

## **Assistance coopérative aux activités complexes : l'exemple de la régulation du trafic aérien<sup>1</sup>**

Pascal SALEMBIER  
ARAMIHS UMR CNRS 115  
Matra Marconi Space  
31, rue des cosmonautes, Z.I. du Palays  
31077 Toulouse Cedex  
salembie@cenaath.cena.dgac.fr

### RESUME

Ce texte traite de l'assistance à l'activité dans les situations complexes et des différents éléments qui ont orienté les choix conceptuels dans ce domaine. Après un bref rappel de la distinction paradigmatique système d'aide comme "prothèse" vs système d'aide comme "instrument" qui cristallise les différents points de vue sur le statut respectif de chacun des agents dans les situations d'interaction homme-machine, nous discuterons de l'intérêt de la référence aux situations de coopération homme-homme comme modèles de la coopération opérateur-système d'assistance. Nous présenterons ensuite une étude menée dans le domaine de la régulation du trafic aérien sur l'activité de préparation des régulations qui s'est concrétisée par la conception d'un système d'aide à cette activité. Des fonctionnalités d'aide à la représentation, à la construction d'un modèle de la situation, et à l'évaluation des prises de décision par simulation prédictive seront décrites.

### INTRODUCTION

Au cours des dernières années de nouveaux types de problèmes sont apparus dans les situations de contrôle de processus complexes. Les évolutions technologiques récentes se sont caractérisées par un accroissement de la fiabilité des systèmes techniques mais aussi, paradoxalement, par une stagnation voire dans certains cas une réduction de la fiabilité globale des systèmes homme-machine, notamment dans la gestion des situations incidentelles (Pavard, 1993 ; Salembier, Pavard, Benchekroun de Medeiros, & Denier, 1992). Plusieurs approches ont été proposées afin de tenter d'étendre les domaines de fonctionnement de ces systèmes, d'optimiser leur efficacité ou plus prosaïquement de garantir un niveau de fiabilité acceptable compte tenu de la nature des enjeux (humains, matériels, financiers) à gérer dans des environnements à haut risque, dont la régulation du trafic aérien, la conduite de centrales nucléaires, ou l'aéronautique et le spatial sont de bons exemples. L'une de ces approches consiste à tirer parti des progrès réalisés dans les domaines de l'informatique "classique" (algorithmique) et de l'Intelligence Artificielle (qu'elle soit d'inspiration symbolique ou néo-connexionniste), afin d'augmenter le potentiel de traitement des systèmes de décision hybrides intégrant agents humains et artificiels (Hollnagel, Mancini & Woods, 1986).

Dans un premier temps cet apport technologique de l'informatique avancée s'est traduit par la conception d'un nombre croissant de systèmes d'aide regroupés sous l'appellation de "systèmes experts" (appellation désormais frappée d'anathème ou peu s'en faut, voir par exemple Visetti, 1992). Ce type de système constitue d'une certaine façon le prolongement sur le mode cognitif des efforts réalisés dans les domaines de l'automatique et de l'informatique "classique" pour

---

<sup>1</sup> Cette étude a été réalisée dans le cadre d'une convention de recherches passée avec le Centre d'Etudes de la Navigation Aérienne (CENA), Division AOC.

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

tenter d'éliminer progressivement toute intervention humaine considérée comme source principale de l'infirmité dans les systèmes complexes. Dans cette optique le rôle de l'opérateur est uniquement de pallier aux incapacités (temporaires...) à la fois perceptives et motrices du système d'aide : il est relégué au rang de simple pourvoyeur-effecteur chargé d'alimenter le système expert omniscient en données et d'appliquer ses décisions.

La mise en évidence des limitations de cette approche a donné lieu au développement d'un nouveau type de perspective dans la conception des systèmes d'aide, perspective qui donne une place plus importante à l'opérateur humain et qui vise à définir des environnements coopératifs de résolution de problème.

## I. L'AIDE A L'ACTIVITE DANS LES SITUATIONS DYNAMIQUES COMPLEXES

Le champ d'application des systèmes d'assistance couvre aussi bien les activités de supervision de processus et de diagnostic d'incidents que les activités orientées sur la résolution de problèmes de conception. Les formes de cette assistance peuvent être de différents types<sup>2</sup> : augmentation de l'accessibilité de l'information pertinente, réalisation de pré-traitements sur des données brutes, proposition de plusieurs systèmes de représentation accessibles à la demande, capacités de prédiction sur l'évolution d'un processus, prise en charge d'une partie des tâches effectuées par l'opérateur (Falzon, 1989). Ces aides sont susceptibles d'intervenir à différentes étapes de l'activité : acquisition des informations, interprétation et diagnostic des situations, planification des actions, application, évaluation et ajustement des plans.

Quelle que soit la nature de l'aide fournie, le problème du niveau d'automatisation et du contrôle de l'initiative reste posé : le système d'assistance doit-il rester entièrement sous le contrôle de l'opérateur ou doit-il bénéficier d'une certaine autonomie ? Bien que présentant des avantages théoriques indéniables (Alliot & Chatty, 1993) la solution du tout automatisé présente plusieurs inconvénients bien identifiés parmi lesquels on pourra citer (Pavard, 1993) :

- la complexification des prises de décision due à l'accroissement de la quantité d'informations à traiter et l'apparition de la notion "d'information masquée" (l'opérateur n'a pas toujours accès à la bonne information au bon moment) ;
- l'accroissement du nombre de tâches de supervision ; l'opérateur est moins engagé dans le suivi du processus car il le surveille plus qu'il ne le contrôle ;
- le risque de perte d'expertise ;
- l'opacité dans certains cas de la démarche suivie par le système, ce qui ne favorise pas les reprises de contrôle par l'opérateur, notamment dans les situations dégradées.

Il apparaît donc que le problème du statut respectif de l'opérateur et du système d'assistance doit être considéré : le système doit-il jouer le rôle d'un *conseiller* chargé de résoudre un problème pour lequel l'opérateur est jugé incompetent, de lui rappeler systématiquement les différentes alternatives qui s'offrent à lui, ou d'analyser, d'évaluer et le cas échéant de critiquer ses décisions ? Doit-il plutôt jouer le rôle d'un *subordonné intelligent* chargé d'effectuer une partie des tâches réalisées habituellement par un opérateur sous le contrôle de ce dernier ? Ou bien doit-il être vu sous l'angle d'un *outil cognitif* utilisé comme source d'informations supplémentaire par l'opérateur, qui garde le contrôle du processus de résolution de problème ?

---

<sup>2</sup> On fait généralement la distinction entre aides à la représentation et aides au traitement (Hoc, 1988) ; des typologies plus fines ont été proposées, notamment dans les situations de contrôle de processus (voir par exemple Kolski & Duribreux, 1993).

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

Ce type de questionnement est à l'origine de la distinction paradigmatique introduite notamment par Woods et Reason (Woods, Roth & Bennett, 1990 ; Reason, 1987) entre "prothèse cognitive" et "instrument cognitif". La première approche vise à concevoir des systèmes autonomes réduisant au minimum l'intervention de l'opérateur, alors que la seconde met l'accent sur le rôle actif de ce dernier qui exploite le système d'assistance comme ressource pour la résolution de problème.

Parallèlement à cette réflexion menée sur les rôles respectifs des agents opérant dans les systèmes hybrides de résolution, on assiste au développement d'un nombre croissant de travaux autour de la notion de coopération et de sa déclinaison technologique sous la forme de systèmes dits coopératifs.

Qu'est-ce qu'un système coopératif ? Une première façon de répondre à cette question consiste à se référer aux tentatives d'application des études menées sur la coopération homme-homme aux situations d'interaction homme-ordinateur. Ainsi Clarke & Smyth (1993) à partir d'une revue de la littérature sur les mécanismes de la coopération homme-homme proposent-ils une liste de critères permettant de juger de la coopérativité d'un système :

- capacité à travailler dans un cadre temporel et de coordination acceptable ;
- capacité à reconnaître et accepter les buts de l'utilisateur quand ils sont explicités ;
- capacité à travailler avec l'utilisateur à l'atteinte de buts de haut niveau de façon interactive ;
- capacité à proposer des solutions alternatives ;
- capacité à supporter la formation de nouvelles attitudes envers le système et la tâche.

Suivant une démarche similaire, Silverman (1992) pointe six facteurs importants dans l'établissement d'une relation coopérative entre opérateur et système informatique : l'orientation cognitive, qui définit le style de dialogue ; l'utilisation de connaissances profondes ; le partage des intentions ; la plasticité du contrôle ; l'adaptation mutuelle continue ; la capitalisation des expériences communes de coopération (on voit ici clairement apparaître une dimension importante de la coopération : l'évolution de la relation homme-machine<sup>3</sup>).

Prendre comme référence les situations de coopération homme-homme pour étudier et concevoir des situations d'interaction homme-machine ne va pas sans poser certains problèmes (Rastier, 1983 ; Salembier, 1992). Ainsi même si la valeur heuristique de cette approche est évidente, elle reste limitée à court terme car largement tributaire des progrès réalisés dans des domaines aussi ardues que la reconnaissance d'intention, le savoir partagé, la modélisation de l'interlocuteur, et l'explication<sup>4</sup>. Par ailleurs au-delà de considérations liées à l'état d'avancement de la technologie à un moment donné, il est légitime de s'interroger sur la viabilité d'une démarche qui dans un souci de reproduction des caractéristiques des situations de coopération homme-homme court le risque de s'inscrire dans une perspective de simulation vaine qui chercherait à masquer la profonde asymétrie des partenaires (Visetti, 1991).

