



Application d'une méthodologie d'aide à la décision multicritère dans le cadre du contrôle du trafic aérien, coopération sur plusieurs secteurs

David Annebicque, Igor Crevits, Serge Debernard, Benoît Guiost, Patrick Millot

► To cite this version:

David Annebicque, Igor Crevits, Serge Debernard, Benoît Guiost, Patrick Millot. Application d'une méthodologie d'aide à la décision multicritère dans le cadre du contrôle du trafic aérien, coopération sur plusieurs secteurs. Journées Doctorales Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes Dynamiques (JDMACS 2007), 2007, Reims, France. hal-02112928

HAL Id: hal-02112928

<https://hal.science/hal-02112928>

Submitted on 24 May 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Application d'une méthodologie d'aide à la décision multicritère dans le cadre du contrôle du trafic aérien, coopération sur plusieurs secteurs

DAVID ANNEBICQUE, IGOR CRÉVITS, SERGE DEBERNARD, BENOÎT GUIOST, PATRICK MILLOT

Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique industrielles Humaines
(LAMIH, UMR CNRS 8530)

UVHC, Le Mont Houy, F 59313 Valenciennes Cedex 9, France

Téléphone : +33 (0) 3 27 51 13 56 – Fax : +33 (0) 3 27 51 13 16

{david.annebicque, igor.crevits, serge.debernard, benoit.guiost, patrick.millot} @univ-valenciennes.fr

Résumé — Cet article présente l'application de la Méthodologie MultiCritère d'Aide à la Décision (MMCAD) dans le domaine du contrôle du trafic aérien.

Cette MMCAD a tout d'abord pour objectif de comprendre la démarche des contrôleurs aériens dans leurs tâches de détection et de résolution de conflits, dans leur secteur de contrôle, et aussi en coopération avec les secteurs adjacents. Suite à cette analyse, les outils d'aide au contrôle du trafic aérien présents dans la plateforme AMANDA (Automation & MAN-machine Delegation of Action), pourront être étendus pour une utilisation sur les secteurs adjacents, AMANDA ne gérant actuellement qu'un seul secteur de contrôle.

Mots clés — contrôle aérien, analyse multicritère, aide à la décision, coopération homme machine, MMCAD, espace de travail commun, AMANDA.

I. INTRODUCTION

Alors que dans de nombreux secteurs industriels on cherche à « retirer » l'homme de la boucle de contrôle pour obtenir un système entièrement automatisé, il reste des domaines où cette vision du « tout automatique sans homme » est assez irréaliste. Le contrôle du trafic aérien fait partie de ces domaines où l'automatisation totale semble difficile à concevoir [1] et cela pour de nombreuses raisons : c'est un domaine comportant beaucoup d'inconnues et d'incertitude sur les variables (la météorologie, la position précise des avions...) et où le maintien d'un niveau de sécurité important ne peut se faire sans opérateur. Néanmoins, c'est un domaine où les contrôleurs ont une charge de travail très élevée [2] avec un nombre de plus en plus important d'avions à gérer, leur nombre ne cessant d'augmenter. Il apparaît de plus en plus nécessaire de leur fournir une assistance leur permettant de mieux réguler leur charge de travail, tout en supportant cette augmentation du nombre d'avions dans les années à venir.

Le Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique industrielles Humaines (LAMIH), et plus particulièrement l'équipe Système Homme Machine (SHM), travaille dans cette optique d'assistance aux contrôleurs aériens depuis plus de 15 ans. Cette recherche menée en collaboration avec le Centre d'Etudes de la Navigation Aérienne (CENA) a conduit au développement de plusieurs plateformes expérimentales d'aide aux contrôleurs. La dernière version est AMANDA V2 [3] (Automation & MAN-machine Delegation of Action) et offre une assistance aux contrôleurs dans leurs tâches de résolution de conflits. Le point fort d'AMANDA est

que la coopération avec les contrôleurs se développe autour d'un Espace de Travail Commun, ETC [4]. La limite actuelle d'AMANDA est qu'elle ne prend en compte qu'un seul secteur de contrôle. L'objectif de nos recherches est d'étendre les concepts d'AMANDA à l'ensemble des secteurs adjacents, pour notamment supporter les activités coopératives inter-secteurs développées par les contrôleurs. Une analyse est alors nécessaire afin, d'une part de comprendre comment agissent les contrôleurs dans des conditions réels, et d'autre part d'étendre les fonctionnalités d'AMANDA pour une utilisation multi-secteur.

Nous présenterons tout d'abord dans cet article, le contrôle du trafic aérien, ainsi que la plateforme existante au laboratoire. Nous aborderons ensuite la méthodologie multicritère d'aide à la décision visée et expliquerons la façon de l'utiliser dans le cadre de notre étude.

