



En Route Air Traffic Soft Management Ultimate System

Jacques Villiers, ERASMUS,
A friendly way for breaking the capacity barrier,
ITA, volume 58, Juin 2004

Jean-Louis Garcia

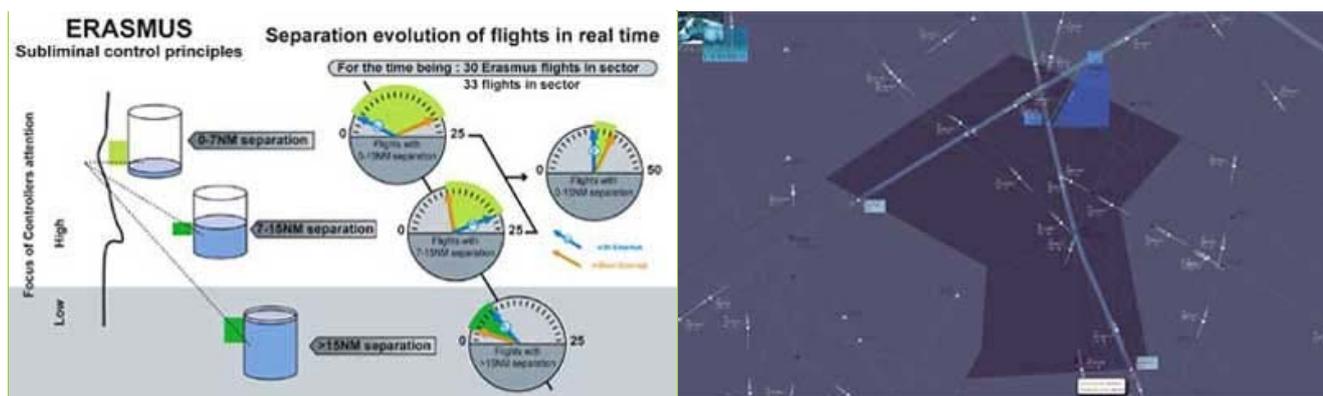
Avec mes remerciements à l'ensemble des membres du consortium et particulièrement à Sonia Abdesslem et Philippe Averty les conseillers et spécialistes Facteurs Humains du projet, sans qui ce document n'aurait pu être écrit.

- > 1 - INTRODUCTION
- > 2 - CONSORTIUM
- > 3 - WORK PACKAGE
- > 4 - LA PROBLEMATIQUE
- > 5 - DE LA THEORIE COGNITIVE A LA REALITE OPERATIONNELLE
- > 6 - MODE DE FONCTIONNEMENT SUBLIMINAL
- > BIBLIOGRAPHIE

> 1 - INTRODUCTION

ERASMUS est un projet de recherche financé par la Direction Générale « Transport et Énergie » de la Commission Européenne , au sein du 6ème Programme-Cadre.

Considérant le haut niveau d'automatisation ayant été introduit dans le segment aérien durant les 50 dernières années, le système de gestion des vols (FMS) en étant un exemple récent, on peut se demander pourquoi il n'en a pas été de même pour le segment sol. Il semblerait que le système d'ATM ne tire pas tous les avantages, soit des installations de communication air/sol de navigation de zone précise (P-RNAV), soit de l'équipement de FMS, qui est déjà utilisé dans le monde entier. Les transporteurs aériens, les constructeurs d'aéronefs et les concepteurs de systèmes ont du mal à comprendre pour quelle raison un tel potentiel, en termes de précision des données et de capacité de calcul, à la fois au sol et en vol, reste toujours inutilisé. ERASMUS propose des moyens novateurs pour resynchroniser l'automatisation entre les segments aérien et sol, en cherchant à mettre en place une forte coopération entre l'être humain et la machine et en ayant pour but de mieux utiliser le potentiel actuel proposé par le segment aérien.



Les objectifs stratégiques traités par ERASMUS consistent à proposer une solution d'ATM innovante capable de répondre au défi de la demande du trafic et d'améliorer le rendement et le niveau de sécurité du système de transport aérien européen présenté dans ACARE SRA II.

ERASMUS adopte une approche air-sol coopérative ayant pour but de définir et de valider une automatisation d'ATC innovante centrée sur l'être humain pour la sécurité et la productivité du secteur, en maintenant les contrôleurs et les pilotes dans la boucle.

En extrapolant la position et la vitesse actuelles de chaque aéronef, le contrôleur prend aujourd'hui une grande marge de manœuvre en raison de la précision limitée des informations. L'environnement incertain dans lequel travaillent les contrôleurs représente un domaine permettant aux systèmes automatiques d'optimiser le flux de trafic en utilisant la navigation de zone précise (P-RNAV), les installations de communication air/sol et le système de gestion de vol de bord (FMS). En même temps que le système de pilotage automatique effectue des ajustements mineurs (axe de roulis, contrôle de niveau) qui ne sont pas perceptibles par les pilotes, le système automatique d'ATC utilise des ajustements mineurs (vitesse verticale/horizontale, taux de montée/descente) pour résoudre (ou éliminer) un grand nombre ou la majeure partie des conflits entre des vols différents. Une hypothèse de base dans le travail d'ERASMUS est que de telles actions mineures/subliminales ne sont pas directement perceptibles par les contrôleurs, ni en conflit avec leurs propres actions et responsabilité. Si l'on

suppose que la vitesse relative peut être réglée de manière sûre par ce contrôle automatique (par exemple, les variations des vitesses horizontale et/ou verticale), on estime que le nombre de conflits résiduels que les contrôleurs doivent envisager peut en conséquence être réduit de manière significative (jusqu'à 80 %).

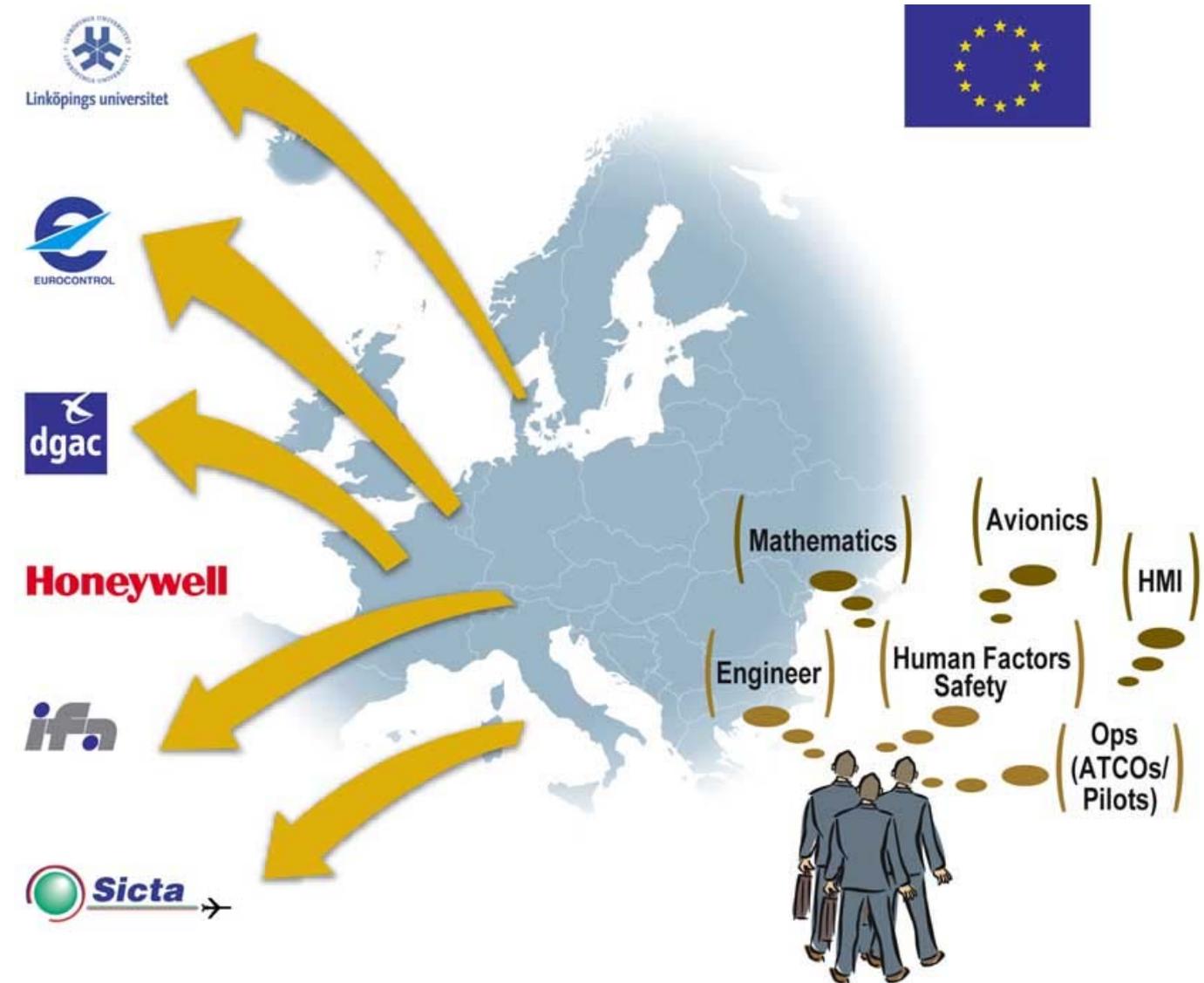
Le projet ERASMUS envisage ce contrôle subliminal et propose d'évaluer un ensemble de trois applications à appliquer du niveau stratégique au niveau tactique (le niveau stratégique a lieu avant le niveau tactique).