C'est pourquoi on peut également, plus modestement, aborder la question de la coopération homme-machine en s'attachant à identifier des critères de coopérativité spécifiques de ce type de situation d'interaction. Ainsi Woods & al. (1991) insistent-ils, entre autre, sur la capacité du système à fournir des explications sur ses propositions de diagnostic ou d'action, et sur la possibilité pour l'opérateur d'avoir accès à tout moment à des informations indiquant dans quel état se trouve le système. Cette focalisation sur les caractéristiques propres de la coopération homme-machine a conduit à une situation de glissement sémantique qui s'est concrétisée par une certaine tendance généralisée à assimiler les systèmes "coopératifs" à des systèmes d'aide non intrusifs, de type "outil cognitif" où l'opérateur garde le contrôle de l'interaction. C'est à la

---

<sup>3</sup> Voir à ce propos le texte de J.L. Soubie dans cet ouvrage.

<sup>4</sup> On pourra faire l'analogie avec l'évolution des recherches dans le domaine de l'EIAO où, après avoir concentré ses efforts durant plusieurs années sur les problèmes de la modélisation de l'élève avec des résultats semble-t-il peu probants, une partie de la communauté des chercheurs s'est orienté sur la conception d'environnements pédagogiques susceptibles de supporter l'apprentissage situé (Clancey, 1990).

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

présentation d'un système de ce type utilisé dans le domaine de la régulation du trafic aérien que la suite de ce texte sera consacrée.

## II. LA REGULATION DU TRAFIC AERIEN : ELEMENTS D'INTRODUCTION

La croissance rapide du trafic observée au cours des années 80 a entraîné des phénomènes de congestion de l'espace difficilement gérables par le seul recours aux moyens classiques jusqu'alors utilisés, à savoir le contrôle en temps réel des avions (ATC). Rappelons que le rôle essentiel du contrôleur est de maintenir une séparation minimale entre les avions qui passent dans la portion d'espace (le "secteur") dont il a la responsabilité. On considère qu'il y a surcharge de trafic dans un secteur lorsque le nombre d'avions simultanément présents dans ce secteur sur une période donnée (généralement 1 heure) excède la capacité de contrôle<sup>5</sup>.

La régulation des flux (ATFM) vise à traiter le problème de la surcharge de l'espace aérien en prenant des mesures en amont du processus, c'est-à-dire en intervenant alors que les avions n'ont pas encore décollé. L'objectif est de prévenir les situations de dépassement de capacité en agissant à la source, en l'occurrence au niveau des aéroports ou des zones d'entrées dans l'espace contrôlé. L'ATFM comporte trois phases qui s'enchaînent chronologiquement : une phase stratégique qui consiste à définir un schéma général d'orientation du trafic en fonction des flux ; une phase pré-tactique qui donne lieu à l'établissement de mesures de régulations déterminées en fonction des capacités de contrôle en-route ; une phase tactique dont la fonction est d'assurer le suivi en temps réel du plan de régulation défini lors de la phase pré-tactique (figure 1).

### Régulation du trafic aérien (ATM)

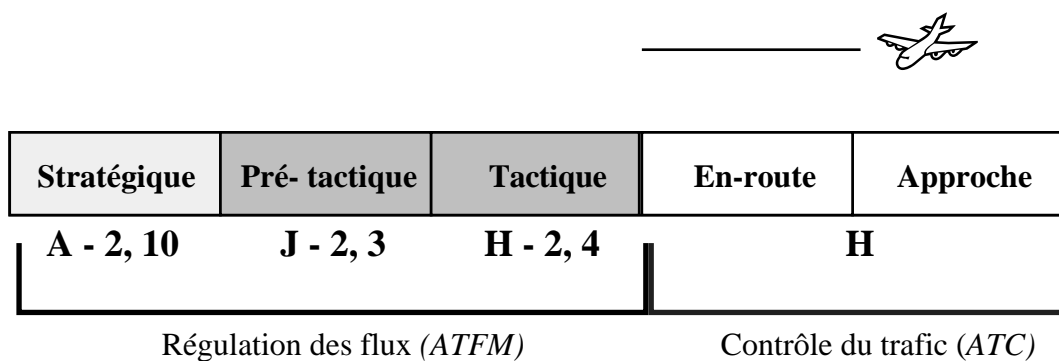


Figure 1 : Positionnement de la régulation des flux (ATFM) dans le processus global de régulation du trafic (ATM).

Les phases pré-tactique et tactique n'interviennent que lorsque le trafic excède la capacité de l'ATC ; l'objectif des mesures de régulations qui sont alors définies est de limiter le nombre d'avions présents sur un secteur donné, tout en assurant une fluidité optimale du trafic. Les régulations ainsi définies vont donner lieu à l'allocation de créneaux horaires pour certains vols, qui pourront ainsi décoller sans provoquer de congestion sur les secteurs, et qui par là même

<sup>5</sup> La capacité d'un secteur est déterminée en fonction de variables telles que le nombre de contrôleurs disponibles, la configuration du secteur, le type de trafic qui le traverse.

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

éviteront des mesures de contrôle pénalisantes (mise en attente au niveau des secteurs aéroportuaires, réduction de vitesse, altération de cap, déroutement,...).

### III. L'ACTIVITE DE PREPARATION DES REGULATIONS

La préparation des régulations (phase pré-tactique de l'ATFM) pose un certain nombre de problèmes intéressants du point de vue de l'analyse des activités cognitives mises en jeu et du point de vue de la conception de fonctionnalités d'assistance associées à cette activité. En premier lieu le préparateur opère sur un processus qui ne démarrera que deux ou trois jours plus tard ; il doit donc anticiper à la fois les caractéristiques pertinentes de la future situation de trafic et les effets des décisions qu'il va être amené à prendre compte tenu de l'état supposé des paramètres qui décrivent cette situation. En termes d'exigences cognitives, le préparateur doit donc intervenir sur un monde hypothétique construit à partir de données incertaines et susceptible d'être remis en cause suite à la survenue d'événements aléatoires (pannes) ou difficilement prévisibles (conditions météorologiques) ; en outre il ne dispose pas de rétroaction immédiate concernant l'effet de ses décisions.

#### III.1. Les différentes phases

L'activité de préparation des régulations peut être scindée en quatre phases principales : *la construction d'un modèle de la situation future, l'interprétation des données disponibles et le diagnostic des périodes de dépassement de capacité, la définition de mesures de régulation et l'évaluation des effets de ces mesures*<sup>6</sup>.

#### La construction d'un modèle de la situation future

Une des principales difficultés inhérente à l'activité de préparation tient à l'absence d'informations totalement fiables concernant le volume réel du trafic et sa répartition pour la journée à préparer. Le préparateur doit donc à partir d'un certain nombre de données disponibles construire un modèle plausible mais nécessairement approximatif du trafic du jour J. Pour ce faire, la démarche utilisée consiste à choisir **un jour de référence** qui donnera une première image du type de trafic auquel on peut s'attendre pour le jour J. Dans la plupart des cas le préparateur reprend les données de trafic réellement passé à J-7.

Ce choix s'explique pour plusieurs raisons :

- *Périodicité des caractéristiques du trafic pour un même jour d'une semaine à l'autre* : on retrouve généralement (sauf événement exceptionnel) un type de trafic similaire d'une semaine à l'autre pour une même journée ; si le jour J est un Lundi on prendra généralement un autre Lundi comme jour de référence.

- *Similitude du trafic pour une même période dans l'année* : la forme et l'amplitude des variations du trafic au cours de l'année peuvent être importantes (plus ou moins selon les flux) mais sont connues des préparateurs. Ainsi pour préparer une journée de Mars on prendra plutôt comme journée de référence un jour du même mois, ou du mois précédent si l'on est au début du mois. Ce critère permet de tenir compte des évolutions de trafic au cours de l'année.

- *Prise en compte du contexte local d'une semaine sur l'autre* : certains événements particuliers non cycliques peuvent avoir une durée de vie de quelques semaines et affecter les caractéristiques du trafic (exemple : conflit dans une région d'une monde affectant le trafic civile

---

<sup>6</sup> Ce découpage vise essentiellement à clarifier le propos et présente donc un caractère quelque peu simplificateur : selon les préparateurs et selon les journées ces différentes phases peuvent être menées en parallèle, ou dans un ordre différent (pour plus de précisions voir Pavard & Salembier, 1991).

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

et/ou militaire dans l'espace aérien européen). Il est alors plus pertinent de se baser sur le trafic écoulé lors d'une journée de la semaine précédente.

Une fois le jour de référence déterminé, le préparateur utilise un certain nombre d'informations qui peuvent lui permettre d'affiner sa prévision du trafic pour le jour J. Ce sont essentiellement des données statistiques sur le trafic réellement passé au cours de l'année précédente, des données sur des tendances prévues et des éléments informels non consignés liés au contexte courant.

## **Identification et diagnostic des périodes critiques**

Dans un second temps le préparateur confronte le modèle plausible de la journée de trafic future qu'il a construit avec les capacités des secteurs (capacités définies par les ressources de contrôle disponibles pour cette journée qui vont déterminer un nombre de positions de contrôle ouvrables ou *UCESOs*) et relève d'éventuelles périodes de dépassement de ces capacités. Ces périodes de dépassement doivent alors être interprétées et leur origine identifiée<sup>7</sup>.

Pour le préparateur un dépassement n'a de signification que dans le cadre du contexte de sa survenue ; il est alors interprété en tenant compte d'un certain nombre d'éléments tels que :

- *La nature du secteur pour lequel le dépassement (ou la zone critique) a été détecté* : chaque secteur ou type de secteurs présente des caractéristiques spécifiques qui vont influencer sur l'interprétation et le traitement d'un dépassement. Un faible dépassement n'aura pas la même importance selon qu'il se produit dans un secteur identifié pour sa tolérance structurelle aux dépassements ou dans un secteur plus rigide.