II. LE CONTROLE DU TRAFIC AERIEN ET AMANDA

Cette première partie s'attache à décrire les principes du contrôle du trafic aérien en France, puis la plateforme AMANDA développée au laboratoire. Nous terminerons cette partie en positionnant le problème et l'étude que nous envisageons de mener.

A. Le contrôle aérien français

Il existe en France trois grands types de contrôle. Le contrôle d'aéroport gère les atterrissages, les décollages et la circulation des avions sur l'aéroport. Le contrôle d'approche gère les aéronefs justes avant leur atterrissage et assure leur séquençage et leur régulation si nécessaire. Enfin, le reste de l'espace aérien français et notamment les couches supérieures est géré par le contrôle « en route ». Cette zone se situe donc entre l'aéroport de départ de l'avion et la zone d'approche de l'aéroport de destination. C'est cette partie du contrôle qui nous concerne dans cette étude.

Cet espace est contrôlé en France par cinq centres de contrôle, que l'on nomme CRNA (Centre Régional de la Navigation Aérienne) à Reims, Athis-Mons, Brest, Bordeaux et Aix en Provence. Chaque CRNA est ensuite divisé, en fonction de la charge de trafic, en secteurs. Chaque secteur est surveillé par une paire de contrôleurs appelés contrôleur organique (CO) et contrôleur radar (CR).

La mission des contrôleurs est d'assurer la sécurité des vols, c'est-à-dire éviter toutes les collisions entre avions, ou avec le relief. Ils veillent au respect des règles et des normes de séparations (séparation entre deux avions sur le plan horizontal et vertical). Ils gèrent les flux d'avions traversant leur secteur de manière à éviter le moins de retard possible à l'arrivée.

Chacun des deux contrôleurs a une mission bien précise sur sa position de contrôle [5]. Le contrôleur organique a une mission de coordination avec les autres secteurs. Il a en charge de faire entrer, dans les meilleures conditions possibles, les avions, dans son secteur. Il a également la mission réciproque de donner un avion au secteur suivant dans les meilleures conditions. Le CO a également une mission de régulation de la charge de contrôle du CR, en détectant et en l'assistant dans sa tâche de résolution de conflits. Une fois l'avion dans le secteur, c'est le contrôleur radar qui le prend en charge. Il a pour mission de détecter les conflits, et de les résoudre [6].

La problématique actuelle du contrôle de trafic aérien et de faire face à une augmentation régulière du trafic qui sature de plus en plus les contrôleurs eux-mêmes. De nombreuses recherches visent à automatiser de manière partielle l'activité de contrôle pour aider les opérateurs dans leur travail : c'est l'approche retenue dans le projet AMANDA.

B. L'outil d'aide à la gestion du trafic aérien : AMANDA

Dans cette partie nous rappellerons la genèse d'AMANDA, puis nous présenterons la plateforme actuelle et enfin nous évoquerons la future plateforme, AMANDA V3, sur laquelle va porter notre étude.

L'idée de développer un système d'aide au contrôle du trafic aérien vient d'une demande des contrôleurs, qui devant l'incessante augmentation du trafic, vont bientôt arriver aux limites de leurs capacités, principalement du point de vue de la charge de travail. Quelques chiffres illustrent très bien cette augmentation : sur 25 ans (de 1977 à 2002) le trafic dans le ciel français a augmenté de 250%. On constate actuellement une croissance de l'ordre de 5% par an. Plus de 2 500 000 avions transitent chaque année dans l'espace aérien français, ce qui donne une moyenne de près de 7000 avions par jour. Ce qui fait environ 20 à 25 avions par heure par secteur, c'est la limite raisonnable de charge pour les contrôleurs. Diminuer la taille des secteurs pour diminuer cette charge n'est malheureusement pas possible, la résolution des conflits aériens nécessitant un espace géographique minimale. L'automatisation complète du contrôle n'est pas possible non plus [7, 8]. En effet, outre l'impact psychologique que cela induirait pour la clientèle, les techniques envisageables nécessiteraient une instrumentation des tous les aéronefs ce qui n'est pas envisageable économiquement. L'automatisation de la tâche de contrôle du trafic aérien ne peut donc être que partielle, et peut consister à mettre en place des outils d'assistance au contrôle dans une démarche centrée sur l'opérateur humain. C'est donc dans cette optique de coopération homme-machine que le laboratoire travaille.