Ces trois d'applications vont de l'automatisation complète (délégation totale à la machine) à une automatisation inférieure (l'ordinateur étant un conseiller pour le contrôleur) :

- > Contrôle subliminal : La machine peut « éliminer » automatiquement les conflits par des modifications mineures des vitesses ou des taux de montée sans intervention humaine.
- > « Pilote automatique d'ATC » : Délégation à la machine des actions « subliminales » de résolution de problèmes, au cas par cas (sous le contrôle de l'être humain).
- > Détection améliorée des conflits à moyen terme (MTCD) : Fourniture à l'aéronef d'informations relatives aux conflits/problèmes, en prenant en compte les possibilités technologiques, et le raisonnement et les processus cognitifs du contrôleur.

Ce document ne décrit que l'application « contrôle subliminal ».

> 2 - CONSORTIUM



> 3 - WORK PACKAGE

Les objectifs des Work Package sont les suivants :

> **gestion du projet et diffusion (WP0)** – Responsable CEE : gestion du consortium et fourniture du compte-rendu à la commission, plus coordination

> **concept des opérations (WP2)** – Présidé par DSNA/DTI/R&D : élaboration du concept et du mode opératoire, de telle sorte que les objectifs cibles en termes de capacité, sécurité et rendement, soient satisfaits dans l'intervalle de 2011 à 2020. À cette étape, on aura acquis

technique avec les partenaires. De plus, ce lot de travaux assure également les activités de diffusion ;

> **prédiction de trajectoire air et sol (WP1)** – Présidée par HONEYWELL : obtention d'une meilleure connaissance de la prévision de position des aéronefs (disponibilité, précision et intégrité des données air et sol) pour vérifier la faisabilité et le rendement de tout projet d'automatisation futur. Le second objectif est le suivant : à partir des résultats du modèle de prédiction de trajectoire air et sol, un modèle mathématique d'ATC évalue la possibilité d'une estimation a priori dans chaque cas, la probabilité de réussite de la prédiction de trajectoire et la proportion des actions subliminales réussies, ainsi que des ajustements mineurs ;

la confiance du fait que les opérations d'ERASMUS fournissent des avantages qualitatifs et un processus de transition bien détaillé ;

> **mise au point de prototype (WP3)** – Présidée par DSNA/DTI/R&D : fourniture de spécifications détaillées des scénarios opérationnels sélectionnés, en particulier en ce qui concerne la représentation des informations de l'IHM/trafic et mise au point du prototype à la fois du côté contrôleur et pilote ;

> **validation et conclusion (WP4)** – Présidées par la CEE : exécution de processus de validation en terme de vérification de « preuve de concept », ayant pour but de fournir des indications d'avantages quantifiables de sécurité, sûreté, capacité, et le rapport bénéfices-coûts.

> 4 - LA PROBLEMATIQUE

L'analyse des problèmes de l'ATM conduit au fait que ce système doit maintenir le contrôleur dans la boucle. Est en jeu le maintien d'une intelligence humaine spécifique pour prendre en compte l'accroissement du trafic. Ainsi, le problème global des facteurs humains, en termes de solutions, concerne la manière de maintenir l'être humain au bon endroit, avec le bon rôle, pour s'assurer qu'il soit toujours capable de proposer ses compétences indispensables pour gérer le nouveau système technique. Ceci signifie des hypothèses précises concernant :

- > Le niveau et la nature de l'intervention humaine dans le processus (et ainsi, sa proximité avec celui-ci) ;
- > La quantité/qualité des informations fournies à l'être humain ;
- > La nature des outils d'assistance, leur visibilité et leur intégration à l'activité humaine.

Dans cette partie, on présente les différentes lignes de solution d'ERASMUS qui ont été déduites de la compréhension de la relation entre les stratégies du contrôleur (= son activité) et les spécificités de l'objet sur lequel il travaille (= le trafic). La construction de la solution ERASMUS est basée sur les réponses à 3 questions, à savoir :

- > Où se trouve la source des ressources mentales ?
- > Comment les exploiter ?
- > Qu'est-ce qui doit être préservé, dans l'activité humaine, pour assurer l'équilibre du système ?

LA LIBERATION DES RESSOURCES MENTALES, EN AGISSANT SUR LA PERCEPTION DU RISQUE DU CONTROLEUR DIMINUE LA SENSATION DE DIFFICULTE

L'une des hypothèses fondamentales d'ERASMUS est que le contrôleur utilise une grande partie de ses ressources mentales pour **surveiller** l'évolution des situations de trafic. Ainsi, les ressources utilisées se trouvent à un niveau **d'attention** supérieur par rapport au niveau de raisonnement. En fait, le contrôleur expert sait parfaitement comment détecter des situations où le risque de conflit ou l'absence de conflit est certain. De plus, il n'a habituellement aucun problème pour les résoudre. Par contre, **les situations où le jugement initial concernant le risque de conflit n'est pas directement perçu comme certain sont coûteuses** du point de vue de ces ressources mentales. En fait, en raison de l'incertitude des données, le jugement de l'expert n'est pas toujours suffisant pour classer immédiatement des situations dans les catégories « conflit » et « absence de conflit ». Certains doutes peuvent subsister en ce qui concerne la pertinence d'un conflit perçu. Dans ce cas, le contrôleur doit laisser la situation évoluer pour préciser son pronostic. Il peut différer sa décision pour n'intervenir que si celle-ci est réellement justifiée. Cependant, cette option nécessite une grande quantité de ressources car elle est supposée exécuter un processus de « **lever de doute** » (nécessitant une attention soutenue dans le temps, pendant la surveillance de l'évolution réelle d'un conflit).

> Considérant que cet « embouteillage » dans l'activité du contrôleur représente un point essentiel de saturation de la capacité, on suppose que l'action appropriée d'un outil d'aide doit concerner la **gestion du doute**.

Le contrôleur dispose actuellement de certaines stratégies pour gérer ce doute. Lorsqu'il ressent que ses ressources sont proches de la saturation, il préfère envisager que le conflit potentiel perçu existe. En conséquence, il met rapidement en œuvre une action adaptée pour se débarrasser rapidement de la charge du problème et se consacrer lui-même plus rapidement au reste du trafic. En agissant de la sorte, il met quasiment un terme à l'utilisation de ses ressources mentales. En d'autres termes, il diminue la difficulté de **gestion de la situation en transformant la réalité** : il la rend conforme à une situation qu'il peut contrôler. Ainsi, non seulement le contrôleur essaie d'adapter ses ressources à la réalité de la situation, mais il est également capable d'adapter la réalité à ses propres ressources. Néanmoins, cette stratégie met en œuvre des actions qui s'ajoutent au trafic, ce qui peut être évité. En conséquence, certaines ressources sont finalement requises pour réaliser le processus de résolution et de communication d'instructions (qui ont un coût, même s'il est moindre que le processus du lever de doute). De plus, les trajectoires de vol sont potentiellement modifiées, ce qui peut représenter une moins bonne qualité du service.

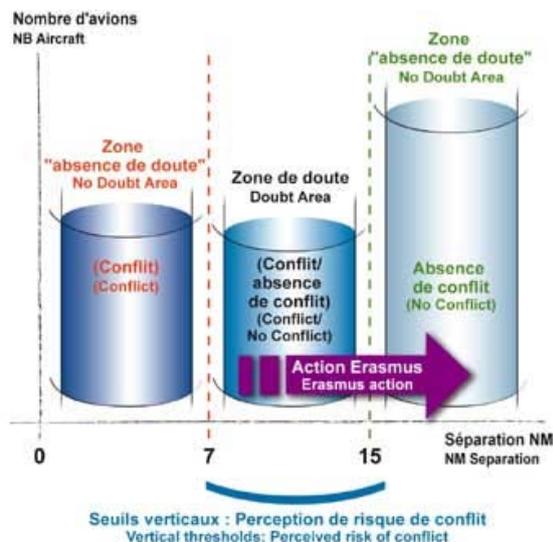
> Cette explication de la gestion du doute de l'être humain montre que, paradoxalement, le fait de travailler sur un nombre donné de conflits « évidents » est plus économique (en termes de ressources) que de travailler sur un nombre supérieur de conflits simplement possibles. En conséquence, on suppose que les actions de l'outil d'aide ont pour but de **diminuer** les situations générant un doute, en **facilitant la perception du risque de conflit**. Pour ce faire, la fonction automatique doit **agir sur les vols qui sont dans la zone de doute, pour les transférer vers une zone d'absence de doute**. La définition de la limite entre les trois zones doit être basée sur les normes de séparation effectives(1) qui sont utilisées par le contrôleur (et pas sur la norme officielle) pour discriminer le trafic. En considérant les contraintes de sécurité, cette action ne peut être envisagée que pour un transfert vers la zone « d'absence de conflit ». Pour rendre effective la fonction automatique, il est maintenant important de prendre en considération le niveau de complexité de l'ATC auquel elle peut agir.

Hypothèse de solution : Action sur la perception du risque de conflit

Pour rendre effective la fonction automatique, il est maintenant important de prendre en considération le niveau de complexité de l'ATC auquel elle peut agir.

UTILISATION DE L'AVANTAGE DE LA COMPLEXITE POUR OPTIMISER LES ZONES D'OPACITE

Le lever de doute, par une décision subjective concernant la réalité du conflit, constitue l'une des stratégies utilisées par l'être humain pour prendre en compte la difficulté qu'il ressent devant la complexité du processus. En fait, il n'essaie pas de réduire directement la complexité objective des données du problème, mais de faciliter la gestion de la situation de son propre point de vue. Pour comprendre les fondements des stratégies du contrôleur et pour



mettre l'accent sur la fonction automatique, il est important de prendre en compte toutes les caractéristiques de la complexité. Dans l'ATC, cette complexité est caractérisée par ce qui suit :

- > imperfection des données : elles sont incertaines, potentiellement erronées, mais volumineuses (jusqu'à 600 simultanément) ;
- > dynamique : les caractéristiques de la situation évoluent (même sans les actions de l'opérateur) et il n'est pas possible d'interrompre le processus (pression temporelle) ;
- > interactions multiples associant les éléments ;
- > haut risque : les conséquences des actions peuvent être importantes ;
- > opacité : la visibilité des relations entre les éléments est très faible ; la compréhension du comportement du processus interne n'est pas explicite ou pas directement accessible.