- *L'heure du dépassement* : selon le moment de la journée un dépassement constaté sera expliqué différemment. Il est en effet possible de rapprocher une valeur de trafic particulière de variations récurrentes bien identifiées au cours de la journée. Ces variations constituent un modèle "normal" du trafic pour le jour considéré ; cette représentation va générer un certain nombre d'attentes chez le préparateur pour qui tout écart aux valeurs attendues va nécessiter une explication ad hoc nécessitant un diagnostic plus fin.

- *L'amplitude et la durée du dépassement* : selon son importance et sa durée un dépassement sera interprété différemment. Un faible dépassement sur un secteur habituellement chargé sera imputé à l'importance de la demande. Un dépassement anormalement fort (une fois écartées les explications en termes d'amélioration mise en place durant le suivi ou décidée à l'initiative d'un centre), sera rapproché d'hypothèses relatives à l'existence d'un trou dans le plan de régulation du jour de référence, à la survenue d'événements ponctuels imprévisibles dont l'effet s'est fait sentir sur une période de temps assez brève (passage de trafic militaire notamment), à un non respect massif des régulations par une ou plusieurs sources.

- *Les valeurs de trafic des périodes immédiatement antérieures et postérieures au dépassement* : ces informations permettent au préparateur de voir si le dépassement constaté constitue le point culminant d'une augmentation amorcée durant les heures précédentes ou s'il s'agit d'une pointe isolée qu'aucune évolution ne laissait présager. Les données relatives à la période immédiatement postérieure au dépassement permet également de juger du caractère ponctuel du phénomène observé ou de son retour plus ou moins progressif à des valeurs normales.

- *L'ensemble des événements proches passés* : certains faits survenus dans un proche passé vont participer à la définition d'un contexte général qui va pouvoir dans une certaine mesure

---

<sup>7</sup> Le préparateur est dans de très nombreux cas en mesure de générer rapidement une hypothèse concernant une période de dépassement d'une certaine amplitude localisée sur un secteur donné à un moment précis de la journée. Cette capacité à reconnaître des configurations typiques de trafic et à les associer à des origines spécifiques est caractéristique du régulateur expérimenté et ne se retrouve pas par exemple chez un opérateur débutant. Dans certains cas le préparateur expérimenté est également en mesure d'anticiper la mesure de régulation associée à un dépassement par évocation de schémas types de régulation.

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

expliquer une valeur inhabituelle de trafic (conditions météo, incidents techniques au niveau d'un centre de contrôle ou d'un aéroport, retombées au niveau du trafic d'une situation politique particulière dans un pays plus ou moins éloigné, changement constaté des habitudes quant aux destinations de vacances, orientation des routes transatlantiques...).

- *Les événements attendus* : la connaissance par le préparateur de certains événements cycliques le conduit à anticiper l'effet de variations attendues de trafic au cours de l'année (reprise de trafic vers Pâques par exemple). A l'approche d'une période de modifications attendues, une donnée de trafic en hausse pourra être interprétée comme un indice d'entrée dans cette période.

### **Définition des mesures de régulation**

Une fois diagnostiquées les causes d'un dépassement, le préparateur définit des mesures de régulation afin de traiter le problème. Cette définition peut aller de la simple adaptation d'une mesure déjà existante à la création d'une nouvelle régulation. Dans le cas d'un simple ajustement le préparateur peut jouer sur la durée des périodes de régulation et/ou sur l'importance de cette régulation (en durcissant ou en assouplissant le taux)<sup>8</sup>. Dans le cas où un simple ajustement ne suffit pas, le régulateur doit construire une régulation de toute pièce. Selon le temps dont il dispose et selon la complexité du problème à traiter (nombre de sources impliquées, orientation des flux sur le ou les secteurs concernés, caractère plus ou moins aléatoire du trafic à réguler,...) le préparateur s'appuiera sur son expérience pour sélectionner une mesure qui a fait ses preuves dans le passé, ou bien il entamera une phase de calcul plus longue lui permettant de chiffrer le trafic à passer pour chaque source compte tenu des capacités secteurs et de la répartition sources régulables/source non régulables. A partir des résultats obtenus il fixera un taux et choisira le type de mesure qui lui paraîtra le plus approprié.

Figure 2 : Extrait d'un plan de régulation. Le format d'une mesure de régulation ne se limite pas toujours à consigner simplement la nature et l'importance de cette mesure à l'intersection d'une

---

<sup>8</sup> Le non respect d'un taux par une source ne conduit pas systématiquement au durcissement de la mesure ou à sa reconduction en l'état. S'il peut être rapproché d'une donnée mettant en évidence une demande très importante, le non respect d'une régulation peut conduire à l'assouplissement de la mesure. Il n'existe donc pas de relation simple, valide dans tous les cas de figures, entre donnée de trafic rapportée à une régulation et modification de cette régulation.

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

source et d'un secteur. La complexité de la régulation peut nécessiter l'explicitation d'autres informations qui vont venir préciser le champ d'application de cette régulation. Ainsi les vols auxquels s'applique la régulation seront-ils éventuellement spécifiés par le point de passage sur le secteur (balise), par leur destination et par leur niveau de vol.

### **Evaluation des effets des mesures de régulation**

Les conséquences induites par la pose d'une régulation ou par la modification d'une mesure existante ne se limitent pas à un seul secteur. Dans le cas de la suppression d'une régulation sur un secteur S1 par exemple, il est nécessaire de vérifier si cette décision ne va pas entraîner des effets indésirables sur un secteur S2 qui n'est pas nécessairement contigu au secteur S1 ; d'où la difficulté pour le préparateur dans certaines conditions à se représenter finement l'effet d'une régulation sur l'ensemble de l'espace aérien concerné par un flux donné. Cette propagation de l'effet d'une régulation suppose une bonne connaissance des flux de trafic et de leur répartition dans les différents secteurs.

Si le régulateur doit évaluer l'effet d'une régulation dans l'espace il doit également identifier ses conséquences dans le temps au niveau des délais induits et de leur report sur les heures suivantes. Cette évaluation des retards permet de vérifier si la période de régulation est suffisamment étendue dans le temps pour tenir compte des dépassements occasionnés par le report du trafic retardé, et de juger de l'importance de ces délais. Il arrive en effet qu'une mesure de régulation assurant (théoriquement...) le respect des capacités soit écartée car elle induit des retards beaucoup trop importants (on retrouve le problème de l'équilibre à trouver entre respect des capacités et facilitation de l'écoulement du trafic).

### **III.2. Les difficultés associées aux différentes étapes de la préparation**

Les différentes phases constitutives du processus de préparation des régulations sont reprises de façon schématique dans la figure 3 en les associant aux caractéristiques de la situation qui contribuent à complexifier l'activité des préparateurs. On peut à partir de cette mise en relation orienter la définition d'outils d'aide à la préparation sur des fonctionnalités spécifiques qui répondent à des besoins réels. Nous nous centrerons plus spécifiquement ici sur les phases 1, 2 et 4.

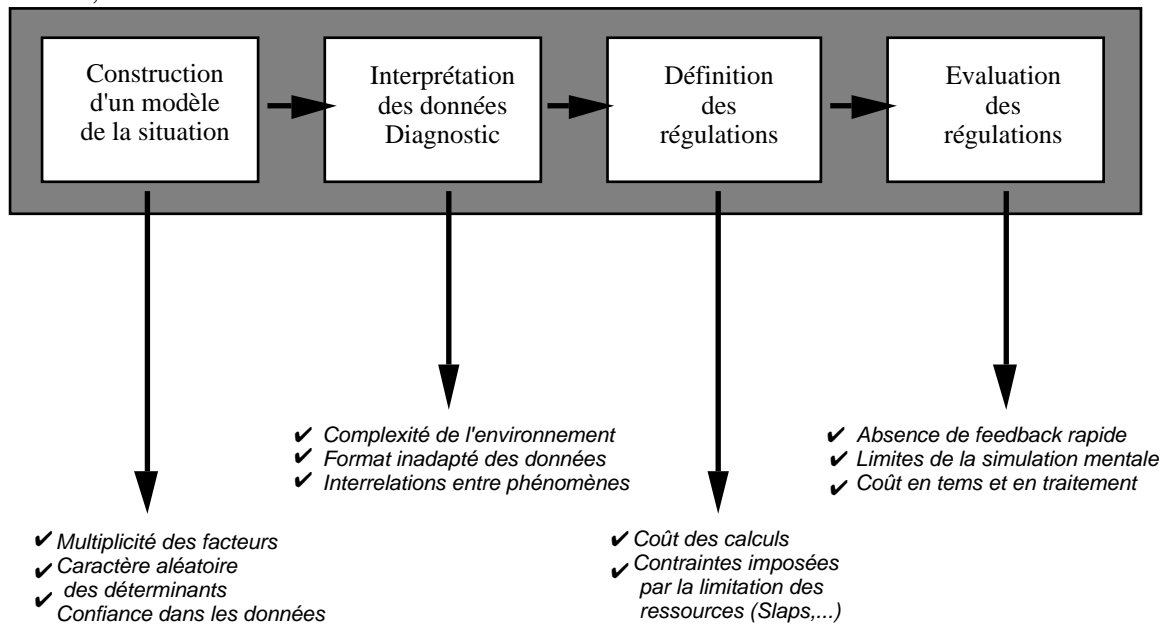


Figure 3 : Les principales étapes de l'activité de préparation et les facteurs de complexité associés.