Les premières recherches menées voient le jour dans les années 90, avec le prototype SPECTRA¹ V1 puis V2 [9, 10, 11] : l'idée était d'assurer une allocation dynamique de tâches entre

les opérateurs et un outil automatique permettant aux contrôleurs, en cas de pointe de trafic, de se décharger d'une partie de leurs tâches, et donc de réduire notablement leur charge de travail. L'outil automatique intégré dans SPECTRA était SAINTEX² [12] et permettait de résoudre automatiquement des conflits entre deux vols. Cependant, la coopération entre SAINTEX et les contrôleurs, était difficile et a occasionné beaucoup de conflits décisionnels entre ces agents. Le contrôleur était en effet obligé d'observer les résolutions faites par SAINTEX, et d'en tenir compte pour effectuer ses propres résolutions de conflit, ceux qu'ils n'avaient pas souhaité allouer à la machine. De plus, les compétences de SAINTEX se limitaient aux seuls conflits binaires, situations qui dans l'avenir seront de plus en plus rares à cause de l'augmentation du trafic. Enfin, les méthodes de résolution de SAINTEX conduisaient à des écarts de trajectoire beaucoup trop importants, ce qui provoque des dégradations des performances en termes de consommation de carburant, et de temps.

La conception d'un outil plus coopératif avec les contrôleurs pour éviter les conflits décisionnels d'une part, et permettant réellement aux contrôleurs de se décharger d'une partie de son travail d'autre part, apparaissait nécessaire. En termes de compétences, l'automatisme doit aussi proposer des trajectoires plus performantes, et prendre en charge des conflits à plus de deux avions. C'est donc dans ce cadre que voit le jour le projet AMANDA [3].

AMANDA intègre tout d'abord un nouvel outil d'aide à la résolution de conflit appelé STAR³ [13]. Contrairement à SAINTEX, STAR agit en coopération avec le contrôleur. Une fois un conflit détecté par le contrôleur, ce dernier a la possibilité d'utiliser STAR pour résoudre ce conflit. Pour cela le contrôleur indique à l'outil la manière dont il aimerait résoudre le conflit. Dans AMANDA, cette « manière de résoudre » s'appelle une directive, directive qui est en fait une stratégie de résolution dont STAR tient compte pour calculer la ou les solutions à un conflit aérien. Une directive est par exemple « faire passer l'avion A derrière l'avion B »... Une fois la directive connue, STAR va calculer les trajectoires possibles pour résoudre le conflit, en évitant bien sûr d'en créer un nouveau avec les autres avions du secteur. STAR propose ensuite sa solution au contrôleur, qui peut choisir de l'approuver et de la déléguer à STAR ou bien de la refuser. Dans le premier cas, le système va s'occuper d'envoyer les changements de cap aux avions concernés, le contrôleur restant libre de reprendre le vol à tout moment. Si le contrôleur a refusé la solution présentée par STAR, il pourra soit modifier les directives, soit finalement résoudre le conflit lui-même...

AMANDA apporte aussi une notion très importante dans la coopération entre les deux contrôleurs (CO-CR), mais aussi entre les contrôleurs et la machine (CR & CO-STAR) : l'Espace de Travail Commun (ETC). Les premiers travaux sur ce référentiel ou espace commun sont menés en 2001 [14], et s'appuient sur le modèle de résolution de problème de Rasmussen [15]. Guiost [16] a, au cours de sa thèse, développé ce concept : une première phase expérimentale avec des contrôleurs a permis d'identifier son contenu effectif ; une

¹ Système de Partage Expérimental de tâche pour le Contrôle du Trafic Aérien.

² Système de contrôle Automatique de Nuit EXpérimental

³ Système Tactique d'Aide à la Résolution

deuxième phase de conception a permis de le développer et enfin une troisième phase expérimentale a permis de l'évaluer. AMANDA, dans sa version 2 actuelle, a donc été testée avec des contrôleurs professionnels, ce qui a permis de valider l'ETC et STAR. Les analyses de protocoles ont montré que ces concepts apportaient une aide indéniable à la tâche de contrôle, en favorisant notamment les activités liés à l'anticipation. Le système d'aide à la résolution fournit de meilleurs résultats que SAINTEX et les contrôleurs ont bien accueillis et utilisés le système.

Néanmoins, certains contrôleurs ont jugé le nombre de directive trop limité, et à l'inverse il est ressorti de ces expérimentations que certaines directives n'étaient pas utilisées. STAR a fourni de plus quelques trajectoires assez incohérentes, dû à un manque d'expertise dans des cas complexes.

Concernant l'ETC, la version actuelle ne gère le partage d'informations entre contrôleurs et STAR que pour un seul secteur. L'utilisation de cet ETC par les contrôleurs permet pourtant à la machine de capter un ensemble d'informations qui conduit à la génération de nouvelles trajectoires dont la connaissance peut être utile aux secteurs traversés par un vol, notamment le secteur suivant par rapport à sa route. En effet, pour un contrôleur, les incertitudes liées à une trajectoire est un facteur important de charge de travail. Réduire ces incertitudes permettrait donc d'améliorer le travail des contrôleurs et Guiost [16] suggère donc d'étendre le principe de l'ETC aux secteurs adjacents.

