

- 10 -

Le "Mur de la Capacité"

Un projet fondateur du concept ERATO

(ITA Magazine N° 59 et 60 (1990))

Saturation

L'avenir du contrôle de la circulation aérienne en Europe

Le «mur de la capacité»

par Jacques VILLIERS

Contrairement aux usages, le présent article comprend deux parties de nature très différente.

La première se place sur le terrain social, politique, économique et technique, tandis que la seconde procède à des analyses ergonomiques détaillées des processus psychosensoriels mis en œuvre par les contrôleurs de la circulation aérienne.

La grande disparité des sujets traités constitue une condition obligatoire pour éviter les écueils d'une approche réductrice et donc mutilante du problème de la saturation du contrôle de la circulation aérienne.

L'auteur prie le lecteur de bien vouloir accepter cette nécessité.

La première partie de cet article examine donc les caractéristiques spécifiques de l'espace aérien européen des points de vue opérationnel, technique et social.

Elle explique pourquoi l'espace aérien européen est d'ores et déjà plus saturé que celui des Etats-Unis. Parmi les nombreuses causes figure l'hétérogénéité du système européen, telle qu'elle résulte des conditions historiques de son développement.

On montrera cependant que son unification ne pourra pas se faire rapidement et que, ni une telle évolution, ni celle qui pourrait résulter de progrès techniques «au fil de l'eau» ne seront à elles seules susceptibles de permettre un accroissement de capacité suffisant pour satisfaire en quantité et en qualité une demande de trafic aérien en expansion rapide.

Les flux d'information et les flux de tâches finissent par dépasser les potentialités de traitement par des opérateurs humains.

La deuxième partie procède à une analyse approfondie de ces phénomènes de saturation.

L'étude montre que les temps sont proches où il sera possible et indispensable que les calculateurs puissent assister les contrôleurs dans leurs décisions, et plus particulièrement dans celles qui concernent leur stratégie d'action en temps réel.

L'analyse met cependant en évidence que cette évolution se heurte à une difficulté conceptuelle fondamentale due à un phénomène, qui sera dénommé le «mur de la capacité», et qui résulte des interactions entre le libre arbitre du contrôleur et celui du calculateur.

La démarche proposée pour parvenir à franchir ce «mur de la capacité» fait appel à la mise en œuvre de «programmes experts» et suggère un projet dont on décrira le principe et la spécificité.

Ce projet sera dénommé FREGATE (*Filter de Régulation Ergonomique de la Gestion des secteurs et d'Anticipation des Tâches Excessives*) ; il devrait permettre de faire évoluer d'une manière continue le système actuel vers une automatisation croissante des processus d'assistance aux contrôleurs. Ce projet constitue un fil directeur possible pour les études et recherches qui se développent au sein des Etats européens et qui sont fédérées par Eurocontrol et par la CEE.

Il serait impératif que ces travaux débouchent en temps opportun sur la conception d'un système commun pour le début du siècle prochain. Les analyses et propositions du présent article constituent une contribution en ce sens et décrivent une forme éventuelle de leur aboutissement.

La tâche sera longue et ardue, mais les enjeux sont essentiels.

devant l'inquiétude soulevée par les sombres perspectives qui résulteraient de son évolution au «fil de l'eau». un effort de clarification semble en effet nécessaire.

Dans une première partie, on étudiera les caractéristiques spécifiques du contrôle de la circulation aérienne en Europe et les améliorations susceptibles de lui être apportées en conséquence. On montrera cependant que, même si celles-ci pouvaient toutes être mises en œuvre, l'augmentation de la capacité qui en résulterait ne serait pas suffisante pour permettre de faire face dans de bonnes conditions à la croissance prévisible du trafic.

Dans une deuxième partie, on étudiera la nature profonde des mécanismes de saturation (le «mur de la capacité») et on proposera un projet original, dont on peut espérer qu'il sera de nature à permettre que le contrôle de la circulation aérienne ne constitue pas dans l'avenir un goulet d'étranglement au développement du transport aérien en Europe.

La saturation du contrôle en route européen

L'ensemble des pénalisations apportées par l'insuffisance de capacité du contrôle en route et des infrastructures aéroportuaires se chiffre à plusieurs milliards d'euros par an. La fluidité du contrôle en route constitue un problème majeur auquel il convient de s'attaquer résolument.

Il serait en effet illusoire d'accroître la capacité des infrastructures aéroportuaires, si le contrôle de la circulation aérienne devait en limiter les potentialités d'utilisation.