### **Elaboration du modèle de la situation traitée et choix du jour de référence**

La construction du modèle de la future situation de trafic au jour J constitue une étape primordiale dans le processus de préparation des régulations : elle va en effet déterminer en grande partie l'efficacité des mesures qui vont être prises : la pertinence d'un diagnostic très fin des périodes critiques et l'utilité d'un plan de régulations détaillé restent tributaires du niveau d'exactitude des données utilisées en amont.

Pour sélectionner la journée de référence qui approximera au mieux les caractéristiques du jour J, les préparateurs appliquent des critères de sélection très généraux qui leur permettent rapidement de retenir une journée particulière. Le choix de ces critères (essentiellement le jour de la semaine et le moment dans l'année) s'inscrit dans une certaine logique (voir plus haut). On peut néanmoins penser que ce choix n'est pas toujours optimal et que la prise en compte d'autres critères et/ou d'un ensemble plus important de journées permettrait la construction d'un modèle plus proche de la future situation.

Dans l'état actuel des choses, cet approfondissement du processus de sélection du jour de référence n'est pas réalisable dans la mesure où le préparateur ne peut bien évidemment pas mémoriser les caractéristiques de toutes les journées de trafic passées. Reste la possibilité d'examiner une par une chaque journée candidate susceptible d'être retenue comme journée de référence, possibilité à écarter puisqu'elle entraînerait une diminution du temps dont le préparateur dispose, au détriment d'autres phases critiques (diagnostic des dépassements de capacité, définition des mesures de régulation).

Autre point susceptible de contribuer notablement à la construction d'un modèle du jour J : la prise en compte des informations statistiques (tendances d'évolution du trafic) susceptibles de venir préciser les indications fournies par la journée de référence. Outre la fiabilité relative de ces données, leur niveau de précision n'est pas toujours bien adapté aux besoins du préparateur : une augmentation de trafic prévue sur un secteur peut être dû à un flux particulier et non pas à une augmentation globale du trafic sur le secteur qui se répartirait de façon proportionnelle sur l'ensemble des flux qui contribuent à alimenter le secteur. Par expérience le préparateur expérimenté est capable de retraduire les évolutions de trafic sur un secteur en une évolution

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

spécifique d'un flux particulier (à certaines périodes de l'année, une augmentation prévue sur un secteur sera interprété comme une reprise des vols en provenance d'Europe du nord vers l'Espagne et les Baléares), mais cette interprétation reste hypothétique et nécessite pour être vérifiée l'examen d'autres éléments (évolution du trafic sur les autres secteurs susceptibles d'être traversés par le flux incriminé, données de trafic faisant apparaître les origines et les destinations).

### **Diagnostic des périodes de dépassement**

La phase de diagnostic des dépassements de capacité nécessite la mise en relation de plusieurs types de données. A ce niveau il convient de s'interroger sur l'adéquation entre informations disponibles et besoins du préparateur. L'analyse de l'activité a montré par exemple que le format des données STATSYS (chiffres de trafic pour chaque secteur et source d'alimentation) ne facilitait pas la recherche des informations pertinentes : les données relatives à certaines sources sont totalement absentes, et d'autres pour être obtenues doivent faire l'objet d'inférences coûteuses en temps et ce avec des résultats souvent incertains (Pavard & Salembier, 1991).

Plus généralement le format des informations disponibles (suite de valeurs discrètes) semble peu compatible avec un raisonnement basé essentiellement sur du continu. Une des difficultés de la préparation tient à la nécessaire intégration des données chiffrées dans une représentation essentiellement topographique (tracé des secteurs et routes empruntées) et dynamique de la situation (propagation des flux de trafic dans le temps et dans l'espace). Le préparateur doit donc réintroduire cette dynamique à la fois spatiale et temporelle à partir d'une présentation d'information qui ne s'y prête guère.

### **Evaluation de l'effet des régulations**

Une des difficultés majeures dans la tâche de préparation tient à l'impossibilité pour l'opérateur d'obtenir rapidement une rétroaction sur l'effet des modifications qu'il introduit dans le plan de régulation. La simulation de l'effet d'un taux, dans le cas de régulations importantes touchant plusieurs secteurs de l'espace régulé est un processus coûteux au cours duquel le préparateur peut omettre de considérer le rôle d'un élément particulier (effet d'une modification de taux sur un secteur éloigné de la source régulée, effet de l'ouverture d'une route de contournement). Ceci explique notamment le fait que les préparateurs hésitent à introduire des modifications importantes dans un plan de régulation existant. Le plan de régulation constitue en effet une construction souvent complexe dont les éléments sont interdépendants ; toute modification ponctuelle même limitée est donc susceptible d'entraîner des modifications à plus grande échelle. Le problème se pose par exemple de façon particulièrement aiguë lors de préparation de routes de contournement (figure 4) et pour les imbrications de Slaps (régulations gérées directement par le centre de régulation).

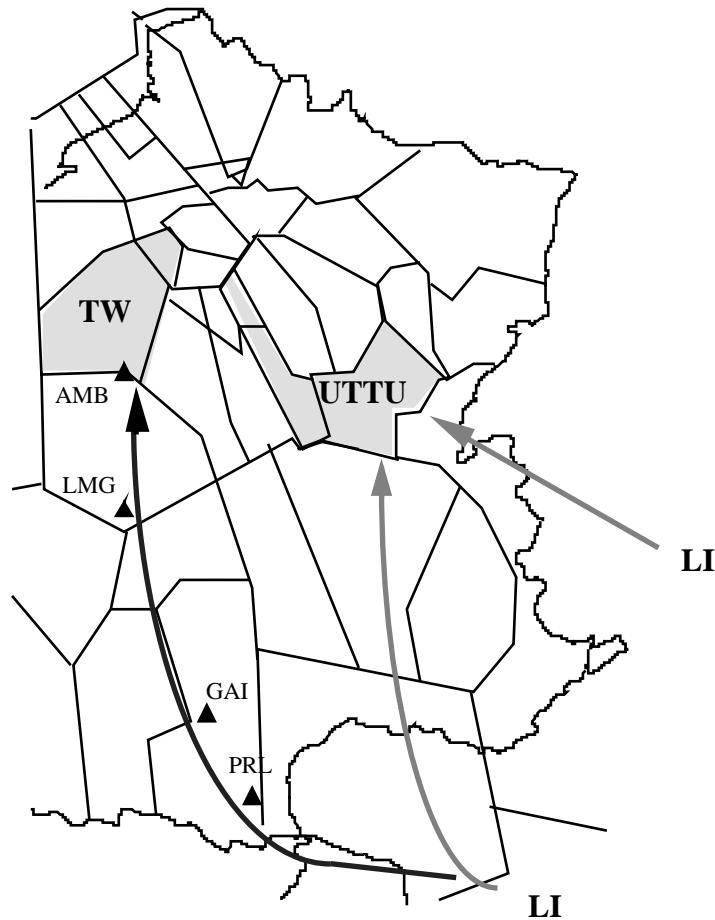


Figure 4 : Examen des effets d'une modification du plan de régulation. Afin de faire face à une éventuelle demande importante de la source LI (Italie), le préparateur a mis en place une route de contournement PRL-GAI-LMG-AMB destinée à soulager notamment le secteur UTTU ; pour ce faire il doit vérifier les conséquences possibles de l'ouverture de cet itinéraire de délestage sur les secteurs d'alimentation Roissy et Orly (particulièrement TW) et la compatibilité avec les mesures de régulation déjà posées à ce niveau.

Une autre source de difficulté doit également être considérée : les régularités observées dans la propagation des flux peuvent varier tout au long de la journée ce qui renforce la difficulté à prédire quelle sera la répartition du trafic à la sortie d'un secteur donné (figure 5).

*de 10h à 17h*

*après 17h*

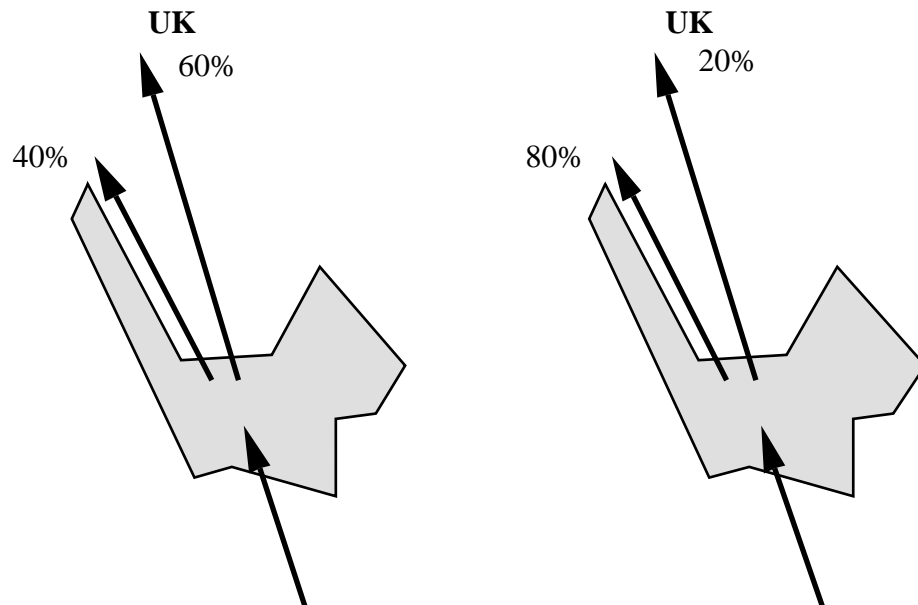


Figure 5 : Exemple de variation dans les régularités observées dans la propagation du flux aérien Nord-Sud pour le secteur UTTU. De 10h à 17h 40% du trafic provenant du sud et sortant d'UTTU est à destination de Paris contre 60% à destination de Londres ; après 17h cette proportion passe à 80% à destination de Paris et 20% pour Londres.