C'est donc suite à cette expérimentation sur AMANDA V2, que ce place cette nouvelle recherche. Elle a pour objectif de corriger les problèmes détectés précédemment, notamment en effectuant une nouvelle extraction de connaissance pour améliorer les directives et les propositions de trajectoire de STAR. Cette version 3 d'AMANDA intégrera les secteurs adjacents, utilisera un ETC « amélioré » qui fournira aux contrôleurs les actions des secteurs adjacents susceptibles de l'intéresser. Cet apport d'informations des autres secteurs aura pour conséquence de réduire l'incertitude sur la position des avions, notamment au moment d'entrer dans le secteur. La coopération entre CO, notamment lors des transferts d'avions ou pour la détection de conflit, sera également améliorée grâce à cette mise en commun d'informations.

III. APPROCHE MULTICRITERE

Afin d'étendre AMANDA aux secteurs adjacents et de définir au mieux le nouveau système d'aide intégré à AMANDA, il est nécessaire de comprendre la façon dont les contrôleurs utilisent ces secteurs adjacents dans leurs actions et leurs choix. Le métier de contrôleur aérien se caractérise par la recherche d'un compromis entre plusieurs systèmes de valeurs. C'est typiquement la notion de gestion de flux d'avion évoquée précédemment. Ainsi, les contrôleurs agissent sur le trafic en veillant à une sécurité optimale, tout en essayant de réduire les retards, et les coûts en carburant. Le contrôle du trafic aérien est donc par nature multicritère. Il est assez irréaliste de vouloir résumer les actions des contrôleurs en un seul et unique objectif qui serait la sécurité, le coût ou le temps. Par ailleurs, les actions des contrôleurs constituent la partie terminale d'une gestion des situations de contrôle. Elles résultent donc de décisions préalablement prises par les contrôleurs. Dès lors, il

apparaît judicieux d'aborder la conception de l'aide sous l'angle de la prise de décision multicritère. Pour ce faire, nous nous appuyons sur la Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision (MMCAD) [17,18]. Nous faisons ce choix délibérément. Le laboratoire possédant une bonne expertise de cette méthodologie. De plus son concept « actions potentielles – critères – préférences » se prête bien au domaine du contrôle de trafic aérien et à l'étude, qui va consister à déterminer pour chaque action potentielle, chaque choix, les critères, et les préférences, qui pousseraient à choisir tel ou tel action.

Dans un premier temps nous allons donc rappeler la démarche de l'analyse multicritère, puis comment appliquer cette méthode dans le cadre du contrôle aérien.

A. Aide multicritère à la décision

La MMCAD remplace le concept de décision comme résultante de la notion plus large de processus décisionnel dans lequel plusieurs intervenants peuvent jouer un rôle selon leurs propres intérêts. De ce fait, l'étude du problème décisionnel en lui-même est accentuée.

La méthodologie multicritère d'aide à la décision, procède en quatre niveaux (figure 1) :

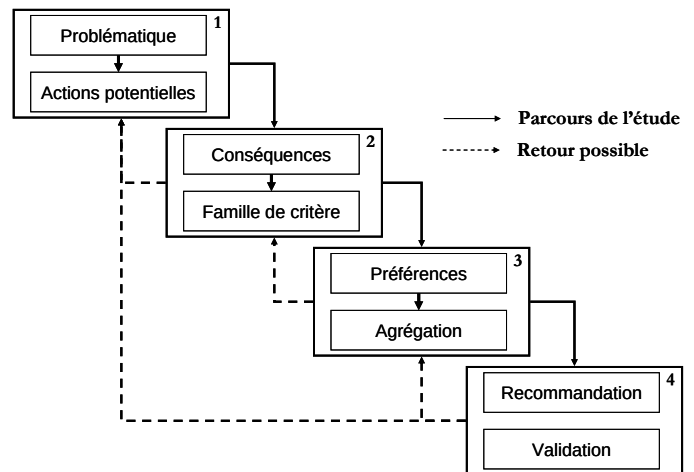


Figure 1 schéma de synthèse de la Méthodologie Multicritère d'aide à la décision (MMCAD)

Le niveau 1, intitulé « Objet de la décision et esprit de la recommandation » vise à structurer le processus décisionnel et à définir les actions potentielles. Le processus décisionnel s'inscrit dans la logique d'AMANDA, il n'est donc pas question de le définir, mais de placer notre étude dans ce contexte. En particulier, l'étape terminale du processus doit faire l'objet d'une attention spécifique afin que la préconisation fournie par l'aide soit bien insérée dans le processus décisionnel. Les actions potentielles représentent les possibilités réalistes d'agir sur des avions et constituent les étapes de la décision globale.