Il est donc essentiel de recenser et d'analyser tous les facteurs qui affectent la capacité du contrôle en route européen.

On examinera ainsi successivement :

- l'espace aérien européen.
- l'espace social européen.
- l'espace opérationnel et technique européen.

L'espace aérien européen

Si on compare sans nuances l'espace aérien européen à l'espace aérien américain, on ne peut que s'étonner du fait que l'espace européen soit sujet à des saturations alors que le trafic intérieur américain est beaucoup plus intense que celui de l'Europe.

Mais une telle comparaison grossière n'est guère pertinente.

La capacité d'un système de contrôle ne se mesure pas à l'aune du trafic moyen et de l'espace total, mais à celle du trafic de pointe dans les espaces disponibles pour l'écouler, là et quand il se présente.

La répartition des axes à grand trafic, de même que la distribution horaire du trafic obéissent de part et d'autre à des lois profondément différentes : l'Europe doit faire face à des pointes de trafic à certains moments et sur certains axes qui figurent parmi les plus fortes du monde.

Le trafic européen se concentre essentiellement pendant la journée : le trafic de nuit est quasiment inexistant en raison des couvre-feux imposés sur les aéroports et de l'absence de trafic intérieur long-courrier comparable au «*coast to coast*» survolant le territoire américain. De même, les variations horaires et saisonnières sont beaucoup plus marquées en Europe, notamment en raison de l'attrait des Européens pour les voyages de vacances.

De surcroît, l'espace disponible pour acheminer les trafics les plus denses y est considérablement limité par les grandes agglomérations urbaines proches les unes des autres, qui ne peuvent pas être survolées, et par l'espace réservé aux zones de contrôle terminal de leurs aéroports.

Enfin, il existe peu d'espaces à l'écart des grands trafics pour permettre le déploiement des bases aériennes militaires et l'entraînement systématique des équipages.

La cohabitation des deux missions civile et militaire dans un même espace limité ne peut manquer de faire peser de lourdes contraintes sur l'une comme sur l'autre. La pénalisation du trafic civil qui en résulte fait l'objet de suffisamment d'analyses publiques pour qu'il ne soit pas nécessaire de s'y attarder; en revanche, celle que subit le système militaire (en limitations opérationnelles et en coût) est moins connue; l'accroissement rapide du trafic tend à rendre les grands axes de trafic civil de plus en plus difficiles à traverser par les vols militaires; ces derniers doivent d'ores et déjà subir en moyenne 2,2 manœuvres de contournement d'avions civils par heure de vol contrôlé.

L'espace social européen

Les conséquences brutales sur l'écoulement du trafic des mouvements sociaux qui se produisent à répétition, ici ou là, constituent à l'évidence la cause la plus fréquente et la plus sévère de limitation de la capacité du système européen.

Dans l'analyse statistique des retards et des contraintes que ce système occasionne effectivement aux compagnies aériennes, il faudrait donc faire clairement la part de ce qui revient à la limite de sa capacité effective, et de ce qui doit être attribué aux conséquences de tensions sociales endémiques.

C'est d'ailleurs précisément dans les périodes de plus forte pression de trafic que se manifestent les mouvements sociaux : c'est pendant ces périodes que les contraintes qui pèsent sur les personnels sont les plus vives (et donc que leur insatisfaction est la plus grande) et que l'impact sur le trafic d'un mouvement de mauvaise humeur ou de grève est le plus marquant.

Les conflits sociaux portent non seulement sur les salaires, mais aussi sur les conditions de travail qui s'aggravent dès que le système approche de sa limite de capacité, notamment si cette limite résulte de l'insuffisance des effectifs mis en place pendant les heures de pointe.

Le problème est universel, mais il est rendu d'autant plus redoutable en Europe qu'un mouvement de grève (ou de réduction intentionnelle de capacité dite «grève du zèle») dans un des pays, entraîne des perturbations dans l'ensemble du système. En revanche, une partie du trafic peut être acheminée en contournant les zones stérilisées par une grève.

Ces mouvements s'étalent souvent sur de très longues périodes au cours desquelles l'absence de bonne volonté des contrôleurs entraîne une réduction de la capacité effective du système, sans publicité de ces comportements comme dans le cas d'une grève franche.

C'est ainsi, par exemple, qu'à la suite du protocole d'accord signé le 4 octobre 1988 en France avec les personnels, la capacité du système français est rapidement revenue à un niveau tel qu'elle n'occasionne plus pour l'instant de contraintes lourdes sur le trafic.