#### IV. L'AIDE A LA PREPARATION DES REGULATIONS

Si le domaine du contrôle du trafic aérien a donné lieu à un grand nombre de projets visant à assister l'activité des contrôleurs (voir par exemple au niveau national les travaux menés depuis plusieurs années à Athis-Mons et à Toulouse par le CENA ; Garot, 1993), la régulation n'a que récemment donné lieu au développement d'outils spécifiques destinés aux préparateurs. Le système GOETHE<sup>9</sup> (Planchon, Bonnard, Pavard & Salembier, 1991 ; Chemla, Gobier, Kerlirzin, Manchon & Salembier, 1994) constitue un environnement d'aide à la préparation des régulations qui intègre un ensemble de fonctionnalités d'aide à la représentation et au traitement.

##### IV.1. Aide à la représentation et aide au diagnostic

Les ressources actuelles de l'informatique autorisent la multiplication du nombre et des formats de présentation des données. Malheureusement la mise en oeuvre de cette débauche technologique va souvent à l'encontre des objectifs d'amélioration de l'accessibilité aux données et de compréhensibilité des informations. Ainsi l'utilisation de l'interface et la navigation dans des couches de plus en plus épaisses de fenêtres peuvent solliciter les capacités de mémorisation de l'opérateur au point parfois de déplacer son attention du processus à contrôler vers l'interface du système de contrôle. Par ailleurs le format de présentation des informations induit souvent un mode séquentiel de recherche, de collecte et d'intégration d'éléments éparpillés dans le système, alors qu'une phase de pré-traitement visant à organiser ces éléments en un ensemble pertinent permettrait la mise en évidence rapide de points critiques.

<sup>9</sup> GOETHE est développé au CENA Athis-Mons par la division AOC ; il est actuellement utilisé de façon opérationnelle au niveau européen.

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

L'organisation et le mode de présentation des informations dans GOETHE mettent en oeuvre des opérations de pré-traitement des données brutes utilisées jusque là par les opérateurs ; elles reposent en grande partie sur la prise en compte d'un certain nombre de caractéristiques de l'activité des régulateurs :

- Les régulateurs raisonnent sur des données dont le niveau de granularité varie en fonction de la nature du problème posé et des ressources temporelles ; le diagnostic d'un dépassement de capacité sur un secteur pourra par exemple être traité par l'examen des données de trafic sur ce secteur ou nécessitera l'identification des vols en provenance d'une source donnée qui ont traversé le secteur à un moment donné. Dans cet esprit le système propose plusieurs niveaux de présentation de la même situation, depuis l'évolution du trafic à différentes périodes de la journée sur l'ensemble de l'espace aérien français jusqu'aux valeurs de charge sur un secteur pour une source donnée sur une période de 30 mn. Le régulateur a ainsi la possibilité de travailler au niveau de finesse qu'il souhaite sans avoir à filtrer une masse d'informations inutiles (figure 6).

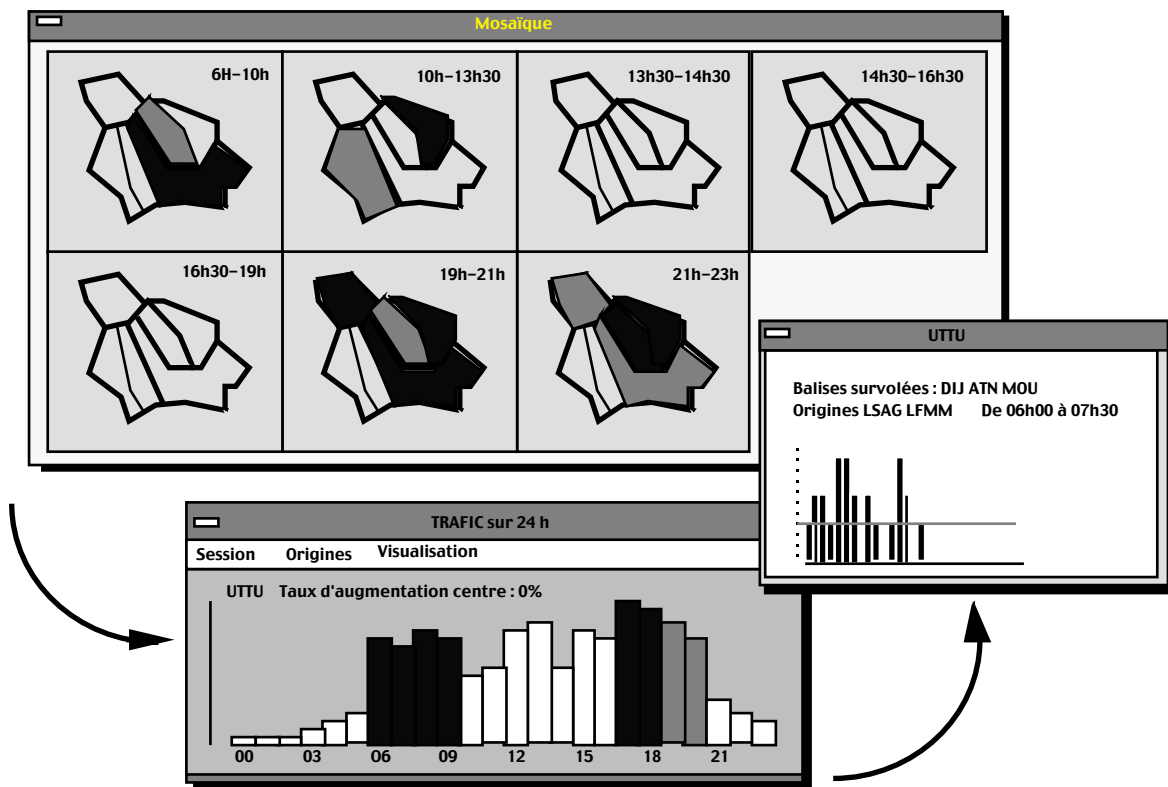


Figure 6 : Différents niveaux de présentation de l'information dans GOETHE. A partir d'un support de représentation unique de type cartographique intégrant plusieurs types d'information au niveau de l'espace aérien français (sectorisation, balises, flux, schémas UCESOs, capacités, charges secteurs,...) le régulateur peut accéder directement à des informations statiques et dynamiques de plus en plus fines. Dans cette figure, trois niveaux de granularité de présentation des données de charge secteur sont présentes : l'évolution du trafic sur une zone (Paris-Est) rapportée aux différentes configurations UCESOs qui se succèdent sur la journée ; l'évolution horaire du trafic sur un des secteurs de cette zone (avec possibilité de passer sur des créneaux d'une demi-heure) ; l'évolution du trafic sur chacune des balises du secteur.

- L'intégration et la comparaison de données jouent un rôle important dans l'activité des régulateurs. Ceux ci sont en effet amenés à rechercher des informations disséminées sur des supports différents et à effectuer des opérations multiples de mise en relation entre données afin de pouvoir émettre un jugement sur une situation. Le système doit donc permettre

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

l'accès simultané à plusieurs éléments, mais dans le même temps éviter la prolifération de fenêtres génératrice de problèmes de navigation dans l'interface ; c'est pourquoi GOETHE propose des vues synthétiques du processus, intégrant plusieurs types d'informations (direction des flux, contribution des origines à la charge secteur, capacité secteur, charge sur les balises, configurations UCESOs,...) évitant ainsi de tomber dans le piège "un nouveau type de données = une nouvelle fenêtre" (Woods, 1991).

- Si les valeurs prises par les différentes variables de la situation constituent des données importantes pour le régulateur, *l'examen de leur évolution dans le temps va fortement déterminer les décisions qui vont être prises* (une pointe de trafic ne sera pas traitée de la même façon selon qu'elle est précédée ou suivie de valeurs faibles ou fortes). C'est pourquoi le système permet une visualisation rapide de l'évolution de différentes variables et facilite les opérations de comparaison grâce à la présentation simultanée de ces variables sur une fenêtre d'affichage unique.

## **IV.2. Aide à la construction de la représentation de la situation**

La fonction de ce module est de suppléer aux limitations de mémorisation par le régulateur des caractéristiques pertinentes des journées de trafic écoulées susceptibles d'être utilisées comme journées de référence. Ces caractéristiques peuvent être numériques (configurations des positions de contrôle ouvertes notamment) mais également symboliques : prise en compte du contexte global (période de l'année) ou local (événements ponctuels associés à la journée). A partir de critères pertinents de tri, l'outil d'aide au choix du jour de référence est capable de sélectionner et de proposer au préparateur un éventail de journées candidates possibles pouvant tenir lieu de jour de référence ; la décision finale de retenir telle journée plutôt que telle autre appartenant au préparateur.

Pour finaliser cette approche, il était nécessaire de disposer d'un modèle de catégorisation qui permette de classer les journées disponibles en fonction de certains traits pertinents, et qui fournisse une métrique permettant d'évaluer le niveau de proximité entre deux journées ou deux types de journées. C'est pourquoi nous avons réalisé une expérimentation visant à la caractérisation des journées de trafic et à la mise en évidence de traits permettant une description intensionnelle et une classification de ces journées.

### **Matériel expérimental et procédure de passation**

Nous avons retenu un échantillon de 35 journées de trafic représentatives de différents types de trafic pouvant survenir au cours d'une année. Ces journées sont caractérisées par un certain nombre de données associées : plan de régulation, schéma d'ouverture des positions de contrôle, données de trafic, schéma de suivi temps réel.