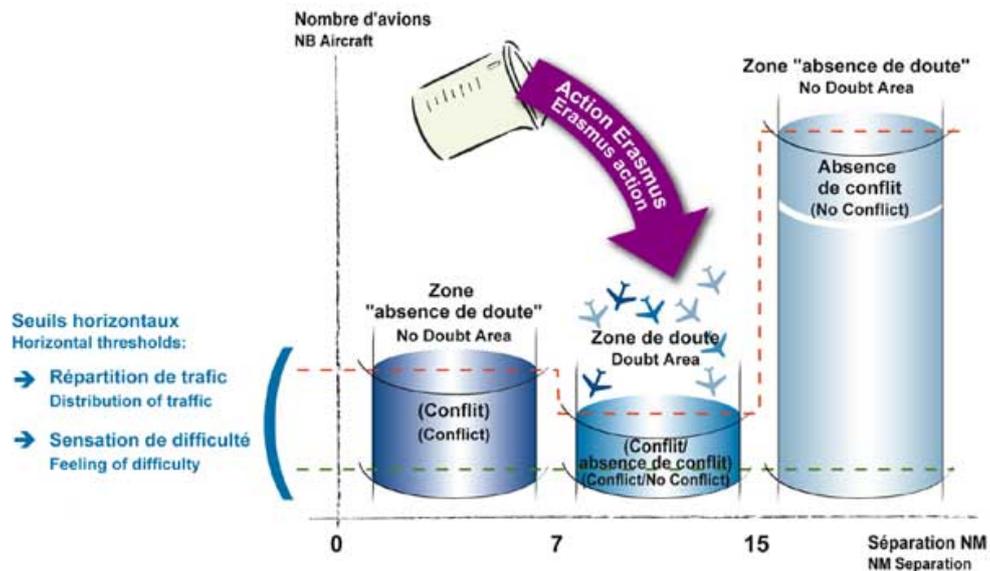
(1) La connaissance courante fait la distinction entre deux seuils : « D » (pour « dangerosité ») au-dessous de 7 NM et « F » (pour « exempt de conflit ») au-dessus de 15 NM. A ce jour ces valeurs sont données à titre d'exemple, l'ensemble des travaux doit définir les différents seuils.

Toutefois, lorsque le contrôleur lève le doute, il fait usage de l'opacité du système pour le tourner à son avantage. Dans ce cas, il n'exerce pas son aptitude à traiter les données, mais à **interpréter l'opacité de la situation** pour bâtir un scénario. Une spécificité de l'intelligence de l'être humain est d'être capable de décider et d'agir efficacement sans une exigence de transparence totale. Si le système n'était pas aussi opaque, le contrôleur pourrait se contenter d'effectuer des déductions logiques sur les données visibles. Les interprétations et jugements experts ne seraient pas aussi importants et pourraient ne mettre en œuvre qu'une « simple » capacité de traitement. Dans ce cas, le contrôleur devrait gérer un système compliqué, mais pas un système complexe. Sa principale difficulté deviendrait la quantité et non la qualité des informations : pour prendre en compte des données volumineuses, pour corréliser les paramètres appropriés et pour les faire correspondre à une catégorie de situation connue. Son procédé serait basé sur des modes de raisonnement spécifiques pour trier, organiser et ranger dans des catégories pour simplifier la situation compliquée. Ceci nécessiterait alors une puissance de calcul plus grande que celle utilisée par la sensibilité du jugement. Cependant, actuellement, même si le contrôleur utilise des modes de raisonnement pour soutenir sa prise de décision, il ne peut pas commencer ainsi en raison de la complexité. On suppose ainsi qu'il existe un **processus de pré-décision** : avant d'initialiser un raisonnement cognitif, **le contrôleur bâtit d'abord une sensation de la situation**. Il tente de percevoir l'état actif de la situation, qui déterminera son image mentale future de la situation (et non le contraire). En d'autres termes, il ne se focalise pas immédiatement sur des paramètres spécifiques identifiés à l'avance mais il considère plutôt la situation dans sa nature globale. Son activité cognitive est orientée par ce qu'il a ressenti, par le risque initial perçu. Ainsi, avant de pouvoir commencer à élaborer un diagnostic (registre du raisonnement), il effectue des pronostics (registre du jugement). Ce n'est qu'après cela que le contrôleur raisonne sur des paramètres spécifiques pour confirmer ou non le risque perçu. En d'autres termes, l'activité cognitive peut être considérée comme une post-rationalisation des activités perceptives. Ce processus de pré-décision est principalement entretenu par des mécanismes perceptifs et par l'intuition.

En termes de perspectives de solutions, les leçons à apprendre de l'activité d'analyse du contrôleur sont multiples :

- > Premièrement, les critères de complexité ne sont pas actuellement facilement identifiés et pendant une décennie le but de la plupart des projets a été de tenter d'isoler deux composants élémentaires : la densité et le conflit. Toutefois, le problème de la gestion du conflit reste très difficile à maîtriser. Il semblerait que la raison pour laquelle cette inquiétude se réduit à la notion d'une paire d'aéronefs en conflit soit éloignée de la réalité, du fait que des groupes d'aéronefs interagissent les uns avec les autres. Le conflit et la densité (nombre d'aéronefs dans un secteur) associés constituent des composants qui ne sont pas suffisants pour comprendre et représenter la complexité globale. Du point de vue de l'être humain, le caractère « douteux » d'un conflit est l'un des éléments les plus importants de la complexité.
 - On fait l'hypothèse qu'il peut être plus prometteur d'intervenir sur la **distribution du trafic** en fonction des critères du risque de conflit perçu par l'être humain. De ce point de vue, la fonction automatique joue le rôle d'un outil d'aide à la gestion du risque.
- > Deuxièmement, en se focalisant sur la détection/résolution des conflits, les outils d'aide habituels envisagent les registres des modes de raisonnement comme centraux dans le processus de prise de décision. Ils ont pour but de fournir directement une image simplifiée de la situation qui est supposée être conforme à celle du contrôleur. Pour cela, ils mettent en œuvre des algorithmes correspondant à l'analyse des paramètres qui correspondent à l'activité de diagnostic mais pas au pronostic. Ainsi, les listes cognitives proposées sont souvent inopérantes en raison de la pertinence limitée et du caractère incomplet des critères qui les supportent. Enfin, ils fonctionnent comme une prothèse cognitive, dont le contrôleur n'a pas réellement besoin.
 - On suppose qu'un outil utilisable est requis lorsque l'être humain doit intervenir, **pour servir au processus de pré-décision** à faciliter son activité de jugement. Toutefois, le but de cette fonction automatique n'est pas de devoir reproduire le processus humain, qui soutient le jugement, car ses critères ne sont pas très bien connus et sont impossibles à mettre en œuvre dans une machine. Il doit simplement tirer avantage de la gestion humaine de la complexité et plus précisément, de **l'opacité**. L'opacité rend certaines zones **inexploitées** disponibles à l'être humain, et peut être utilisée par une fonction automatique. De plus, on sait que **l'être humain ne perçoit pas les variations de certains paramètres** lorsqu'ils se trouvent au-dessous d'un certain seuil. Le paramètre de vitesse est l'un d'entre eux. En conséquence, cette zone de non-perception peut être la meilleure sur laquelle agir par des **ajustements mineurs de la vitesse de l'aéronef**, sans introduire d'interférences perceptibles ou cognitives dans l'activité humaine. Enfin, l'action de la fonction automatique n'est pas de réduire directement la complexité, mais de la rendre plus gérable pour l'être humain dans l'optimisation de l'opacité.

Hypothèse de solution : Action sur la distribution du trafic



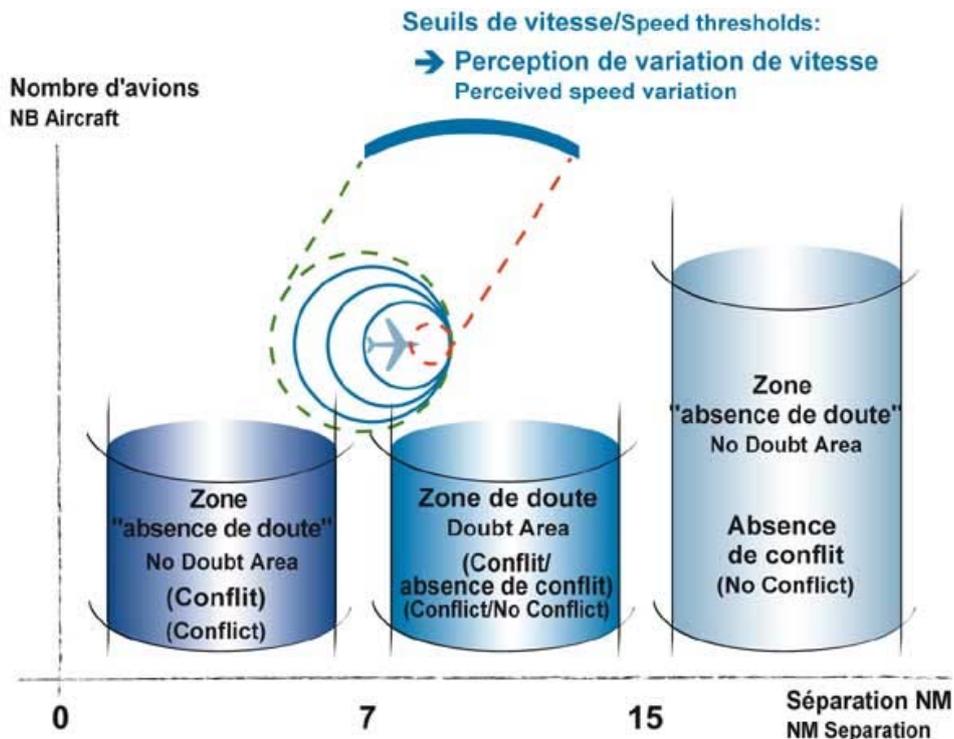
> Troisièmement, la tentative de fournir une plus grande transparence au contrôleur, pour rendre les données du problème plus claires et ainsi lever le doute, ne semble pas être la meilleure façon de l'aider. En fait, l'ajout de moyens de transparence ajoute des informations et des détails entraînant un plus grand nombre de contraintes que de gains pour l'être humain. Avant tout, la transparence le confronte à un système compliqué pour lequel il n'est pas le gestionnaire le plus efficace. L'être humain est réduit à un agent de traitement de données et est sollicité là où il est le moins compétent (calcul et tri de tâches). Les ressources mentales requises pour gérer l'ensemble de ces données sont trop importantes pour obtenir les meilleurs résultats. Ainsi, le gain de ressources n'est pas réalisé.