Certains espèrent que ces problèmes sociaux pourraient trouver leur solution dans le cadre d'une fonction publique européenne ou dans celui de statuts des personnels dérogés des contraintes inhérentes aux fonctions publiques nationales ou européennes. Il s'agit de problèmes de nature particulièrement délicate : le rythme d'évolution ne saurait dépasser celui des mentalités.

L'exemple américain montre d'ailleurs que la gestion d'un grand système unique n'est

tant sur un grand nombre de paramètres techniques, économiques et sociaux. C'est ainsi, par exemple, que les autorités françaises ont été amenées à répartir progressivement le contrôle en route entre trois, puis cinq centres distincts, ce qui n'a pas nui pour autant à l'efficacité de l'ensemble du système.

A l'heure de la télé-informatique et du Transpac, l'information circule aussi facilement entre des centres géographiquement séparés qu'au sein d'un même centre.

Toutes les positions de contrôle, où qu'elles soient localisées, sont d'ailleurs alimentées en information de base (plans de vol, radar, radiotéléphonie air-sol, téléphone) par voie de liaisons téléphoniques: il y a maintenant bien longtemps que les contrôleurs ne communiquent plus directement entre eux, que dans des circonstances relativement exceptionnelles, même au sein d'un même centre.

L'efficacité globale du contrôle découle en revanche du nombre de secteurs de contrôle entre lesquels est découpé l'espace.

Le nombre de secteurs nécessaires - c'est-à-dire le nombre d'unités de contrôle autonomes coordonnées deux à deux - ne résulte que du nombre maximal d'avions qu'un contrôleur et ses assistants peuvent prendre en charge simultanément dans un environnement donné.

Or, toutes choses égales par ailleurs, ce nombre maximal - de l'ordre de 10 à 15 avions selon la nature du secteur - est le même dans tous les pays; il est en particulier le même en Europe et aux Etats-Unis.

En revanche, le nombre moyen d'avions qu'un contrôleur achemine effectivement au cours d'une journée ou d'une année peut être très différent d'un lieu à un autre, car il est directement fonction de la répartition du trafic dans le temps. Avec ce seul critère, le système américain peut sembler beaucoup plus «productif» que le système européen, car le trafic y est soutenu d'une manière plus continue. Mais la productivité mesurée par ce critère dépend aussi beaucoup des conditions de travail (nombre d'heures de contrôle effectif par semaine, organisation du travail, flexibilité des horaires, congés octroyés pendant les jours de pointe, etc.).

Sur ce dernier point, le système américain est sans aucun doute plus «productif» que celui de l'Europe en général: on notera par exemple qu'en Europe, une partie de l'effectif est autorisée à prendre ses vacances

pendant les jours de pointe, alors que, au contraire, les centres américains restent dotés de l'effectif total qui est, de surcroît, invité à effectuer des heures supplémentaires pendant ces périodes les plus chargées.

Il est donc exact que, en moyenne, un contrôleur européen achemine annuellement moins de trafic qu'un contrôleur américain mais le nombre de centres de contrôle n'y est sans doute pas pour grand chose.

Il est exact aussi que la «productivité» des contrôleurs américains (nombre d'avions traités par an) a crû d'une manière rapide aux Etats-Unis (elle a doublé en 10 ans).

En Europe cette «productivité» reste relativement constante en moyenne: on notera cependant qu'elle a crû brusquement à la suite de la reprise brutale du trafic qui a surpris bien des planificateurs. Il en a d'ailleurs résulté, par le processus décrit ci-dessus, à la fois des contraintes accrues sur les personnels et des mouvements sociaux qui ont amplifié le phénomène de saturation.

En ce qui concerne les coûts salariaux, les conditions sont très différenciées au sein de l'Europe, aussi bien pour les niveaux de salaire (et des charges sociales et fiscales associées) que pour les conditions de travail (nombre d'heures effectives de contrôle annuel, notamment pendant les périodes de pointe de trafic, flexibilité des horaires...).

La réduction de ces disparités ne manquera pas de soulever de graves problèmes et exigera beaucoup de temps et de sagesse: il n'est d'ailleurs pas certain que le coût total du contrôle y trouvera son compte.

L'exemple américain montre aussi qu'un grand système de contrôle unifié est très vulnérable et n'est pas à l'abri de graves problèmes sociaux.

En revanche, l'efficacité d'ensemble de l'exploitation européenne pourrait facilement progresser grâce à l'accroissement des contacts sous toutes leurs formes entre les systèmes nationaux: formation de base commune, échange de contrôleurs et de cadres, approfondissement en commun de tous les problèmes d'exploitation (organisation de l'espace, méthodes de contrôle, outils de travail du contrôleur, coordinations entre centres...).