Le niveau 2, intitulé « Analyse des conséquences et élaboration des critères » vise à définir les éléments par lesquels les décideurs évaluent les actions potentielles. Les actions sont vues en terme de conséquences élémentaires dans l'hypothèse qu'elles soient mises en œuvre. Ces conséquences élémentaires sont ensuite associées à une valeur numérique pour constituer un ensemble de dimensions. Les critères constituent une synthèse des dimensions permettant une différenciation des actions. A ce niveau est intégrée la manière dont sont

Situation	Définition	Relation binaire	
Indifférence	correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une équivalence entre les deux actions.	I : relation symétrique réflexive	
Préférence stricte	correspond à l'existence de raisons claires et positives qui justifient une préférence significative en faveur de l'une (identifiée) des deux actions.	P :	relation asymétrique (irréflexive)
Préférence faible	correspond à l'existence de raisons claires et positives qui infirment une préférence stricte en faveur de l'une (identifiée) des deux actions mais ces raisons sont insuffisantes pour en déduire soit une préférence stricte en faveur de l'autre, soit une indifférence entre ces deux actions (ces raisons ne permettent donc pas d'isoler l'une des deux situations précédentes comme étant la seule appropriée).	Q :	relation asymétrique (irréflexive)
Incomparabilité	correspond à l'absence de raisons claires et positives justifiant l'une des trois situations précédentes.	R :	relation symétrique irréflexive.

Tableau 1 Modélisation des quatre situations fondamentales de préférences dans la comparaison de deux actions potentielles [18]

appréhendés les facteurs d'incertitude, d'imprécision et d'indétermination.

Le niveau 3, intitulé « Modélisation des préférences globales et approches opérationnelles pour l'agrégation des performances », a pour objectif de prendre en compte l'organisation des critères entre eux pour décider. La décision est vue comme le respect d'un ensemble de préférences du décideur. L'idée d'agrégation doit être ici entendue dans son acception la plus large. Les techniques de somme pondérées sont une forme d'agrégation ramenant l'ensemble des préférences à un critère unique de synthèse. Ce niveau est plus large en intégrant les notions d'indifférence et d'incomparabilité, et décompose la notion de préférence en préférence stricte et préférence faible. La première notion se rattache à la signification usuelle, en ce sens que la préférence d'une action est justifiable. Il en va de même pour l'indifférence. Par contre, la préférence faible traduit l'insuffisance de justification, sans pour autant qu'une indifférence puisse être établie (voir Tableau 1).

Le niveau 4, intitulé « Procédures d'investigation et élaboration de la recommandation », concerne les aspects techniques de la méthodologie, se rapprochant ainsi des concepts du logiciel. En particulier, à ce niveau on retrouve les aspects algorithmiques. Il faut ici entendre cette notion plus largement que dans le secteur du logiciel. Les références ne sont pas ici que les langages informatiques, mais également les formalismes utilisés en mathématiques de la décision. Ainsi, le choix de la programmation linéaire peut s'imposer sur un aspect du processus décisionnel, tout comme une base de données peut s'imposer dans la conception d'une application informatique. Au niveau 4, les aspects de validité des résultats produits par l'aide sont également abordés.

B. Application de la méthodologie au cas du contrôle de trafic aérien

Maintenant que nous avons présenté la MMCAD, nous allons l'appliquer à notre domaine d'étude, le contrôle du trafic aérien. Cette application de la MMCAD s'inscrit dans le développement de la nouvelle version d'AMANDA. Nous présentons ici un premier état des hypothèses de travail, ainsi que les orientations de l'étude dans le travail de conception.

L'objectif principal de cette troisième version d'AMANDA est d'introduire la notion de secteurs adjacents. En effet jusqu'à présent AMANDA c'était focalisé sur le développement d'un outil de coopération entre CO et CR et l'outil d'aide STAR au sein d'un même secteur. Dans le contrôle du trafic aérien les contrôleurs organiques sont très souvent amenés à coopérer avec leurs homologues des secteurs adjacents. Il est donc nécessaire de prendre en compte cet aspect et pour étendre les principes mis au point dans AMANDA V2, avec l'ETC, qui a facilité la coopération entre CO et CR d'un même secteur, aux CO de différents secteurs. Pour cet aspect de la nouvelle plateforme il n'existe pas d'informations explicites, aucune étude portant clairement sur l'utilisation des secteurs adjacents n'a été menée. Toutefois il existe quelques données et réponses dans les résultats des expérimentations d'AMANDA V2 qui peuvent servir de base et de point de départ à notre étude. Nous mènerons une étude explicite grâce à l'application de la MMCAD en vue d'affiner nos hypothèses de travail. Pour ce faire, nous envisageons de recueillir l'expertise de contrôle, non seulement auprès de contrôleurs confirmés, mais également auprès de formateurs et d'ingénieurs de la navigation aérienne.