D'autre part, un traitement de données issues d'un environnement dynamique ne lui laisse pas le temps de les prendre en compte efficacement. Il n'en reste pas moins qu'actuellement le contrôleur n'est pas capable d'analyser toutes les données disponibles. Cette situation oblige l'être humain à utiliser des raccourcis qui sont des sources potentielles d'erreurs.

Enfin et non des moindres, nous ne sommes pas techniquement capables de transformer une situation complexe en une situation compliquée.

- On fait l'hypothèse que plus un outil d'aide est intégré dans la complexité du système, plus il est économique (en termes de ressources). En d'autres termes, la fonction automatique doit être mise en œuvre à l'intérieur du processus contrôlé et non à l'extérieur.

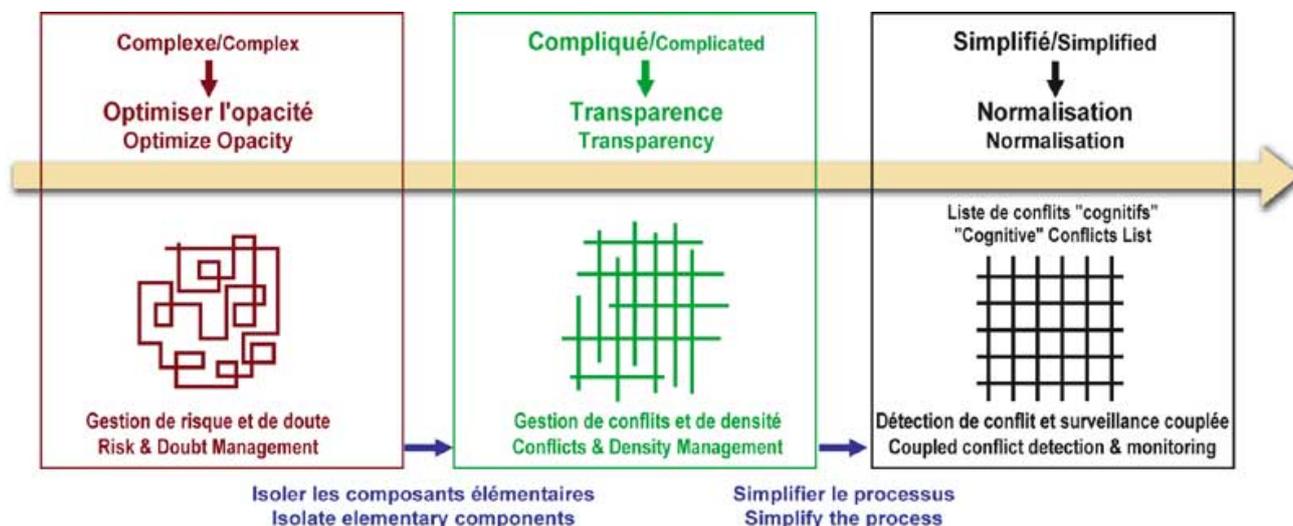
Hypothèse de solution : Action sur la variation de vitesse dans la zone d'opacité



La figure4 illustre les différentes options.

Pour assurer le caractère utile de cette fonction automatique, il est maintenant important d'envisager de quelle manière elle est intégrée dans les divers types d'activité que le contrôleur exécute.

Figure 4 : Les divers raisonnements et objets des options de solution



On considère généralement qu'un système (ou un objet) est complexe si les données qu'il contient sont volumineuses et incertaines, si le processus qui le sous-tend est dynamique, si les éléments qui le constituent sont en interactions multiples et si le risque associé à sa gestion est élevé. Cependant, une autre caractéristique fondamentale, spécifiant la complexité, est l'opacité. Elle renvoie au manque d'accessibilité et de clairvoyance dans les relations entre les éléments du système. En d'autres termes, « on ne voit pas à travers ». Elle rend donc difficile la compréhension, a priori, des évolutions du processus. Ce n'est donc pas tant la quantité des éléments qui rend un système complexe, mais la visibilité de leurs interactions. En effet, s'il s'agissait uniquement d'un problème quantitatif, le système pourrait être « simplement » considéré comme compliqué. Dans ce cas, l'information est visible, mais son volume la rend difficilement lisible. Il y a juste trop d'éléments à considérer. Au contraire, la complexité a à voir avec un problème qualitatif. Ainsi, le complexe contient le compliqué, mais ne s'y réduit pas.

ON S'ASSURE DE LA COHERENCE DE L'ACTIVITE DE L'ETRE HUMAIN DANS L'INTEGRATION D'UNE FONCTION AUTONOME AVEC DES ACTIONS CIBLEES

Pour réellement maintenir l'être humain dans la boucle, on doit conserver certaines conditions relatives à son activité pratique. Ainsi, ERASMUS a pour but de prendre en compte les exigences d'un modèle écologique du contrôleur dans la définition de ses solutions opérationnelles pour créer une relation conviviale avec lui. Ceci signifie avant tout l'interruption du processus fragile évoluant dans la psychologie du contrôleur.

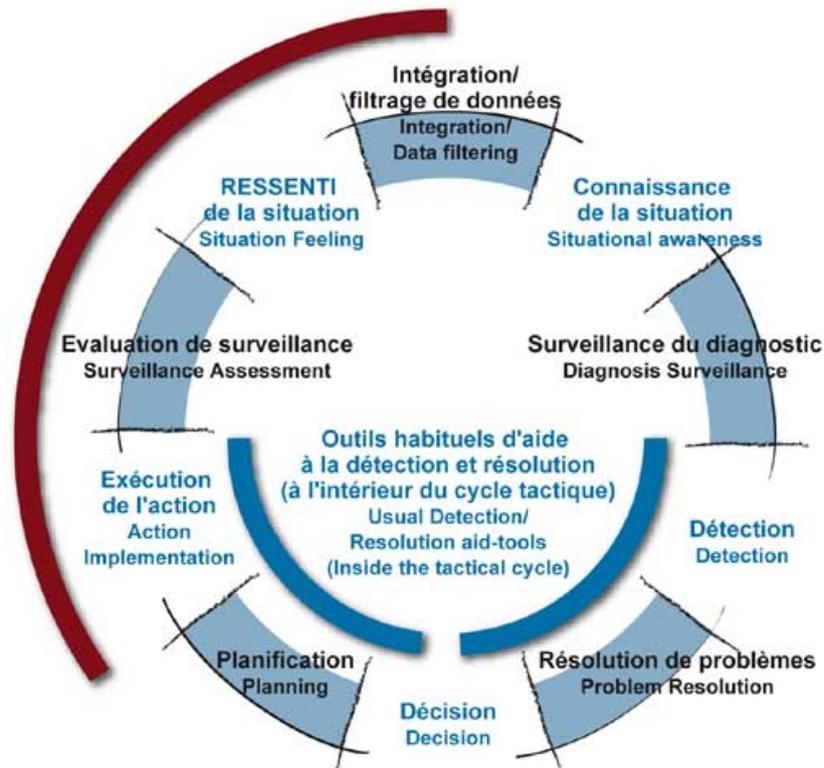
> Premièrement, l'intervention d'une fonction automatique doit maintenir l'intégrité et la cohérence des activités du contrôleur.

On se rappelle que la tâche du contrôleur consiste à intégrer des vols, détecter des conflits, les résoudre, effectuer les coordinations requises (secteurs militaires et adjacents) et communiquer avec des pilotes. Pour ce faire, le contrôleur doit exécuter des activités complexes : pour percevoir les informations, pour traiter les données, pour analyser, pour interpréter, pour diagnostiquer, pour planifier, pour décider, pour anticiper, pour juger, pour surveiller, pour vérifier et pour coopérer. Toutes ces activités desservent un but : être informé du trafic pour agir efficacement et de manière sûre sur celui-ci. Différents processus psychologiques les soutiennent : l'attention, la perception, l'émotion, la mémorisation, la cognition (= processus de raisonnement) qui, ensemble, utilisent une forte proportion des ressources disponibles. Afin d'y parvenir, le contrôleur met en place des stratégies, destinées à gérer ses ressources en fonction des caractéristiques et des besoins de la situation. En conséquence, **la gestion des ressources mentales est dynamique** (et non prédéterminée). En fait, le contrôleur ne peut pas allouer ses ressources tâche par tâche, car la gestion du trafic n'est pas séquentielle. Les activités sont fortement imbriquées et souvent simultanées. La fin de l'une ne signifie pas strictement le début d'une autre. Les activités sont bien plus un cycle cohérent et continu plutôt qu'une chaîne de modules séparés. En fait, la compréhension d'un problème potentiel (= interprétation et analyse de données) est également plus importante que la caractérisation de ce problème seul (= le résultat en termes de type de conflit). En d'autres termes, pour résoudre efficacement un problème, il est nécessaire de l'avoir convenablement détecté. Pour surveiller l'obtention d'une solution, il vaut mieux l'avoir élaborée pour comprendre si les attentes doivent être effectivement satisfaites. De plus, le contrôleur n'élabore pas de plans stricts, mais des plans révisables, en raison de la nécessité de les adapter à l'évolution de la situation. Une révision appropriée n'est également possible que si les bases du plan initial sont maîtrisées.