La situation évolue d'ailleurs favorablement en ce sens. Elle pourrait être largement améliorée s'il était fait appel systématiquement à des mécanismes d'arbi-

trage pour trancher entre Etats ou centres voisins en cas de conflits opérationnels.

Il serait important que soit élaboré au préalable, en coopération avec les compagnies aériennes, un «Livre blanc» recensant tous les problèmes d'exploitation qui résultent spécifiquement de la disparité des modes d'organisation de l'espace et d'exploitation des différents systèmes de contrôle nationaux.

Il est enfin un domaine où l'action commune s'est déjà imposée à l'évidence, à savoir le contrôle des flux de trafic pour réguler la demande en fonction de l'offre de contrôle disponible et éviter ainsi de saturer les centres de contrôle au détriment de la sécurité et de la fluidité du trafic.

Contrairement à celles du contrôle de la circulation aérienne proprement dite, les relations de coordination de «flow control» ne sont pas uniquement de nature bilatérale de secteur à secteur mais impliquent la prise en compte simultanée de l'ensemble du système (en route et aéroportuaire) et sur un très grand volume d'espace.

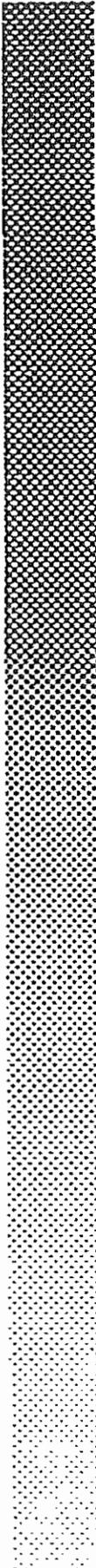
On ne peut donc que se féliciter du fait que les mesures soient désormais prises pour mettre en place en Europe un dispositif de «flow control» unifié. Sa mise en œuvre soulèvera peut-être des difficultés moindres (mais la preuve n'en est pas encore apportée) que celles qui affectent le contrôle proprement dit, notamment parce que cette pratique n'a pas derrière elle une longue histoire différenciée au sein de chaque Etat européen.

La part des processus logico-mathématiques modélisables est sans doute plus grande que celle du contrôle lui-même: il ne faudrait cependant pas sous-estimer pour autant l'importance du «savoir faire» spécifique qu'ont développé par la pratique les agents chargés de ce travail depuis plusieurs années.

On verra par ailleurs dans la suite du présent article que la régulation efficace des flux peut non seulement réduire les contraintes globales des compagnies aériennes, à capacité donnée du système de contrôle, mais participe d'une manière non négligeable à l'augmentation de la capacité de pointe effective.

◆ La planification

C'est l'OACI qui élabore les normes et pratiques recommandées en matière de navigation aérienne, tandis que son groupe spécialisé (le GEPNA) énonce les besoins opérationnels spécifiques de l'Europe et coordonne la planification de ses



dès maintenant préparer en commun. Il en est encore temps, car aucune réalisation pratique en Europe, ou ailleurs, n'a encore permis de démontrer sa faisabilité, ni même sa contribution certaine à l'augmentation de la capacité effective de l'espace aérien.

La conception en commun du système hybride contrôleur/calculateur pour le début du siècle prochain devrait donc constituer le grand projet mobilisateur de l'imagination, de la créativité et de l'énergie de l'Europe du contrôle de la circulation aérienne.

Fort heureusement, il existe d'ores et déjà en Europe une importante activité de recherche et d'expérimentation, coordonnée et fédérée dans le cadre du projet PHARE d'Eurocontrol et de la CEE ; l'Europe n'a rien à envier en ce domaine aux autres pays développés, même à ceux qui ont le privilège d'exploiter un système portant sur un très grand volume d'espace géré par une autorité unique.

Cet effort porte notamment sur des visualisations nouvelles, plus « intelligentes » susceptibles de faciliter le travail des contrôleurs et leur dialogue avec le calculateur (cf. en particulier le projet PHIDIAS du CENA en France).

Des moyens technologiques nouveaux sont désormais disponibles (Radar mono-impulsions, liaisons codées air/sol dites « Radar mode S », calculateurs de navigation des avions dits FMS). A eux seuls, ils ne permettront pas l'accroissement de la capacité de l'espace, si on ne parvient pas à les utiliser dans un cadre d'automatisation du contrôle plus avancée.