La tâche demandée aux préparateurs qui ont participé à cette expérimentation consistait à classer les journées selon un critère de proximité ou de ressemblance. Le nombre de classes à réaliser était libre et ne faisait l'objet d'aucune consigne. Dans un premier temps la tâche de classification était effectuée sur l'échantillon de journées retenu sans aucune information de type calendaire (ceci afin d'éviter un éventuel effet massif dû à un traitement basé sur cette seule donnée). Dans un second temps le même échantillon de journées datées cette fois était présenté aux sujets afin d'être classé. Il était ensuite demandé au préparateur de verbaliser les critères de classement utilisés.

### **Méthode d'analyse des données utilisée**

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

La méthode retenue pour l'analyse des données s'inscrit dans le cadre des travaux réalisés sur la catégorisation naturelle et s'inspire plus particulièrement des recherches mathématiques relatives aux jugements de similitude (Tversky, 1977). Cette méthode dite "méthode des scores" s'apparente à une heuristique inductive ne requérant pas de référence à des catégories prédéterminées ; elle permet le calcul des distances entre objets classés à partir des fréquences de co-occurrence des paires d'objets<sup>10</sup>. Après construction de la matrice de similitudes via le logiciel de traitement ABCD (Barthélémy & Guénoche, 1988) les résultats obtenus ont été mis en forme par le biais de représentations arborées radiales, axiales et arborescentes afin de mettre en évidence des classes et des super-classes de journées (figure 7).

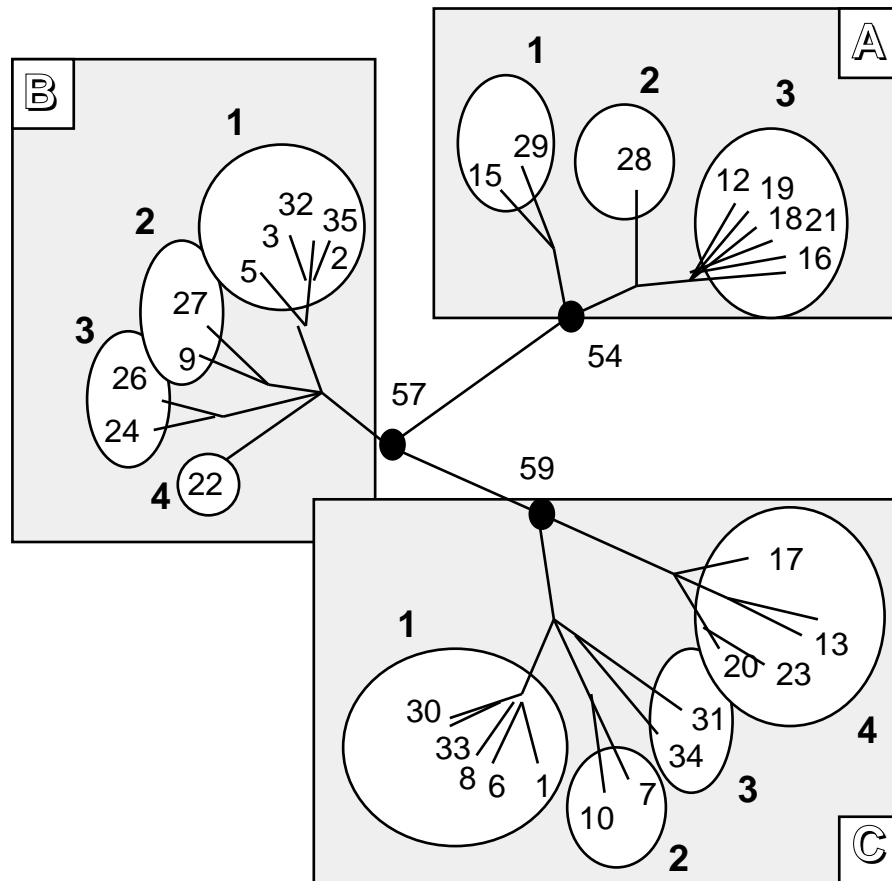


Figure 7 : Tracé radial de l'arbre obtenu par application de la méthode des scores sur la matrice de similitudes des journées "avec dates". La représentation arborée radiale est utilisée comme heuristique de représentation des proximités ; la distance d'une feuille à un noeud reflète le degré d'appartenance de l'objet représenté par la feuille au groupe symbolisé par le noeud. La méthode permet ainsi d'obtenir des classes mais également des degrés d'appartenance des objets à la classe.

## Résultats

<sup>10</sup> Cette méthode a été récemment utilisée dans plusieurs études à visée ergonomique (voir par exemple Fleury, 1992 ; Dubois, Bourguine & Resche-Rigon, 1992).

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

Les résultats obtenus mettent en évidence que *le niveau de difficulté de la régulation* associée à la journée constitue le critère déterminant utilisé par l'ensemble des régulateurs pour classer les journées de trafic. Ce "super-critère" est en fait la résultante de l'intégration d'un certain nombre de variables interdépendantes qui caractérisent une journée (l'écart entre la valeur du trafic global sur la zone à réguler et la capacité pour le jour considéré ; la longueur du plan, qui est proportionnelle au nombre de régulations imposées sur la journée ; les valeurs du schéma d'ouverture des positions de contrôle ; les données de trafic sur certains secteurs de la zone traitée ; la date de la journée qui renvoie au moment dans l'année, à des événements récurrents particuliers, au jour de la semaine ; cf tableau 1).

	1	2	3	4
A	Journées chargées Été aéronautique (Juin) Trafic non maxi Nbre UCESO favorable	Journées chargées Été aéro. (Sept-Oct) Nbre moyen d'UCESO	Journées très chargées Été aéro. (Juin, Juillet, Aout) Jeudi, Mercredi, Vendredi	
B	Trafic moyen Hiver aéro. (Dec-Janv) Nbre moyen d'UCESO	Trafic moyen (transition) Reprise trafic printemps ou fin été aéronautique Nbre UCESO favorable	Trafic élevé non maxi Été aéro. (sept) UCESO très favorables	Trafic moyen Été (aout) UCESO insuffisants (à part)
C	Trafic très faible Hiver (janv-fév) Nbre d'UCESO moyen à faible	Trafic moyen Reprise (mars-avril) Nbre d'UCESO moyen	Journées spéciales (grève ICNAs,...)	Trafic moyen à fort Reprise (avril-mai-juin) Nbre d'UCESO moyen

Tableau 1 : Classes de journées de trafic et critères de classification associés. Ces classes se répartissent en trois super-classes et onze classes.

Par ailleurs la comparaison avec les résultats obtenus sur les journées "avec date" montre l'existence d'une variation sensible selon que les régulateurs disposaient ou non d'indices calendaires. Si les critères de classement utilisés restent les mêmes dans les deux cas, le fait de disposer d'une information permettant de situer précisément la journée dans l'année permet aux régulateurs d'affiner le processus de catégorisation en intégrant des informations supplémentaires (existence d'événements exceptionnels dont l'incidence sur le trafic est par expérience connue des préparateurs : foires internationales, départs ou retours de vacances, manifestations sportives,...). Cet affinement se traduit par l'existence d'un nombre plus important de classes dans les résultats obtenus pour la modalité "avec dates" de la passation expérimentale.

### Application au développement d'un outil d'aide au choix du jour de référence

A partir de l'identification des critères de classification utilisés par les préparateurs, une méthode implémentable d'indexation et de recherche de ces journées a été définie et intégrée dans un système d'aide au choix de la journée de référence (Tabti, 1992). Cet outil permet dans un premier temps, après avoir spécifier les éléments connus de la journée à préparer, de visualiser de façon synthétique les caractéristiques des journées habituellement utilisées comme jours de référence par les régulateurs (J-7, J-14, J-365). Le préparateur a dans un deuxième temps la possibilité de lancer la recherche de journées de référence potentielles supplémentaires ; l'algorithme de filtrage utilisé par le système sélectionne alors dans sa base de données les journées qui répondent aux éléments connus de description du jour J, à partir des critères de classification mis en évidence lors de l'expérimentation. Le préparateur dispose ainsi d'un éventail de données plus large et mieux organisé (seules les informations pertinentes concernant les journées sont présentées) pour effectuer son choix.