- Un outil d'aide utile pour le contrôleur doit éviter de prendre en charge isolément l'une des tâches de son cycle. Le risque est de rompre la logique de l'activité et d'imposer une action réactive au contrôleur et non une action anticipative. De plus, si le contrôleur ne doit formellement effectuer qu'une partie des tâches de gestion du trafic, il est probable qu'il doive effectivement utiliser les mêmes activités mentales que s'il devait effectuer tout son travail sur le trafic. Ainsi, on ne peut obtenir aucune économie de ressources. En conséquence, si la fonction automatique doit intervenir à l'intérieur du processus contrôlé, elle doit intervenir **en dehors du cycle de l'activité de l'être humain**.
- Un outil d'aide utile pour le contrôleur doit être **indépendant** de celui-ci. Ceci signifie que sa gestion par l'être humain doit être réduite au minimum. Par exemple, il ne nécessite pas d'informer explicitement une entrée par le contrôleur. Si tel n'est pas le cas, l'être humain pourrait arrêter d'utiliser l'outil d'aide lorsque sa charge de travail augmente, alors qu'il est censé l'aider dans ce cas.

Intervention de la fonction ERASMUS dans le cycle d'activité du contrôleur

Application ERASMUS (En dehors du cycle tactique) ERASMUS Application (Outside the tactical cycle)



> Deuxièmement, l'intervention d'une fonction automatique ne doit pas empêcher l'expert de déployer tout ou partie des mécanismes préalables aux jugements.

L'un des défis les plus importants dans l'approche d'automatisation est de rester proche du processus contrôlé et de l'être humain qui le gère. Cette proximité est requise pour maintenir la compréhension du comportement du trafic et l'aptitude à intervenir dans le processus. Actuellement, on déclare que le contrôleur travaille à deux niveaux : global (= le trafic) et local (= le conflit entre les vols). Il doit d'abord comprendre le comportement global du trafic pour agir sur les problèmes spécifiques. Les « allers et retours » entre ces deux niveaux sont permanents. Certaines activités le révèlent : le « tour de secteur » régulier ou la concentration sur un problème particulier (attention focalisée), tout en pouvant intégrer de nouveaux éléments indépendants (attention flottante). En ce qui concerne le niveau global, on doit énoncer que « global » ne signifie pas superficiel. Même si le contrôleur ne peut pas tout percevoir, il est capable d'absorber un grand nombre de détails (consciemment ou autrement) de les mémoriser et de les réactiver si nécessaire. Ce processus n'est pas un processus « irrationnel ». L'aptitude à ressentir la situation se réfère à son intuition d'expert, qui est construite grâce à son expérience du système, et est utilisée dans la confrontation régulière à la réalité. Le problème des listes cognitives habituelles, si elles existaient au sein de l'expertise dans le contrôle aérien, est qu'elles se situeraient entre le contrôleur et le trafic réel. Elles empêcheraient alors l'obtention du jugement initial de l'expert qui, même s'il n'est pas entièrement suffisant pour définir tous les conflits détectés à l'avance, reste très efficace. Or cette proximité entre contrôleur et situation globale est nécessaire car les stratégies du contrôleur sont récurrentes, mais pas systématiques : elles sont « en place ». L'être humain gère son cycle d'activité sous la forme d'un processus global et non d'un processus en séquence. L'activité cognitive et les stratégies sont prédéterminées par des processus émotionnels, affectifs et psychiques. Ainsi, même si ces paramètres résistent aux analyses déterministes, il est établi que la sécurité, la charge de travail et le ressenti de difficultés influent sur les choix cognitifs et les décisions, même expertes. Ainsi, l'évaluation de la situation est subjective avant d'être objective. La gestion par le contrôleur de ses ressources propres a priorité sur la gestion du trafic car elle représente une condition préalable de sécurité. Le contrôleur est donc contraint de trouver un compromis entre le coût et le rendement des ressources. En fait, il choisit une solution acceptable par rapport à son contexte interne (ses intentions, l'état de ses ressources, etc.) et le contexte externe (la confiance dans le collègue du secteur, etc.). Ceci a pour conséquence qu'un automate ne peut jamais être synchronisé avec des stratégies humaines car il n'est pas capable d'intégrer toutes les caractéristiques de gestion des ressources. En conséquence, les listes cognitives peuvent perturber le contrôleur car leurs conclusions sont habituellement différentes des siennes. C'est pourquoi on observe que l'être humain placé dans ce contexte utilise une partie importante de ses ressources mentales pour essayer de comprendre la proposition de la machine ou pour comparer son point de vue à celui de l'automate.

- Une fonction automatique utile ne doit pas imposer une analyse ou des propositions si le contrôleur ne les demande pas. Elle doit respecter l'autonomie du contrôleur dans son analyse ou son jugement de la situation, sachant que ceux-ci sont basés sur les données auxquelles il a un accès direct.

> Troisièmement, même si une fonction automatique intervient, un niveau suffisant d'activité humaine doit être maintenu. Comme souligné auparavant, les compétences spécifiques du contrôleur sont bâties grâce à son expérience du trafic, en particulier par des interventions sur celui-ci, car il est plus difficile de maintenir son attention dans un rôle passif.

- Une automatisation utile doit éviter le rôle de supervision qui exclurait des interventions régulières de la part de l'opérateur impliqué. Typiquement, une façon d'accroître la capacité en dépit de cette contrainte consiste à appliquer une logique de transfert : la partie de l'activité dont on a réussi à soulager le contrôleur doit être occupée par un nouvel aéronaf que la fonction automatique ne peut pas gérer. Ainsi, la fonction automatique doit agir sur des situations ciblées.

Lorsqu'un aéronaf présente une séparation minimale de 5 NM avec un second appareil (valeur future, anticipée, de la distance minimale probable), le contrôleur considère toujours que cette situation doit être assimilée à un conflit entre ces deux avions. Ceci est dû au fait que les contrôleurs perçoivent qu'une séparation de 5 NM est insuffisante pour garantir que la situation reste exempte de conflit. C'est même encore le cas lorsque cette valeur future est évaluée légèrement supérieure aux 5 NM. En conséquence ils continuent à surveiller ces aéronafs. Ce n'est pas avant que la séparation du trafic dépasse 15 NM (environ) que les contrôleurs estiment que ces aéronafs ne présentent pas de risque véritable de conflit. C'est précisément cette « zone floue » créée par les contrôleurs eux-mêmes qui offre une occasion inattendue - mais bienvenue - **de réduire la charge de travail du contrôleur en exploitant complètement les possibilités de l'ordinateur sans empiéter sur le domaine des contrôleurs, c'est-à-dire sans enfreindre leur indépendance ni interférer avec leurs responsabilités.**

ERASMUS met à profit cette opportunité en modifiant les trajectoires des aéronefs par l'intermédiaire de modifications mineures des vitesses verticales et/ou horizontales. Ces modifications de vitesse peuvent être à la fois suffisamment faibles pour ne pas être perceptibles par les contrôleurs, tout en étant suffisantes pour générer un réel accroissement de séparation entre les aéronefs impliqués. Ce supplément de séparation finale a pour conséquence de déplacer ces aéronefs de la partition de « doute » (7 à 15 NM) vers la partition « d'absence de doute » (> 15 NM). Pour ce faire, un contrôle en boucle fermée doit être établi entre les ordinateurs au sol et embarqué, par l'intermédiaire d'une liaison de données (datalink).

En revanche, ERASMUS doit créer entre les aéronefs l'espace suffisant **du point de vue de la perception du contrôleur**. Par exemple pour deux aéronefs présentant une séparation minimale future estimée à 7NM, les modifications de vitesse à donner devront être suffisantes pour créer au moins 8NM de séparation supplémentaire, pour qu'ils puissent ne plus être jugés conflictuels par le contrôleur. Mais d'une part les variations de vitesse utilisables pour un aéronef donné sont limitées à l'intérieur d'un espace de manœuvre autorisé (c'est-à-dire l'enveloppe de vitesse), et d'autre part l'horizon de temps du début de la modification de vitesse connaît aussi certaines limites.

Plusieurs contraintes dépendantes doivent donc être respectées :

- > l'horizon de temps à l'intérieur duquel il est possible de prédire précisément la position future de l'aéronef ;
- > les capacités de variations de vitesse ;
- > la perception du contrôleur concernant la variation de vitesse et la modification de trajectoire de l'aéronef ;
- > les contraintes opérationnelles.

> 5 - DE LA THEORIE COGNITIVE A LA REALITE OPERATIONNELLE

GESTION DU RISQUE PERCU

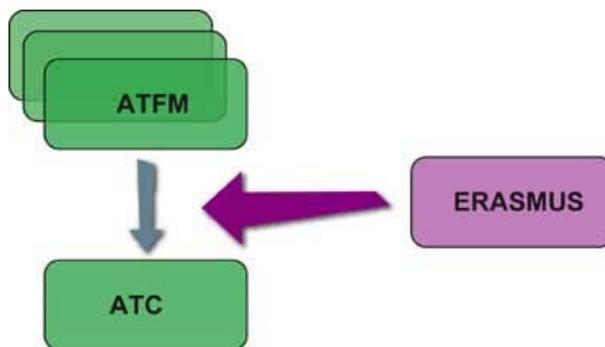
D'après la théorie cognitive expliquée ci-dessus, on dit que l'optimisation de la perception du risque signifie la focalisation sur les situations de gestion de doute (consommatrices de ressources cognitives) et non sur l'absence de conflit ni même sur les situations de conflit évident (qui ne sont pas les plus consommatrices, globalement).