Pour y parvenir, il est nécessaire de bien connaître au préalable la nature profonde des mécanismes de saturation de l'espace.

Les nouvelles phases d'automatisation vont imposer de pénétrer dans le domaine encore peu défriché, et d'une immense complexité, de la coopération de l'homme et des calculateurs dans des processus de décision en temps réel.

Il en résulte un problème « de la poule et de l'œuf » : nul ne se presse pour rendre obligatoires ces nouveaux moyens (modes S, FMS) tant que le système de contrôle n'aura pas été automatisé plus en profondeur ; inversement l'automatisation de certains processus de contrôle continuera à marquer le pas tant qu'il n'aura pas été prouvé que des améliorations de capacité pourront effectivement en résulter.

Or, chacun de ces processus demande cinq à dix ans. Pour sortir de ce cercle vicieux, il devient impératif à la fois de rendre obligatoires à court terme dans les espaces congestionnés les nouveaux équipements au sol et à bord et de lancer d'urgence un projet d'automatisation susceptible d'accroître la capacité de l'espace avec les moyens actuels d'abord, pour ouvrir ensuite la voie à des progrès encore plus substantiels dès lors que ces équipements se généraliseront.

La capacité de l'espace aérien européen : conclusion

La capacité du système de contrôle européen recèle encore de bonnes potentialités de progrès pouvant résulter des réductions de ses disparités d'exploitation, de planification et de conception.

A elles seules cependant, ces réserves et le rythme de leur mobilisation ne seront certainement pas à la hauteur des besoins nouveaux de capacité qui résulteront de la croissance prévisible du trafic européen.

Les limitations de capacité proviennent en effet de ce que chaque avion et chaque paire d'avions en conflit entre eux, génèrent un flux de tâches dont l'ensemble ne doit à aucun moment dépasser la capacité de traitement que les hommes peuvent assumer.

Parmi ces tâches, figurent non seulement des actions de nature intellectuelle ou matérielle, mais aussi des mémorisations dont l'ensemble ne doit jamais outrepasser les aptitudes du cerveau humain dans le bref temps imparti dont il dispose pour les accomplir.

Au flux d'avions est ainsi associé un flux d'information qui peut lui-même dépasser les limites des possibilités d'appréhension, de mémorisation et de traitement du cerveau humain ; en ce sens, il est loin d'être évident que l'accroissement considérable de la richesse des informations qui vont devenir disponibles grâce au mode S soit en lui-même porteur de progrès. Sans l'assistance des calculateurs, ces informations complémentaires pourraient au mieux être mal utilisées et, au pire, contribuer à saturer encore plus les contrôleurs.

Le mécanisme de la saturation de l'espace

L'accumulation des tâches

Lorsque le contrôleur est soumis à une accumulation de tâches qui approche de sa capacité maximale, et *a fortiori* s'il anti-

DEUXIÈME PARTIE

Un projet pour le passage du mur de la capacité

La spécificité du projet

Les bases théoriques

Les bases d'un tel projet sont constituées par un ensemble théorique déjà cité ci-dessus en référence.

Les résultats encourageants des premières réalisations effectuées sur ces fondements à l'Ecole Nationale de l'Aviation Civile (ENAC) par Leroux et Genthon (1986/87) puis Leroux et Alliot (1987/88) permettent désormais d'envisager des prolongements pratiques et de formuler les grandes lignes d'un projet précis.

La spécificité du projet

Ce projet se caractérise par l'ensemble des caractéristiques suivantes :

a) Le contrôleur reste seul responsable du contrôle.

b) Le contrôleur est seul maître de toutes ses actions, y compris de toute manipulation (de clavier ou autre) qui ne saurait donc à aucun moment lui être imposée

(donc pas de tâches supplémentaires induites par les processus liés à l'automatisation).

c) Le calculateur effectue toutes les opérations de contrôle en parallèle avec le contrôleur mais indépendamment de celui-ci. Le processus automatique n'est qu'un processus latent en ce sens que, contrairement au contrôleur, le calculateur ne passe jamais lui-même à l'action, ni n'impose ses solutions.

d) Le processus automatique ne présente au contrôleur le résultat de son activité parallèle que :

- pour lui suggérer une action spécifique de contrôle qu'il juge immédiatement opportune ou urgente.