Le second objectif de cette version est de régler les divers problèmes soulevés lors des expérimentations sur les versions précédentes, et notamment quelques défauts au niveau de STAR et des directives. Il ressort des conclusions d'AMANDA V2 [3] que certaines trajectoires ont « surpris » les contrôleurs, notamment en cas de directive trop tardive. Les normes de séparations étaient respectées au plus juste, ce qui a également surpris les contrôleurs qui ont l'habitude de laisser une séparation d'environ 15NM, qu'ils appellent « séparation de confort ». Il ressort de ces expérimentations que certaines directives ont été beaucoup plus utilisées que d'autre. Les contrôleurs ont évoqué une confusion avec les termes employés, la directive « éviter par la gauche » leur a fait penser à une situation d'urgence. Il est donc important dans cette étude d'accéder aux vocabulaires, aux termes employés par les contrôleurs, afin que ce genre de confusion ne se produise pas. Ensuite l'analyse menée dans le cadre de STAR, pour déterminer les trajectoires, ne se base pas sur une expertise auprès des contrôleurs, ni même une application de MMCAD stricte. L'étude que nous allons mener est une occasion de revoir cela et de l'améliorer. Nous pourrions exploiter la

version de STAR existante et les résultats présents pour appuyer notre étude, et également lors de nos entretiens avec les différents intervenants.

Comme nous venons de l'évoquer l'apport important de cette nouvelle version est la prise en compte des secteurs adjacents. Les contrôleurs utilisent ces secteurs pour détecter des conflits bien en amont de leur secteur, essayer de les résoudre avant, en coopérant avec les autres secteurs, et également dans le but de réguler la charge de travail et de contrôle sur leur secteur. Notre étude va donc conduire à développer un système coopératif entre les contrôleurs et l'outil d'aide STAR, mais aussi entre les CO de différents secteurs. La première partie du système coopératif est déjà existante dans les versions d'AMANDA c'est l'ETC. La partie coopération entre CO est à faire, et donnera lieu à un ETC « amélioré » [16]. Cet ETC permettra notamment de partager les informations nécessaires aux négociations entre deux CO, et devrait permettre de réduire les incertitudes sur la position des avions, et leurs conditions d'entrées dans le secteur. Enfin l'étude MMCAD vient s'inscrire dans la démarche de conception de système coopératif, et notamment dans le modèle utilisé pour la plateforme AMANDA, le cycle en U [19]. La MMCAD pourra venir étayer certaines étapes de l'étude en suggérant un champ de questions et en apportant des réponses.

Dans notre contexte, il ressort trois niveaux d'abstraction possible : un premier niveau à l'échelle de plusieurs secteurs (multisecteur), un second niveau pour le secteur en lui même et le dernier niveau d'abstraction serait les trajectoires des avions. On peut écrire ces trois niveaux sous des termes moins propres au domaine d'étude en différenciant un niveau stratégique, un niveau tactique et un niveau opérationnel.

Niveaux d'abstractions/d'études :

- Stratégiques (coopération entre CO des différents secteurs), dans ce niveau les CO détecteront les conflits et créeront les problèmes/clusters [20]
=> Multisecteur
- Tactique (coopération entre CO/CR & STAR), ce niveau permettra de définir les directives pour résoudre un conflit
=> Secteur
- Opérationnel (coopération entre CR & STAR), ici sera choisi les trajectoires des avions pour résoudre le conflit
=> Trajectoires

Nous étudions ces trois axes le plus indépendamment possible cela dans le but d'obtenir des résultats épurés et ciblés sur un problème précis, et donc offrant la possibilité d'approfondir chaque niveau. Mais pour autant les axes sont liés entre eux. En effet concevoir une trajectoire sans avoir de problèmes serait assez surprenant. C'est donc tout logiquement qu'apparaît l'influence de l'axe 1 sur l'axe 2, du deuxième sur le troisième. L'existence de décisions rapidement opérationnelles apparaît plausible en l'état actuel de nos réflexions. Ce type de décisions correspond à un lien direct entre l'axe 1 et l'axe 3. Nous profitons de l'étude pour conclure quant à cette éventualité. La MMCAD permettra d'apporter des réponses à ces questions.