Première innovation : Le trajet innovant ne consiste pas à agir sur la résolution des conflits sûrs, mais sur la zone de doute. En conséquence, pour être efficace et empêcher l'analyse d'un risque perçu, consommatrice de ressources, le système doit clarifier le trafic en résolvant la situation de doute.

UN FILTRE ERASMUS SUPPLEMENTAIRE

Dans le système actuel, l'architecture de l'ATM est basée sur une succession de couches (ASM, ATFM) dont la tâche consiste à délivrer du trafic à l'ATC, pouvant être géré efficacement et en sécurité. Pour diminuer le risque perçu, on ajoute un filtre supplémentaire (ERASMUS), dont le but est de délivrer à l'ATC une partition différente et plus efficace du trafic (figure 5).

Figure 5 : ERASMUS joue le rôle de filtre supplémentaire



Premièrement, nous allons présenter la partition du trafic courant pour comprendre la façon dont peut intervenir ERASMUS.

Le schéma représenté sur la figure 6 présente la partition du trafic sur une journée (juillet 2006) : 1058 vols (tous en bleu), 664 stables (courbe en rouge), et la séparation minimale entre eux.

Celui-ci apparaît comme s'il y avait un seuil à la séparation de 7 NM (appelée D, comme Dangerosité) au-dessous duquel un contrôleur ne souhaite pas voir l'aéronef. De plus, l'expérience a présenté un autre seuil F d'une valeur de 15 NM, au-dessus duquel le contrôleur ne perçoit pas le risque de perte de séparation. Il est intéressant de noter que ces valeurs sont éloignées de la séparation de 5 NM des normes de l'OACI et représentent la zone de manœuvre que prennent les contrôleurs pour gérer l'incertitude. Ces valeurs représentent un ordre de grandeur et dépendent de la configuration du secteur et du contexte du trafic.

La valeur minimale de l'OACI d'une séparation de 5 NM est théorique car en pratique, le contrôleur travaille avec d'autres valeurs, qui sont un seuil de dangerosité de 7 NM et un seuil de sensation d'une situation douteuse (conflit) de 15 NM.

Figure 6 : traffic separation (Aix ACC)

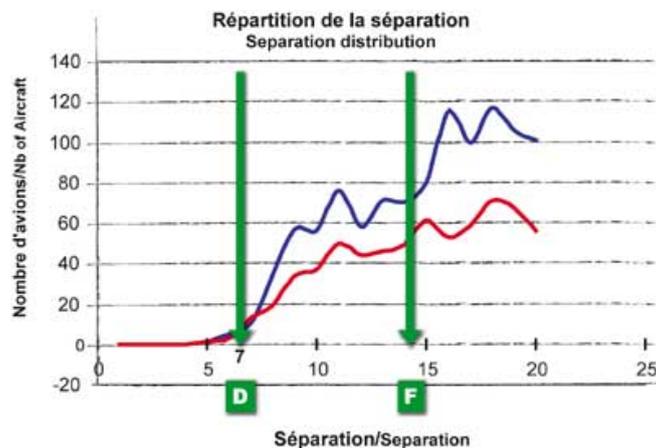


Tableau 1 : séparations grossières utilisées pour l'intégration du vol

Séparation	Action du contrôleur / Controller's action
Au-dessus de 15 NM	Aucun doute pour le contrôleur, situation exempte de conflit.
De 7 NM à 15 NM	Le contrôleur doute et "laisse mûrir" la situation (et au final, agit ou non, selon l'évolution de son jugement).
Au-dessous de 7 NM	Aucun doute pour le contrôleur. Il résout le conflit (c'est-à-dire donne un cap, une régulation de vitesse, etc.).

(1) Les valeurs de cette table seront validées durant le processus expérimental.

OBJECTIFS DU FILTRE ERASMUS

> Dans l'intervalle inférieur à F, du point de vue de l'utilisation de ses ressources cognitives, le contrôleur n'est pas certain si un avion se trouve dans la partition [0-D] ou [D-F] ;

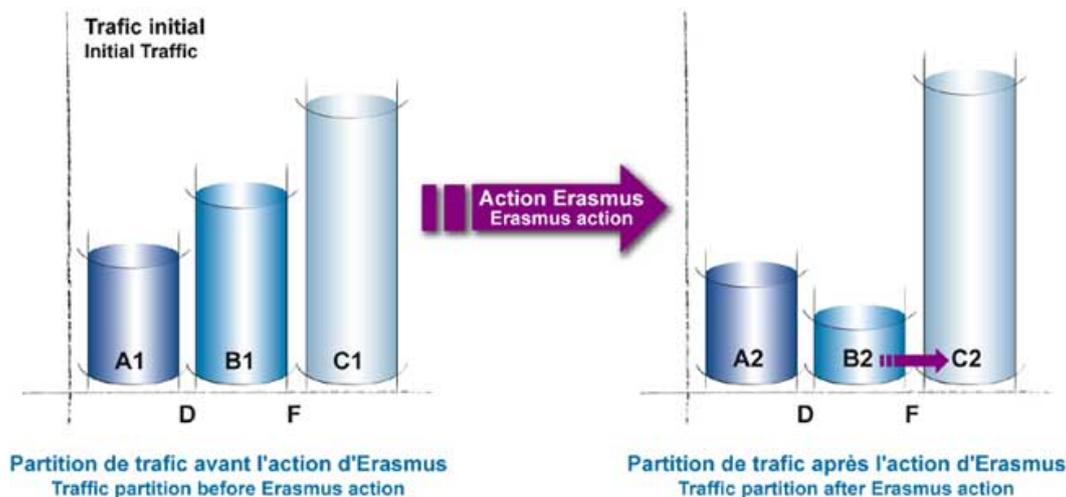
> l'objectif du filtre ERASMUS est de délivrer à l'ATC une partition du trafic pouvant minimiser le nombre des occurrences de situations douteuses (<15 Nm), pour optimiser ses ressources cognitives ;

> le filtre ERASMUS doit délivrer une distribution de trafic avec un plus petit nombre d'avions dans la zone inférieure à F avec, d'autre part, un nombre plus significatif d'avions dans la partition F.

QUELS ONT LES MOYENS POUR METTRE EN OEUVRE UN FILTRE ERASMUS ?

En raison de l'incertitude, à l'entrée d'un aéronef dans un secteur, une séparation minimale prévue de 5 NM, perçue ainsi par le contrôleur n'est donc nullement jugée comme exempte de conflit, ceci exigeant plutôt une quinzaine de nautiques, environ. Le caractère flou de la vision des contrôleurs offre une opportunité d'exploiter les capacités de l'ordinateur sans pour autant interférer avec les données exploitées par l'opérateur humain. En d'autres termes, bien choisies, les actions sur les vitesses, bien que non perceptibles, sont capables de créer des gains de séparation, d'induire alors un jugement de moindre risque, et au final d'abaisser la quantité de ressources cognitives mobilisées.

Figure 7 : déplacement de la partition de trafic



Ces légères actions sur les paires d'aéronefs sélectionnées et adressées par l'ordinateur ne concernent que les deux aéronefs impliqués, et n'ont aucun

La précision de la prédiction de trajectoire et de :

impact sur le reste du trafic, ni sur la stratégie et le mode opératoire des contrôleurs. Ce contrôle informatisé est considéré comme « subliminal » car il n'est pas perçu par les contrôleurs qui profitent seulement d'une bonne distribution spatiale du trafic (« lucky traffic ») sans qu'autre chose qu'un heureux hasard puisse apparaître en être la cause.

Seconde innovation : La clarification de la situation de la zone de doute est obtenue par des actions subliminales exécutées par l'ordinateur et qui ne sont pas perçues par les contrôleurs. Ceci clarifie la situation du trafic tout en respectant le travail du contrôleur.

Un premier examen de l'enveloppe de vols des appareils actuels montre que l'ordre de grandeur de la variation possible de vitesse est de 6%. De plus, on a testé et validé qu'une variation de vitesse de 6% est difficilement perceptible par le contrôleur. Il est possible avec cette valeur de modifier la séparation future entre deux avions de :

- > 14 NM avec un horizon de temps de 30 minutes ;
- > 7 NM avec un horizon de temps de 15 minutes.

- > précision de 20 secondes avec un horizon de temps de 30 minutes ;
- > précision de 10 secondes avec un horizon de temps de 15 minutes.

Les paramètres d'une action ERASMUS choisis sont :

- horizon de temps de 15 mn ;
- précision de 10 secondes pour la prédiction de trajectoire ;
- variation de vitesse de l'aéronef de $\pm 6\%$

L'action d'ERASMUS permet d'ajuster une séparation entre des avions de ± 7 NM.

DISTRIBUTION DU TRAFIC

Le trafic est naturellement divisé en trois partitions (voir la figure 8) :

- > trafic entrant avec une séparation de moins de D NM (à cette étape, la valeur est réglée sur 7 NM) ;
 - > trafic entrant avec une séparation comprise entre D et F (à cette étape, la valeur est fixée à 15 NM) ;
 - > trafic entrant avec une séparation supérieure à F.
- On doit énoncer que le doute diminue alors de la partition A1 à C1.

La figure 8 représente la partition de trafic attendue pour un trafic entrant dans une fenêtre temporelle de 15 minutes.