- pour lui présenter une situation d'ensemble fondée sur des informations agrégées élaborées par le « processus de contrôle automatique parallèle » et correspondant, à chaque moment et d'une manière aussi réaliste que possible, aux « agrégats d'informations » que le contrôleur construit lui-

même par ses propres processus intellectuels et qu'il « balaie » en permanence par la pensée.

e) Toute nouvelle visualisation additionnelle doit obéir au double critère suivant :

- elle doit être gérée automatiquement par le calculateur,

- elle ne doit présenter aucune discontinuité de visualisation sauf lors de l'affichage de nouvelles informations ayant un caractère directement pertinent pour l'exécution du contrôle proprement dit.

f) Afin de faciliter le dialogue contrôleur/calculateur, une telle visualisation cathodique doit servir de support pour des échanges d'information avec le calculateur (désignation tactile ou autre).

Pour pouvoir décrire un tel projet, il est nécessaire de rappeler au préalable les grandes classes de tâches qui sont exécutées par les contrôleurs.

g) Ce projet n'exclut en aucune manière la mise en œuvre d'autres visualisations qui remodeleraient la position de contrôle

des «conflits en cours» ; il résulte surtout de la probabilité que se développe une situation indésirable, par exemple telle que le contrôleur Radar aurait par la suite plusieurs évitements Radar à effectuer simultanément.

Le choix optimal du moment et du mode de résolution de chacun des conflits relève donc bien d'un problème d'ordonnement des tâches du contrôleur.

De surcroît, le problème est compliqué par le fait que dans le système actuel, cet ordonnancement est effectué à la fois par les deux contrôleurs constituant l'équipe : le contrôleur dit «organique» (ou stratégique, ou de planification...) et le contrôleur dit «tactique» (contrôleur Radar).

Cette articulation interne au secteur est particulièrement délicate ; pour être menée à bien, elle implique la cohérence d'une équipe soudée ayant l'habitude de coordonner son travail d'une manière organisée mais tacite.

Il s'agit du problème crucial dont, à notre avis, dépend l'évolution du contrôle : on peut s'en convaincre en rappelant que la saturation du contrôle ne résulte pas tant de la saturation effective de l'espace que de la saturation par des «pointes d'accumulation de tâches» (et notamment par la probabilité d'avoir à mener simultanément deux évitements Radar) qui dépassent ce que peut exécuter en un temps donné chaque contrôleur ou chaque équipe de contrôle.

Le bon ordonnancement de ces tâches dans le temps constitue donc bien le problème central auquel il convient de s'attaquer.

C'est ainsi que la capacité et la sécurité d'un secteur de contrôle sont directement fonction pour chacun des conflits :

- du choix du moment optimal pour entreprendre sa résolution,

- du choix de la solution optimale, d'une manière telle que soit minimisée la probabilité d'accumulation pernicieuse de tâches à un moment futur quelconque et que soit, si possible, lissée dans le temps la «demande d'attention» des contrôleurs.

C'est en priorité l'assistance à cet ordonnancement des tâches que le projet se propose d'automatiser ainsi que le «filet de sauvegarde» associé, d'où le nom du projet FREGATE (*Filtre de Régulation Ergonomique de la Gestion [des secteurs] et d'Anticipation des Tâches Excessives*). Ces fonctions nouvelles sont complexes et méritent un examen approfondi.

La réalisation du projet

Les fonctions

Si le projet implique le fonctionnement en parallèle, et avec un minimum d'interaction, du contrôleur et du calculateur, il n'en reste pas moins que ces deux processus doivent se rejoindre chaque fois que le calculateur est susceptible de rendre un service effectif aux contrôleurs.

Il ressort de l'analyse ci-dessus que l'interface entre le contrôleur qui agit et le programme parallèle de contrôle automatique qui est latent, doit s'effectuer sous deux formes complémentaires :

- l'aide à l'ordonnement des tâches : AOT,

- l'alerte en cas de prévision par le calculateur du développement d'une situation future indésirable du point de vue de l'accumulation des tâches et a fortiori d'une situation dangereuse : c'est-à-dire un «filet intégral de sauvegarde tactique et organique» (FISTO).

On notera que ce FISTO constitue une généralisation de la notion actuelle de «filet de sauvegarde Radar» mais, alors que ce dernier n'intervient que pour alerter en cas de danger à très court terme, le FISTO peut alerter pour prévenir de toute situation indésirable du point de vue de l'accumulation des tâches qui risque de survenir à tout moment dans le futur. Contrairement au cas du «filet de sauvegarde Radar» qui impose une action immédiate et rapide du contrôleur, le FISTO n'est nullement impératif, (on montrera qu'il devra être conçu de telle manière qu'il soit de l'intérêt du contrôleur d'en suivre les avis).