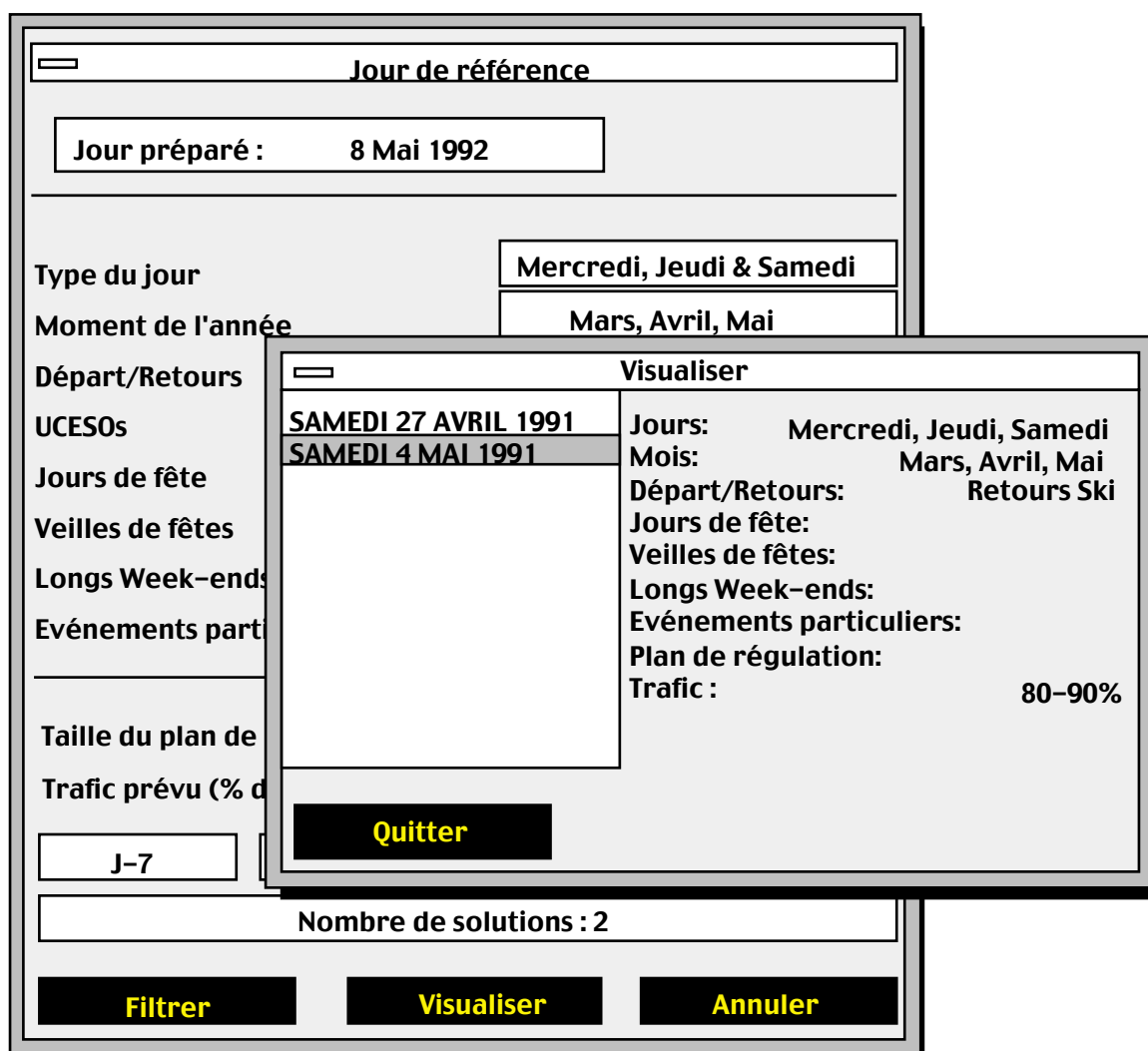


Figure 8 : Interface du système d'aide au choix de la journée de référence. Le préparateur renseigne tout ou partie des champs qui décrivent les caractéristiques connues ou attendues de la journée à préparer (jour J) ; le système affiche alors un ensemble de journées de référence candidates plus ou moins important (selon le paramétrage de la fonction de filtrage défini par le préparateur), ainsi que les valeurs prises par ces journées sur les critères de classification retenus.

### IV.3. Aide à l'évaluation

L'identification des difficultés rencontrées par les régulateurs lors de l'évaluation des effets d'une ou de plusieurs mesures de régulation a mis en évidence l'intérêt d'un outil logiciel, qui faciliterait la représentation de l'évolution du trafic et de ses répercussions sur la charge des secteurs suite à la création, la suppression ou la modification d'une mesure de régulation touchant une ou plusieurs sources de trafic.

L'outil de simulation sur lequel nous avons travaillé tire avantage des capacités de calcul du système afin de permettre au régulateur de visualiser en temps réel les effets possibles d'une décision sur l'ensemble de l'espace aérien dont il a la responsabilité (figure 9).

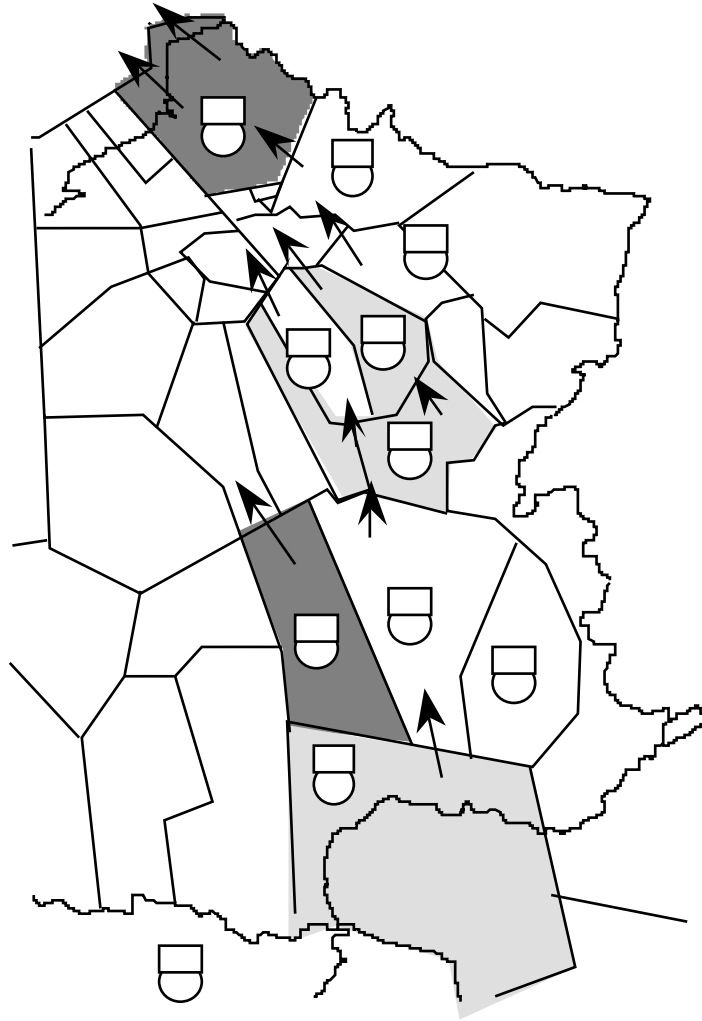


Figure 9 : Principe de fonctionnement du système de simulation de l'effet d'une régulation. Le préparateur choisit de travailler sur un flux donné (ici l'axe Nord-Sud Aix-Londres). Il peut modifier directement les régulations (valeur du taux) qui affectent une source de trafic et visualiser les effets de cette modification sur la charge des secteurs. La visualisation reprend le codage coloré utilisé dans tous le système pour indiquer le niveau des dépassements de capacité secteur. Si la résorption d'un dépassement sur un secteur nécessite une régulation trop sévère de la source considérée (ce qui peut conduire à des congestions sévères du trafic alors que les autres secteurs restent largement sous-capacitifs) l'opérateur peut choisir d'intervenir sur un autre flux alimentant le secteur critique (axe Est-Ouest ici par exemple).

La réalisation d'un tel outil nécessite que soient identifiées les caractéristiques de la distribution dynamique des flux d'un secteur à l'autre. Après avoir dans un premier temps utilisé une hypothèse de répartition proportionnelle (un changement de taux sur un point donné affecte proportionnellement l'ensemble des flux de la source considérée) nous avons tester une hypothèse de propagation non-linéaire basée sur l'utilisation d'un réseau connexioniste afin de modéliser plus finement les processus de répartition des flux de trafic d'un secteur à l'autre (figure 10). Les résultats obtenus au cours de trois expériences successives nous ont permis de mettre en évidence (sous réserve de disposer des données nécessaires lors de la phase d'apprentissage du réseau) la supériorité de la propagation non-linéaire en termes de qualité des prédictions obtenues (Salembier, Wouters, & Pavard, 1993 ; Pavard & Salembier, 1991).

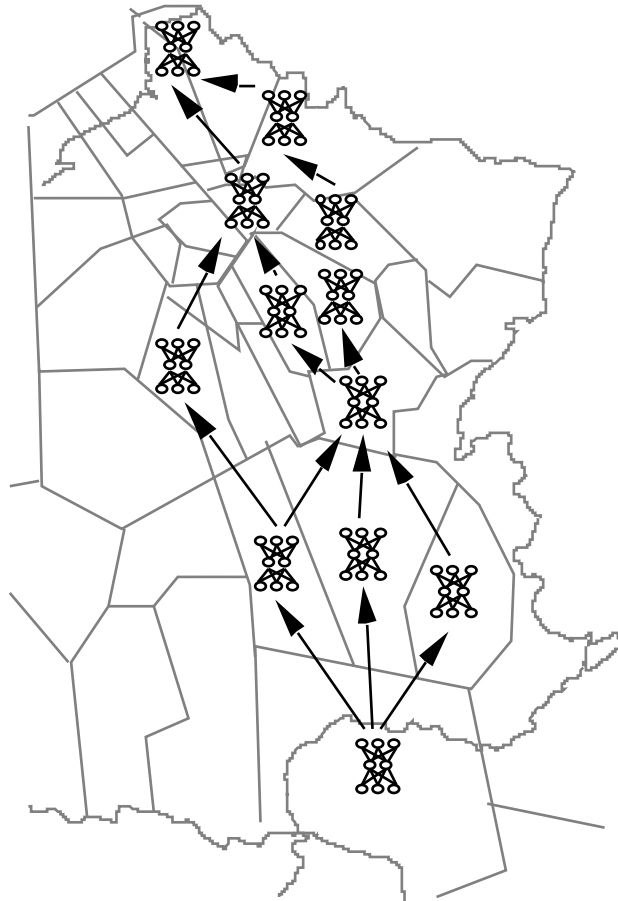


Figure 10 : Propagation non-linéaire des flux. A chaque secteur est associé un réseau de neurones dont les entrées sont connectées aux sorties du réseau qui le précède dans le flux considéré, et dont les sorties sont reliées à la couche d'entrée du réseau suivant.