L'étude des trois axes indépendamment va donc conduire à mener trois MMCAD, et donc définir trois problématiques, obtenir trois familles de critères... Mais la recommandation (le niveau 4) sera elle très certainement plus globale. Par exemple

lors de coopération entre CO, niveau stratégique, celui si peut être amené à justifier ses requêtes, niveau opérationnel. Dans tous les cas il ressortira de ces trois études un seul système coopératif, une seule plateforme. Cette plateforme sera composé de décisions différentes, d'outils différents répondant et correspondant à chacune des recommandations et des axes, mais ils seront regroupés au sein d'un unique environnement, l'ETC. On choisit donc délibérément de placer l'étude dans la conception d'une aide à la décision orientée processus plutôt que résultat (performance pur de chaque outil séparément). Nous développons un système coopératif. Il doit donc être utilisable facilement, et compréhensible par l'Homme qui va devoir l'utiliser.

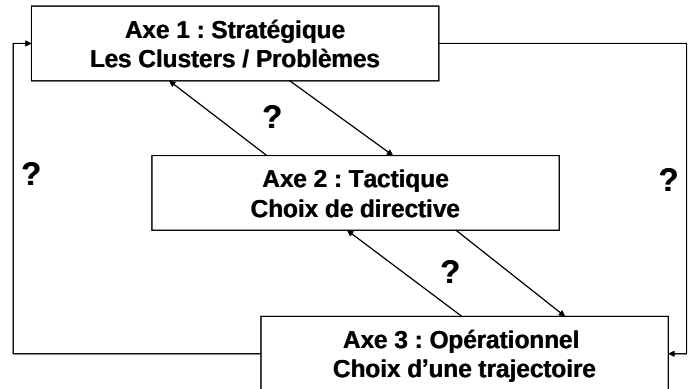


Figure 2 Schéma de synthèse des trois axes de l'étude, et des liens qui sont encore à identifier

L'ordre dans lequel nous choisissons de réaliser ces trois MMCAD aura de l'influence et des conséquences sur les résultats que l'on souhaite obtenir. Ainsi la conduite de trois études indépendantes les unes des autres ne nous permettrait pas de faire ressortir les liens existant entre les différents axes. C'est pourquoi nous étudions chaque niveau de la MMCAD pour chacun des trois axes (Tableau 2). Nous étudierons donc le niveau 1 pour les trois axes, puis le niveau 2 pour les trois axes... Cette façon de procéder fera ressortir les liens entre les axes et permettra éventuellement de compléter un niveau antérieur sans avoir à refaire entièrement l'étude.

		Niveaux MMCAD			
		1	2	3	4
A	Stratégique	1	4	7	10
X	Tactique	2	5	8	11
E	Opérationnel	3	6	9	12

Tableau 2 Ordre d'application des niveaux de la MMCAD pour les trois axes

L'aspect coopération Homme-machine est le fil conducteur de l'étude, mais on ne se focalise pas spécifiquement sur ce point. Cet aspect intervient essentiellement dans le niveau 4, recommandation. L'objectif est essentiellement de comprendre la démarche et l'utilisation que font les contrôleurs des secteurs adjacents, leurs façons de coopérer... L'aspect coopération homme-machine peut donc être considéré comme une synthèse de la MMCAD.

Les résultats attendus de cette étude sont une identification et une compréhension de la démarche des contrôleurs organiques dans la coopération entre secteurs. Ceci nous permettra de développer le nouvel ETC qui permettra d'aider à coopérer les CO. Grâce à cette étude on pourra également revoir les directives, et la remise en cause de STAR. En effet il ressort

que la méthode actuelle qui consiste à calculer plusieurs trajectoires pour en choisir une seule avec une méthode « multicritère » est incohérente avec la démarche même des contrôleurs. L'approche actuelle est indépendante du processus décisionnel. Les contrôleurs ne choisissent pas la solution à un conflit parmi plusieurs trajectoires mais construisent une trajectoire (et une seule) au fur et à mesure de l'évolution du conflit. Pour ce point il faut encore attendre l'identification plus précise des éléments du processus décisionnel pour statuer définitivement. Mais il convient de ne pas exclure de voir l'aspect calcul de trajectoire comme un problème d'optimisation classique.

IV. CONCLUSION

Les concepts implémentés dans AMANDA 2 ont été très bien acceptés par les contrôleurs, apportent une réelle aide au contrôle, et semblent fournir des résultats suffisamment convaincants pour que les contrôleurs l'utilisent en confiance (ce qui n'était pas totalement le cas avec SAINTEX par exemple).

Il faut maintenant étendre ce concept d'AMANDA à l'ensemble des secteurs pour faciliter la coordination inter secteur. L'intérêt de cette prise en compte des secteurs adjacents est d'assister la tâche de coopération entre les CO, et également de réduire les incertitudes sur les trajectoires des avions changeant de secteur.