A cette fin, il faut que le «programme de contrôle automatique latent» débouche sur une visualisation qui, à la fois, permette l'assistance à l'ordonnement des tâches et procure le filet de sauvegarde associé. Mais il convient aussi que cette visualisation soit telle que, par simple désignation tactile, elle puisse remplir deux fonctions complémentaires lorsqu'un contrôleur utilise effectivement l'AOT ou décide de répondre aux sollicitations du FISTO, à savoir :

- une aide au choix des solutions (ACS),

- une aide à l'entrée de la solution choisie (AES).

A partir de ces objectifs et de ces principes, il devient possible d'imaginer une visualisation nouvelle susceptible de servir faci-

lement d'interface homme/calculateur pour l'exécution des fonctions qui viennent d'être analysées.

Une visualisation originale

◆ Description de la visualisation

Les besoins recensés ont conduit à imaginer une visualisation d'une nature originale.

Les quatre fonctions AOT, FISTO, ACS, AES peuvent s'articuler autour d'une visualisation unique au profit des deux contrôleurs organique et tactique, ou mieux sur deux visualisations identiques placées respectivement à la vue et à la portée de chacun de ces deux contrôleurs.

Elle est de type analogique comme les écrans radar mais à la différence de ceux-ci, chaque point affiché (et l'étiquette qui lui est attachée) ne porte pas sur un avion individuel mais représente toujours une paire d'avions en conflit potentiel. Ces conflits sont classés en fonction du moment auquel ils interviendront si aucune mesure n'était prise entre-temps.

Cette visualisation se présenterait de la manière suivante :

a) Sur un écran rectangulaire horizontal est tracée une ligne médiane horizontale ayant une origine O et servant de gauche à droite d'axe des temps.

b) Sur cet axe sont figurés des points représentant les «conflits d'avions deux à deux non encore résolus». Un avion impliqué dans plusieurs conflits est représenté par plusieurs points.

c) L'élongation de ces points sur l'axe des temps représente la durée qui va s'écouler entre le moment actuel et le moment où aurait lieu le conflit effectif si aucune mesure de résolution n'était prise d'ici là.

d) Chaque point est affecté d'un numéro d'ordre et est relié à une étiquette par un tiret de rappel permettant d'identifier l'étiquette correspondante.

Sous des formes optimales à expérimenter (chiffres, couleurs, symbole, épaisseur de tiret, etc.), le point et/ou l'étiquette donnent une indication du «poids» du conflit et de son urgence (au sens défini ci-dessus).

e) Chaque étiquette comprend l'indicatif des deux avions concernés.

f) L'écran comprend trois parties :

- la partie centrale utilisée de la manière décrite ci-dessus,

- une partie haute dans laquelle le calculateur trace l'histogramme de la sommation

ment de ses actions (dont il garde une complète maîtrise) ainsi qu'une protection efficace contre tout oubli ou distraction.

On peut espérer que le potentiel de l'équipe de contrôle sera largement accru par le «*calculateur contrôleur virtuel automatique*» (le troisième homme ficliff) à l'image des pilotes qui peuvent se concentrer sur les tâches qu'ils sont les plus aptes à effectuer et garder toutes leurs potentialités à leur optimum, lorsqu'ils sont déchargés de toutes les tâches de surveillance et d'exécution, que les pilotes automatiques (voire le FMS) peuvent effectuer sans leur concours.

Cette visualisation serait aussi un instrument idéal de coordination entre le contrôleur «organique» et le contrôleur Radar ; elle constitue en ce sens une aide précieuse à la coordination intrasecteur.

Cette visualisation serait aussi particulièrement précieuse au moment de la relève d'une équipe par une autre lors des changements de quart : elle synthétise en effet à tout instant la vie actuelle et future du secteur. C'est dire l'efficacité qu'on est en droit d'en espérer en situation normale, et l'état de détente des contrôleurs qu'on peut en escompter : ceux-ci seront non seulement assistés dans l'ordonnement de leurs tâches, mais pourront se consacrer sans appréhension à la conduite d'une seule tâche à la fois (notamment la conduite d'un évitement Radar) sans être agressés, d'une manière permanente et latente, par la crainte d'oublier un autre conflit ou d'avoir laissé se développer une situation qui pourrait devenir difficile à maîtriser par la suite.

La difficulté conceptuelle

On peut se demander dans quelle mesure ce projet, dont les lignes directrices ont été décrites ci-dessus, pourrait se révéler de nature à permettre de surmonter la difficulté conceptuelle fondamentale qui s'oppose au franchissement du «mur de la capacité».