Tout comme pour le système d'aide au choix du jour de référence, il convient de noter ici que la simulation et la visualisation des effets d'une régulation ne constituent qu'une source supplémentaire de données pour l'opérateur qui garde le contrôle du processus et qui oriente le système sur les hypothèses qu'il souhaite tester (Woods & al., 1991). On doit en effet garder à l'esprit le haut niveau de compétence de l'opérateur dans le domaine : l'objectif de l'outil est donc d'augmenter les capacités de simulation mentale du régulateur mais certainement pas de se substituer à lui dans le processus de choix des mesures de régulation.

Les premiers tests réalisés montrent que par rapport à la situation actuelle, cet outil de simulation permet un gain de temps de l'ordre de 1 à 10. Mais plus important, la possibilité de tester interactivement différentes solutions à moindre coût semble conduire les régulateurs à multiplier les hypothèses de régulations pour retenir ensuite celle qui leur apparaît la plus pertinente, à partir des résultats de la simulation et sur la base de leurs connaissances du domaine. Il est établi que l'introduction de tout nouveau dispositif s'accompagne d'une modification plus ou moins profonde des stratégies mises en oeuvre par les opérateurs ; de ce point de vue il sera intéressant de vérifier ici de façon plus systématique si l'outil de simulation est utilisé de façon rétrospective pour vérifier la validité d'un nombre limité de mesures, et qu'il se situe par conséquent dans le prolongement de l'activité sans outil (actuellement le régulateur ne se lance dans l'évaluation des effets d'une régulation qu'après une phase de sélection qui vise à restreindre le plus possible le nombre des mesures candidates), ou bien s'il favorise l'émergence de stratégies de recherche prospective de solutions (on teste un peu tout "pour voir").

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

Notons enfin que ce système peut être également utilisé en suivi temps-réel, moyennant une modification des données qui l'alimentent, ce qui permet d'assurer la cohérence des outils utilisés aux différentes phases de la régulation et de garantir la continuité des activités de préparation et de suivi.

## CONCLUSION

Un certain nombre de problèmes liés à l'interaction homme-machine dans les situations complexes ont été abordés ou plutôt effleurés à l'occasion de la description des fonctionnalités d'aide à l'activité d'un système que, selon une certaine acception de ce terme, on pourra qualifier de coopératif. Dans GOETHE tout est actuellement sous le contrôle du régulateur qui utilise à la demande les capacités d'aide à la représentation et au traitement qui lui sont proposées. Ce choix du style d'interaction entre le système et les opérateurs s'explique de plusieurs façons. Tout d'abord il s'intègre dans des options conceptuelles plus larges qui ont été prises au CÉNA et qui visent à "garder l'opérateur dans la boucle". Plus concrètement, de notre point de vue deux raisons principales liées aux caractéristiques de la situation et de l'activité de régulation expliquent ce choix de conception. Tout d'abord les régulateurs sont amenés à prendre des décisions dans un monde hypothétique dont le pouvoir de prédiction de la situation future reste incertain, mais ils sont capables, grâce à leur expérience, de gérer cette incertitude et de l'intégrer dans leurs décisions ; ainsi au niveau de la préparation des régulations, des solutions apparemment optimales ne sont pas retenues car, offrant moins de possibilités d'adaptation, elles laissent en cas de problème une marge de manoeuvre moindre à l'opérateur chargé du suivi temps réel du plan de régulation. Par ailleurs, du fait de l'importance du nombre de facteurs contextuels pris en compte par le régulateur, et de l'impossibilité dans l'état actuel des choses de représenter de façon satisfaisante ces éléments sous une forme informatique, il semble préférable de faire effectuer par le système des traitements peu contextualisés mais coûteux d'un point de vue cognitif, et de laisser à l'opérateur le soin de moduler le résultat de ces traitements.

Il reste que l'attribution du label "coopératif" à un outil de ce type peut paraître pour le moins réducteur de la notion de coopération, notamment du fait du caractère statique de l'interaction avec l'opérateur, qui résulte d'une conception unilatérale de l'interaction : l'opérateur se construit progressivement une représentation du système (notamment de ses capacités), mais la réciproque n'est pas possible. Il n'y a donc pas de possibilité d'évolution pour le système d'une session d'interaction à l'autre, ce qui limite la mise en place de certains mécanismes coopératifs (partage de points de vue sur des objets du domaine notamment).

Pour conclure soulignons que l'utilisation de systèmes d'assistance pose d'autres questions qui n'ont pas été abordées ici mais dont l'importance est déterminante dans les situations de coopération ; c'est le cas notamment de la confiance dans les systèmes d'aide. Enfin nous nous sommes placés ici dans le cas de l'interaction entre un homme et un système, alors que le contrôle de processus complexes notamment requiert la plupart du temps l'intervention de plusieurs opérateurs<sup>11</sup>...et éventuellement de plusieurs systèmes d'aide.

---

<sup>11</sup> D'où le développement croissant d'un nouveau type d'outil : les systèmes d'aide à la coopération homme-homme (ou CSCW).

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

## Bibliographie

Alliot, J.M. & Chatty, S. (1993) *Une approche globale de l'automatisation du contrôle*, Rapport CENA 92.691, Toulouse.

Chemla, D., Gobier, C., Kerlirzin, P., Manchon, S. & Salembier, P. (1994) *SPORT v.4.x - Dossier de spécifications fonctionnelles*, Rapport CENA/R94-002, Athis-Mons.

Clancey, W.J. (1990) Why today's computers do not learn the way people do, *Annual meeting of AERA*, 16-20 April, Boston.

Clarke, A.A. & Smyth, M.G.G. (1993) A co-operative computer based on the principles of human co-operation, *Int. J. of Man-machine Studies*, 38, 3-22.

Dubois, D., Bourguine, R. & Resche-Rigon, P. (1992) Connaissances et expertise de divers acteurs économiques dans la catégorisation d'un objet perceptif, *Intellectica*, 15, 241-271.

Falzon, P. (1989) Assister l'activité, *Actes de la 9ème Conférence Internationale sur les Systèmes experts et leurs Applications*, 29 mai - 2 juin, Avignon.

Fleury, D. (1992) Catégorisation de scènes routières et sécurité : de l'analyse des accidents aux représentations typiques, *Intellectica*, 15, 97-123.

Garot, J.M. (1993) *Air traffic control : are we all wrong ?* Note CENA/N93-065, Athis-Mons.

Hoc, J.M. (1988) Aides logicielles à la résolution de problème dans les situations de travail, in J.P. Caverni, C. Bastien, P. Mendelsohn & G. Tiberghien (eds.) : *Psychologie cognitive : modèles et méthodes*, P.U.G., Grenoble.

Hoc, J.M. (1989) Strategies in controlling a continuous process with long responses latencies : needs for computer support to diagnosis, *Int. J. of Man-machine Studies*, 30, 47-67.

Hollnagel, E., Mancini, G. & Woods, D.D. (1988) *Cognitive engineering in complex dynamic worlds*, Academic Press, Londres.

Kolski, C. & Duribreux, M. (1993) Towards explicit consideration of time in cognitive engineering workbenches for "intelligent" assistance system design, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 11, 125-134.

Pavard, B. & Salembier, P. (1991) *L'aide à la régulation du trafic aérien : analyse de l'activité et assistance coopérative à la décision*, Rapport convention NEB/CENA, Paris.

Pavard, B. (1993) Ingénierie cognitive et technologies avancées, *JETAI'93*, Bruxelles.

Planchon, P., Bonnard, M., Pavard, B. & Salembier, P. (1991) *Dossier de spécifications GOETHE 2*, Rapport technique AOC-CENA, Athis-Mons.

Planchon, P., Salembier, P., Manchon, S. & Pavard, B. (1993) Use of advanced technologies in ATM domain, in G. Rzevski, J. Pastor & R.A. Adey (eds) : *Applications of Artificial Intelligence in Engineering VIII*, Elsevier, Londres.

Reason, J. (1987) Cognitive aids in process environments : prostheses or tools ? *Int. J. of Man-machine Studies*, 27, 463-470.

In B.Pavard (ed.) : Systèmes coopératifs : De la modélisation à la conception, Octares, Toulouse, 1994.

Salembier, P. (1992) Etude empirique et modélisation d'une activité de diagnostic cognitif, *Intellectica*, 15, 55-96.

Salembier, P., Wouters, B. & Pavard, B. (1993) *L'aide à la régulation du trafic aérien : simulation non-linéaire de la propagation des flux*, Rapport convention NEB/CENA, Paris.

Salembier, P; Pavard, B., Benchekroun T.H., de Medeiros, E. & Denier, J.P. (1992) Cognitive Engineering as a tool to design human-computer interfaces in complex environments, *The COSPAR-IAF World Space Congress, August 28 - September 5, Washington D.C.*

Silverman, B.G. (1992) Human-computer collaboration, *Human-Computer Interaction*, 7, 165-196.

Tabti, S. (1992) *Etude et réalisation d'un outil d'aide au choix de la journée de référence*, Mémoire d'Ingénieur ENAC, Athis-Mons.

Visetti, Y.-M. (1991) Des systèmes experts aux systèmes à base de connaissances : à la recherche d'un nouveau schéma régulateur, *Intellectica*, 12, 221-279.

Woods, D.D. (1991) The cognitive engineering of problem representations, in G.R.S. Weir & J.L. Alty (eds) : *Human-computer Interaction and complex systems*, Academic Press, Londres.

Woods, D.D., Potter, S.S., Johannesen, L. & Holloway, M. (1991) *Human interaction with intelligent systems : Volume I - Trends, problems, new directions*, CSEL Report 1991-001, Ohio State University, Columbus OH.

Woods, D.D., Roth, E.M. & Bennett, K. (1987) Explorations in joint human-machine cognitive systems, in W. Zachary & S. Robertson (Eds.) : *Cognition, computing and cooperation*, Ablex, Norwood NJ.