Cette étude multicritère n'est qu'au début, elle devrait à terme permettre de développer un outil d'aide prenant en compte les secteurs adjacents, et également un outil qui proposerait des solutions encore plus proche de ce que ferait un contrôleur. L'étude conduira donc à améliorer l'ensemble des directives proposées, l'outil STAR qui fournira des trajectoires plus « réalistes », et enfin l'ETC qui sera adapté à l'utilisation des secteurs adjacents. Cela permettra d'améliorer la coopération entre les hommes, grâce à cet ETC multisecteur.

V. REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier l'ensemble des contrôleurs ayant participé à nos expérimentations. Le Centre d'Etude de la Navigation Aérienne (CENA) et la Sous Direction Etudes et Recherche appliquée (SDER) de la Direction Général de l'Aviation Civil (DGAC), qui prend la suite du CENA, pour leur soutien et leur confiance. Nous remercions également le GdR MACS (Groupement de Recherche en Modélisation, Analyse et Conduite des Systèmes dynamique) pour l'organisation des JDMACS 2007.

VI. REFERENCES

- [1] Hopkin V.D., The impact of automation on air traffic control systems, NATO ASI Series. Vol. F73. *Automation and systems Issues in Air Traffic Control*, pp 3-19, 1991
- [2] Hopkin V.D., Air Traffic Control, E.L. Wiener & D.C. Nagel (éds) *Human factor in aviation*, pp 639-663, academic press, New York, 1988.
- [3] Guiost B., Debernard S., Poulain T., Cathelain S., Projet AMANDA, rapport final de la troisième phase, *Rapport DSN/DTI/SDER/R05-008*, Direction des Services de la Navigations Aérienne, Athis-Mons, France, 2005.
- [4] Debernard S., Cathelain S., Crévits I., Poulain T., AMANDA Project: Delegation of tasks in the air-traffic

- control domain, In M. Blay-Fornarino, A-M. Pinna-Dery, K. Schmidt, P. Zaraté (Ed.), *Cooperative Systems design*. pp 173-190. IOS Press. (COOP'2002), 2002
- [5] Alonso B.M., Le partage des tâches entre contrôleurs aériens et contribution à la spécification d'interfaces, Journées de coordination des recherches, Centre d'Etude de la Navigation Aérienne, France, déc. 1992
- [6] Schaefer D., Flynn M., Skraaning G., The presentation of conflict resolution. *Advisories to Air Traffic Controllers – A Human Factors Perspective*. HCI International 2003, Crete, Grèce, June 22-27, 2003
- [7] Alliot J.-M., Intelligence artificielle et informatique théorique. Appendice B : jeu d'échec, circulation aérienne et intelligence artificielle, Ecole Nationale de l'Aviation Civile, pp. 239-254, France, sept. 1990.
- [8] Durand N., Alliot J.-M., Peut-on supprimer le contrôle air sol ? la recherche, France, Avril 1999.
- [9] Debernard S., Contribution à la répartition dynamique des tâches entre opérateur et système automatisé : application au contrôle de trafic aérien, thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, LAMIH, Valenciennes, France, 1993.
- [10] Crévits I., Répartition dynamique de tâches dans les procédés complexes : application au contrôle de trafic aérien, thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, LAMIH, Valenciennes, France, 1996.
- [11] Lemoine-Pacaux M.-P., Coopération Hommes-Machines dans les procédés complexes, thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, LAMIH, Valenciennes, France, 1998.
- [12] Angerand L., Le Jeannic H., Bilan du projet SAINTEX, note R92009, Centre d'Etude de la Navigation Aérienne CENA, 1992.
- [13] Cathelain S., Contribution à la conception des systèmes coopératifs. Application au domaine du contrôle de trafic aérien, thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, LAMIH, Valenciennes, France, 2005.
- [14] Pacaux-Lemoine M.-P., Debernard S., Common work space for human-machine cooperation in air traffic control, Elsevier, 2001.
- [15] Rasmussen J., Skills, rules and knowledge; signals, signs and symbols, and other distinctions in human performance models, *IEEE transactions on systems, man cybernetics*, SMC 13, N° 3, May/June, 1983.
- [16] Guiost B., Coopération Homme-Machine soutenue par un espace de travail commun. Application au contrôle du trafic aérien, thèse de doctorat, Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis, LAMIH, Valenciennes, France, 2006.
- [17] Roy B., Méthodologie multicritère d'aide à la décision, (éds) Economica, Paris, France, 1985.
- [18] Roy B., Bouyssou D., Aide multicritère à la décision : méthodes et cas, (éds) Economica, Paris, France, 1993.
- [19] Millot P., Supervision des procédés automatisés et ergonomie, Hermès, Paris, France, 1988.
- [20] Debernard S., Hoc J.-M., Denecker P. et al., Projet AMANDA, rapport final de la deuxième phase, *RAPPORT LAMIH/CENA 96/C0007*, Centre d'Etude de la Navigation Aérienne CENA, Athis-Mons, France, 2001.