Le calculateur ne peut tenir les visualisations à jour et ne peut proposer et classer les solutions que s'il est tenu informé de toutes les décisions effectivement retenues de proche en proche par les contrôleurs.

Mais il doit aussi pouvoir faire des hypothèses réalistes sur les décisions que le contrôleur sera amené à prendre dans le futur. Pour pouvoir réduire le champ du probable voire du possible, le calculateur devra lui-

même connaître les «règles de l'art» du contrôle (les contrôleurs ne décident pas n'importe quoi!).

A cette fin, il faudra programmer le calculateur à l'image de l'expertise des contrôleurs et donc expliciter au préalable avec l'aide des contrôleurs eux-mêmes, l'ensemble complexe des règles qu'ils appliquent dans chacune des multiples situations qui risquent de se présenter, et des poids d'angoisse qu'ils attribuent à l'appréhension des tâches à venir.

Il y a tout lieu de penser que le développement de ces «programmes experts» soit possible, mais on sait déjà qu'ils comprendront un nombre considérable de cas et de «règles» (plusieurs milliers) et qu'ils ne pourront être perfectionnés que par un long processus auquel les contrôleurs doivent être intimement associés.

Les techniques dites de l'intelligence artificielle et les méthodes modernes d'explicitation des règles que les contrôleurs appliquent sans en avoir une conscience explicite, ouvrent des voies très encourageantes comme le montrent en particulier les premiers résultats des travaux de Leroux à l'ENAC.

Le passage du mur de la capacité : les boucles vertueuses

Plus et mieux le calculateur influencera les choix des contrôleurs, plus le «champ de l'incertain» pourra être réduit (l'expérience seule pourra montrer dans quelle mesure les choix préférentiels du calculateur seront effectivement retenus par les contrôleurs) et, en conséquence, plus les choix proposés seront réalistes et plus le système sera stable. Plus les contrôleurs estimeront pouvoir se laisser influencer par le calculateur, meilleure sera l'efficacité du calculateur et plus grande la satisfaction des contrôleurs.

Le projet recèle ainsi des «*boucles vertueuses*» qui devraient faciliter son introduction et permettre sa montée en puissance : tout accroissement d'efficacité élémentaire accroît le service rendu, qui lui-même tend à son tour à accroître la faisabilité et l'efficacité du projet dans son ensemble.

Il en est de même de l'information du calculateur des décisions effectivement retenues par les contrôleurs : les contrôleurs auront intérêt à faire connaître leurs décisions au calculateur pour rendre celui-ci plus efficace dans l'ensemble des servi-

ces qu'il lui rend. C'est ainsi que, plus le calculateur sera efficace dans l'élaboration de choix, plus il y a de chance que ces choix soient suivis par le contrôleur.

Or l'entrée dans le calculateur de la solution choisie est conçue pour se faire d'une manière particulièrement aisée pour les contrôleurs, leur contribution se bornant à la désignation de la solution retenue parmi les choix proposés. Lorsqu'ils estimeront pouvoir ainsi informer le calculateur de leurs décisions, les contrôleurs seront largement gratifiés :

- amélioration de la pertinence des solutions proposées par le calculateur,
- suivi automatique des autorisations de contrôle,
- surveillance automatique des conflits, alertes et alarmes FISTO,
- coordination automatique intra- et inter-secteurs,
- information des militaires, etc.

Il existe donc dans le système plusieurs «boucles vertueuses» qui devraient faciliter son introduction et son amélioration de manière itérative et qui feront que :

- plus les contrôleurs se serviront du système, plus ils seront directement gratifiés, donc plus le système sera efficace pour les contrôleurs,

- plus le système sera efficace pour les contrôleurs, plus ils s'en serviront.

La boucle a des chances de se boucler ! Tel est le pari du projet.

Il convient de noter que, si le processus d'analyse de la situation par le calculateur est «à l'image» de celle qu'effectue le contrôleur, le calculateur disposera de moyens plus puissants que ceux du contrôleur pour les traiter exhaustivement, ainsi que sur une zone dépassant celle d'un seul secteur individuel.

De son côté, la «surveillance» de la situation et notamment des conflits non encore résolus constitue un processus purement logico-mathématique exempt du flou heuristique des processus de décision.

Un projet mobilisateur pour les années 90

Ce projet constitue le prolongement pratique des objectifs et de la théorie esquissés dans l'annexe 7 du rapport des Sages⁽²⁾. Il ne devrait pas rencontrer d'obstacles majeurs de nature psychologique ou sociale.