Cette figure 9 montre le déplacement de la distribution de trafic attendue avec ERASMUS en cours.

Après l'action d'ERASMUS, on obtient une modification de la partition du trafic où à cette étape, la seule certitude est :

$$A1+B1+C1 = A2+B2+C2$$

Le chapitre ci-après décrit le concept du déplacement de la distribution du trafic résultant d'ERASMUS, basé sur les différentes hypothèses.

Figure 8 : partition de trafic attendue (sans ERASMUS)

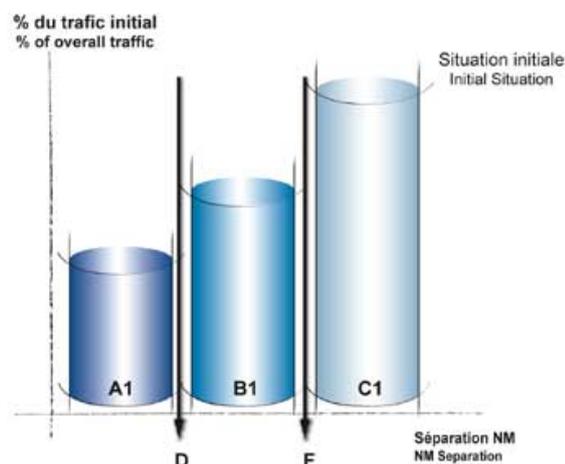
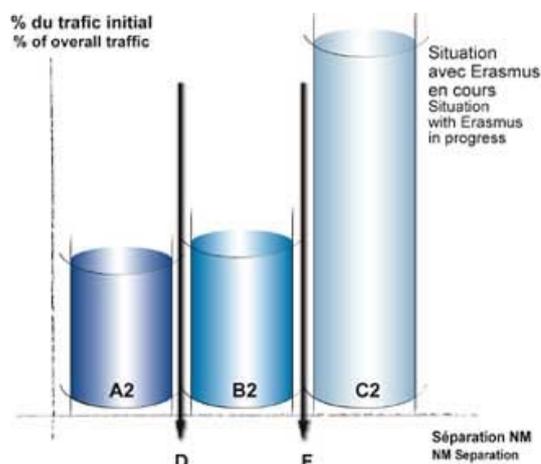


Figure 9 : déplacement de distribution de trafic avec ERASMUS en cours



DEPLACEMENT DE LA DISTRIBUTION DE TRAFIC D'ERASMUS

Comportement

La figure 10 représente la partition du trafic attendu dans les conditions initiales. La capacité du secteur concerné est $A + B + C$.

Le trafic à l'intérieur des partitions A et B concerne le trafic pour lequel le contrôleur a soit une action de résolution à faire, soit un doute sérieux à lever. Ceci signifie que la sollicitation des ressources est importante pour les aéronefs appartenant à ces deux partitions. Par contre, les vols appartenant à l'intervalle où la séparation est supérieure à F ne présentent aucun doute ni nécessité d'action pour le contrôleur. Pour autant, on peut s'attendre à ce qu'une augmentation du nombre de vols dans C présente aussi un seuil maximum, que l'on peut associer entre autres à la structure du secteur.

Avec ERASMUS, si certains aéronefs peuvent être déplacés soit depuis A, soit depuis B, vers la partition C, par induction, la capacité peut être accrue.

Cette capacité est limitée à la valeur de $A+B$

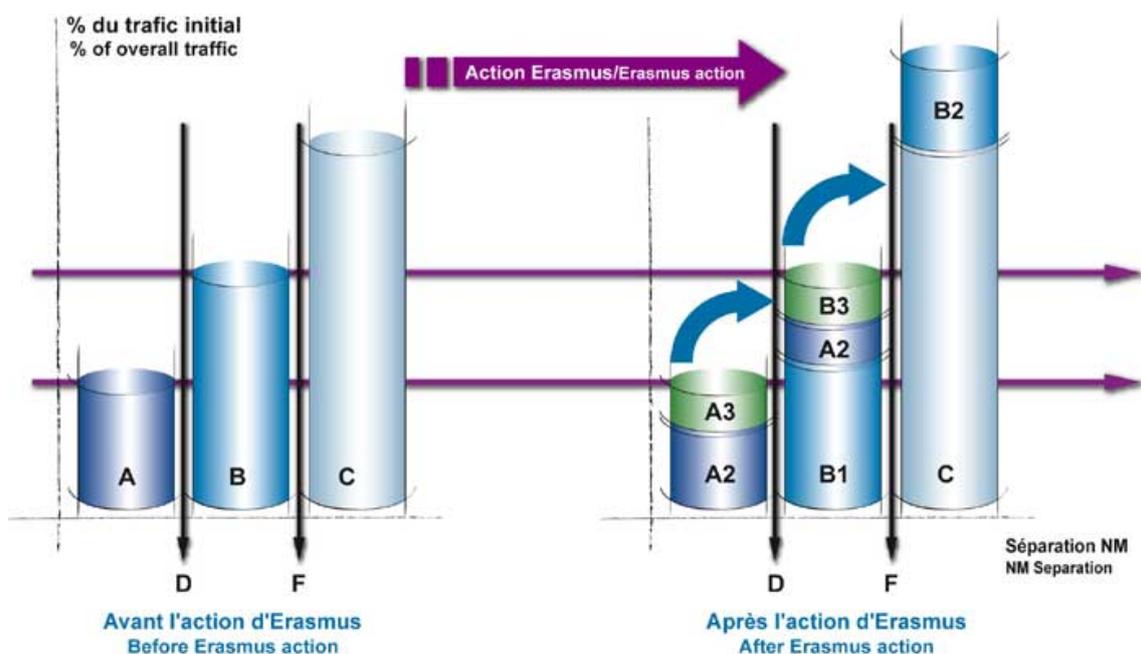
B2 est déplacé de B vers C, B1 restant dans B

A2 est déplacé de A vers B, A1 restant dans A.

Le gisement de capacité est : $A + B - B2 - A2 = A3 + B3$:

$A3 + A1 + B1 + A2 + B3 = A + B$

Figure 10 : mécanisme de déplacement de la distribution du trafic ERASMUS



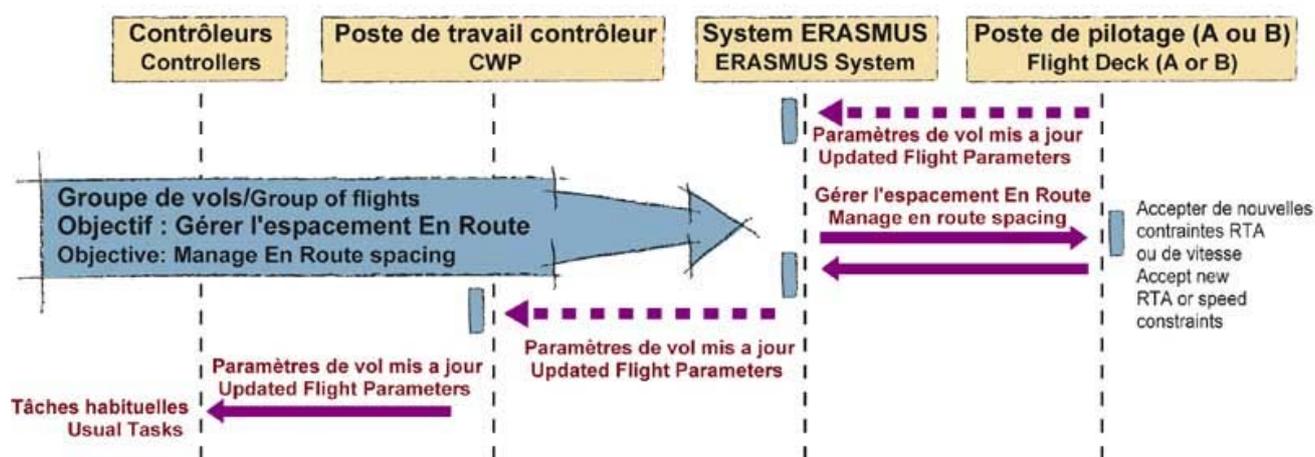
> 6 - MODE DE FONCTIONNEMENT SUBLIMINAL

OBJECTIFS ET PORTEE

Le mode de fonctionnement subliminal utilise le service de « gestion de la complexité du trafic ». Cette application sera située à un niveau stratégique à l'intérieur de la fonction de planification de secteurs multiples (MSP). Elle a pour but de réduire la complexité du trafic d'une manière transparente pour le contrôleur du secteur. Par opposition à la fonction MSP actuelle (c'est-à-dire "gate-to-gate"), l'application subliminale effectue des ajustements mineurs qui ne sont pas perceptibles par le contrôleur du secteur, dans une boucle fermée entièrement automatique.

Le flux d'informations entre le système ERASMUS (c'est-à-dire, la fonction MSP), l'aéronef/pilote et le CWP/contrôleurs, est présenté sur la figure 11.

Figure 11 : diagramme de la séquence



ARCHITECTURE TECHNIQUE

Du point de vue technique, l'application de contrôle subliminal est bâtie sur une coopération entre les systèmes air et sol. Elle tire entièrement avantage du système de gestion embarqué et des possibilités de communication air/sol (figure 12).

Pour la partie embarquée, l'architecture du système est basée sur deux fonctions principales :

- > une fonction de prédiction de trajectoire (TP) qui fournit un calcul de trajectoire 4D estimé ;
- > une fonction de contrat de trajectoire permettant au système ATC au sol de déterminer des contraintes de vitesse ou de temps sur le profil de vol 4D.

