à la décision) le système sera pris entre deux pièges consistant respectivement, soit à ne pas tirer parti de toute l'information qui va être disponible, soit à l'utiliser effectivement... ce qui contribuerait à saturer les contrôleurs... et donc à diminuer la capacité effective du système !

Le développement d'une approche nouvelle concernant l'aide automatisée à la décision constitue donc un impératif préalable.

Le développement de programmes informatiques susceptibles de permettre d'avancer dans ce domaine majeur devra donc constituer une grande priorité.

L'analyse qui précède jette les bases des objectifs à atteindre et des modalités opératoires essentiels à mettre en œuvre.

[Communication présentée au « Congrès sur l'intelligence artificielle et les relations homme/machine » de Toulouse (octobre 1986), publiée avec l'autorisation des Editions Cepadues.]