Du côté sol, le système est bâti sur les fonctions suivantes :

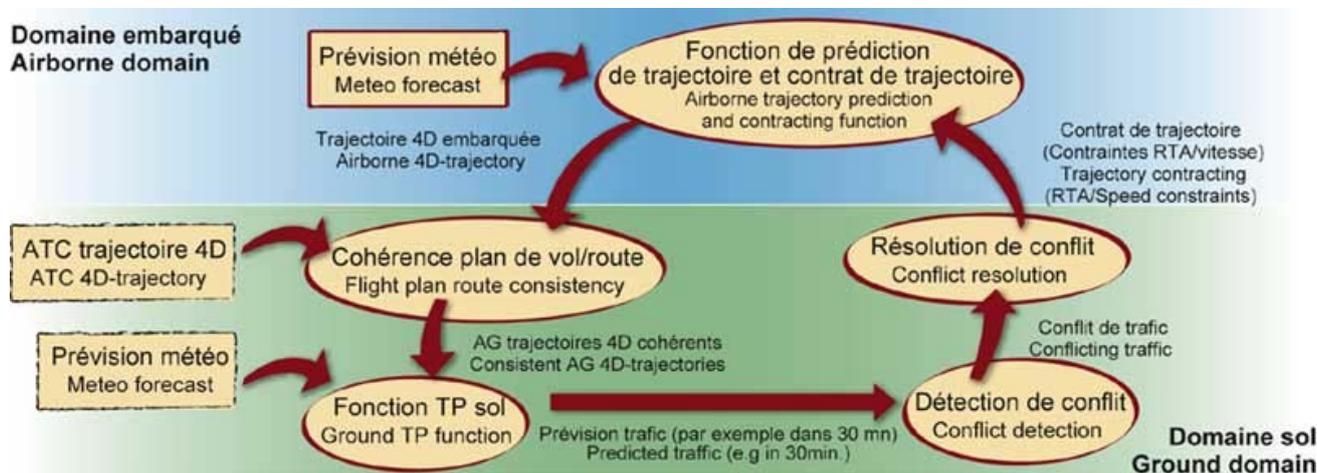
- > une fonction de cohérence de route de plan de vol, assurant que la trajectoire 4D embarquée est cohérente avec la trajectoire 4D de l'ATC calculée à partir du plan de vol et des informations de coordination entre centres ;
- > une fonction de prédiction de trajectoire au sol qui calcule le trafic pour un horizon de temps d'environ 20 à 30 minutes ;
- > une fonction de détection de conflit qui identifie les vols sur lesquels les contrôleurs interviendront probablement si aucune action subliminale n'est exécutée ;
- > une fonction de résolution de conflit qui met en œuvre une stratégie de résolution de conflit basée sur des modifications de vitesse mineures ou sur des contraintes de RTA.

COHERENCE

Chaque action de contrôle subliminal a pour but de réduire le nombre de situations pour lesquelles le risque perçu est fort. Il est à noter qu'ERASMUS ne peut pas se focaliser sur un seul secteur. Il s'agit plutôt d'un processus multi-secteurs qui surveille en continu et réévalue la situation du trafic et met à jour les actions de contrôle en conséquence.

Ce type d'action de gestion n'est efficace que si l'on prend en compte les effets dans les secteurs « en amont » et « en aval ». Si un seul secteur est géré par un CWP (cas opérationnel courant, voir la figure 12), l'action de contrôle subliminal sur un vol s'effectue avant l'intégration du vol à l'intérieur d'un ou deux secteurs en amont. Avant qu'une directive de contrôle subliminal soit appliquée, ses effets sont évalués et les vols gérés ne doivent pas accroître le risque perçu dans les secteurs en amont et en aval, vis-à-vis des autres avions.

Figure 12 : application de contrôle subliminal-Architecture fonctionnelle



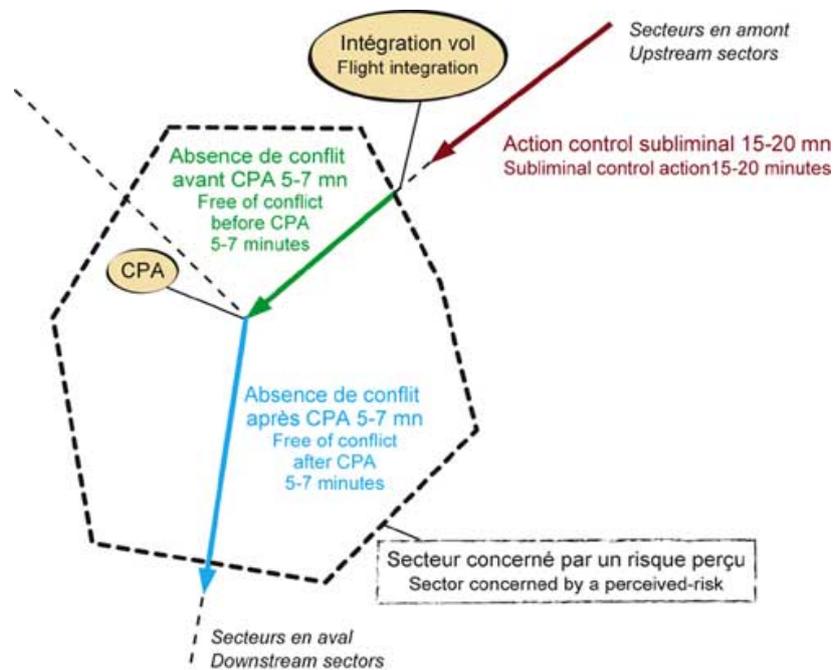
La trajectoire du vol concernée n'intègre pas les phases de départ et d'arrivée. La trajectoire durant les 20 ou 30 minutes suivantes est ajustée et synchronisée pour la maintenir exempte de conflit. Cette fenêtre temporelle est limitée par la précision des données et par la nécessité de conserver une souplesse minimale dans la gestion des séparations.

INTERFERENCES

Il y a deux sources d'interférences pouvant interrompre ou annuler une action ERASMUS :

- > demandes du pilote ;
- > actions du contrôleur (par exemple, résolution manuelle d'un conflit, météo, urgence, etc.).

Figure 13 : fenêtre temporelle d'une action de contrôle subliminal



Comme un horizon de temps de 15 minutes est requis pour initialiser une action ERASMUS, ces actions doivent être fournies dans un secteur N-1 ou N-2, au bénéfice du secteur N. Les actions étant subliminales et donc largement non perceptibles par l'opérateur, il est parfaitement possible que le contrôleur puisse interférer involontairement avec un avion sous le contrôle d'ERASMUS. Les actions des opérateurs (c'est-à-dire, les contrôleurs et les pilotes) ayant priorité sur les actions ERASMUS, la stratégie de résolution des conflits d'ERASMUS est dans ce cas interrompue. En optimisant le nombre d'actions ERASMUS réussies, on doit considérer ce qui suit :

- > dans le secteur N-x, pour des aéronefs avec des séparations < 7 NM qui sont également sous le contrôle d'ERASMUS, il existe une très forte probabilité pour que le contrôleur interrompe la solution ERASMUS ;
- > dans le secteur N-x, pour des aéronefs avec des séparations allant de 7 à 14 NM qui sont également sous le contrôle d'ERASMUS, la probabilité pour que le contrôleur interrompe la solution ERASMUS sera moins fréquente que précédemment ;
- > dans le secteur N-x, pour des aéronefs avec des séparations > 15 NM, qui sont également sous le contrôle d'ERASMUS, il n'existe qu'une très faible probabilité pour que le contrôleur interrompe la solution ERASMUS.

CONCLUSION

Le projet doit se terminer fin 2008 début 2009. La première application est en cours de validation grâce à une série de simulations dont la dernière se tiendra en Novembre. Ces simulations très prometteuses (3 ont déjà eu lieu Novembre 2006, Avril 2007 et Mai 2007) grâce au centre de contrôle du Sud Est.

CNRA Sud-Est



> BIBLIOGRAPHIE

Averty Philippe ; **Conflict perception by ATCS admits doubt but not inconsistency**, ATM Seminar, 2005.

Averty Philippe ; **Les effets de la charge de travail sur le niveau d'activation psychophysiologique du contrôleur aérien**, thèse de doctorat en psychologie cognitive, juillet 1998.

Dejours C. ; **Le facteur humain, Que sais-je ?**, PUF, 1999.

Détienne M. et Vernant JP. ; **Les ruses de l'intelligence. La métis chez les grecs**, Paris, 1974, Flammarion.

Garcia Jean-Louis (DSNA/DTI/R&D, Toulouse, FRANCE), **Gawinowski Gilles**, **Guerreau Roger**, **Brochard Marc** (EUROCONTROL Experimental Centre, Bretigny/Orge, France), **Weber Rosa** (HONEYWELL, Minneapolis, USA) ; **A New Path for ATM Automation Based on Extensive Use of 4D Trajectory-Based Enabler for Reducing the Complexity and Releasing Air Traffic Controller Cognitive Resources DASC**, (Digital Avionics Systems Conference).

Garcia Jean-Louis, **Averty Philippe**, **bernard-Peyre L.**, **Chabrol Caroline**, **Hébraud Carine**, (DSNA/DTI/R&D, Toulouse, FRANCE), **Gawinowski Gilles**, **Drogoul F.**, **Guerreau Roger**, **Abdesslem S.**, **Espeyt L.**, (EUROCONTROL Experimental Centre, Bretigny/Orge, France), **Weber Rosa**, **Wise J.**, **Misiak C.**, (HONEYWELL, Minneapolis, USA), **Johansson B.**, **Hollnagel E.**, (Linkopings universitet) ; **Erasmus Concepts of Operations D2.2.1**

Granger Gérard ; **Détection et résolution de conflits aériens : modélisations et analyse**, thèse de doctorat informatique, Ecole Polytechnique, Paris, octobre 2002.

[Retour haut de la page ▲](#)