



HAL
open science

Vers une modélisation des systèmes coopératifs

Serge Debernard, David Annebicque, Igor Crevits, Thierry Poulain

► **To cite this version:**

Serge Debernard, David Annebicque, Igor Crevits, Thierry Poulain. Vers une modélisation des systèmes coopératifs. Conférence Internationale Francophone d'Automatique, CIFA 2008, 2008, Bucarest, Roumanie. hal-02112912

HAL Id: hal-02112912

<https://hal.science/hal-02112912>

Submitted on 27 Apr 2019

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

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

VERS UNE MODELISATION DES SYSTEMES COOPERATIFS

SERGE DEBERNARD, David ANNEBICQUE, Igor CREVITS, Thierry POULAIN

Laboratoire d'Automatique, de Mécanique et d'Informatique industrielles Humaines

LAMIH, UMR CNRS 8530

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

Téléphone : +33 (0) 3 27 51 13 73 – Fax : +33 (0) 3 27 51 13 16

{ serge.debernard, david.annebicque, igor.crevits, thierry.poulain } @univ-valenciennes.fr

Résumé – Dans le cadre de la coopération homme-homme, les agents humains construisent et maintiennent une représentation partagée de la situation par l'intermédiaire d'échanges verbaux. Cette représentation a été appelée Référentiel Commun, mais n'est que virtuelle. Dans le cadre de la coopération homme-machine, il est nécessaire de rendre opérationnel ce Référentiel Commun. C'est ce que nous présentons dans ce papier, où une expérimentation a permis de définir de manière exacte son contenu dans le cadre du contrôle de trafic aérien, ce qui a permis de bâtir un modèle de système coopératif que nous présentons ici.

Mots-clés – Systèmes coopératifs, Coopération Homme-Machine, Référentiel Commun, COFOR, Espace de Travail Commun, Modèle

I. INTRODUCTION

Du fait de l'amélioration des techniques liées à l'informatique industrielle et à l'automatique, les grands procédés industriels sont de plus en plus automatisés du fait de la grande complexité qu'ils présentent. Néanmoins, pour des problèmes liés à la sécurité, des opérateurs de supervision assurent la surveillance des installations pour détecter et récupérer les pannes ou les défauts des automatismes qui pourraient survenir. Dans d'autres domaines au contraire, comme la conduite automobile ou la gestion du trafic aérien, l'automatisation des tâches humaines n'est que très récente, et cherche soit à contrer la non fiabilité des opérateurs, soit à assister ces opérateurs dont la capacité n'est pas suffisante pour réaliser l'ensemble des tâches qu'ils ont à assurer.

Dans ce contexte, de nombreux travaux de recherche visent à définir des outils d'aide à l'opérateur qui automatisent en partie les tâches cognitives dévolues auparavant à l'Homme. Le système décisionnel devient donc de plus en plus un système hybride, composé d'agents humains et artificiels. Mais si cette automatisation cherche à augmenter les performances obtenues en terme de résultats et/ou de sécurité, elle présente néanmoins certains problèmes, essentiellement dus aux opérateurs. Il faut en effet s'assurer, lors de la conception d'un tel système, que les opérateurs puissent, malgré l'introduction d'outil automatique, continuer à assurer correctement leurs tâches. C'est le principe de l'automatisation centrée sur l'opérateur humain, et nos travaux s'insèrent dans cette communauté et concernent plus particulièrement la coopération homme-machine.

Du point de vue de l'automaticien, l'objectif principal, dans un contexte d'augmentation de la productivité et de maintien de la sécurité, est d'assister les opérateurs humains par l'introduction d'outils automatisant une partie de leurs activités. Néanmoins, cette automatisation n'est pas sans poser certains problèmes aux opérateurs : perte de conscience de la situation, dégradation des compétences, etc. Afin de conserver ces opérateurs dans la « boucle » de contrôle et de supervision, une coopération étroite entre les différents intervenants, humains et artificiels, semble nécessaire, ce qui passe par la compréhension de leurs « modes de fonctionnement ». L'apport de la psychologie cognitive est de ce point de vue fondamental.

Ce papier présente tout d'abord le problème essentiel de la coopération homme-machine : celui de la conscience de la situation et la conscience de ce que fait l'autre. Il montre ensuite que cette conscience de la situation doit être partagée lorsque plusieurs agents travaillent de concert, et que ceux-ci, lorsqu'ils sont humains, la construisent par leurs activités verbales : c'est la notion de Référentiel Commun. Une expérimentation menée dans le contexte du contrôle de trafic aérien a permis de définir de manière exacte son contenu et de bâtir un modèle de systèmes coopératifs qui a été utilisé pour concevoir un espace de travail commun entre contrôleurs aériens et un système coopératif d'aide à la résolution de conflits.

II. PROBLEMES LIES A LA COOPERATION HOMME-MACHINE

Un des premiers problèmes lié à la coopération homme-machine concerne la définition du rôle des différents agents dans le système, et donc la définition de leurs responsabilités, (Debernard, Hoc, 2003). Un opérateur responsable du système complet peut alors avoir des réticences à coopérer avec une machine s'il n'a pas le sentiment de la maîtriser complètement. A l'opposé, lorsque la machine est considérée comme responsable par son concepteur des décisions et actions qu'elle entreprend, l'opérateur, même dégagé de cette responsabilité, peut néanmoins intervenir lorsqu'il pressent un problème mettant en jeux des aspects liés à la sécurité, comme par exemple dans le domaine de l'aéronautique avec les systèmes embarqués d'anti-collision (TCAS) (Rome & al., 2006).

Cette problématique de la définition des responsabilités est liée à un autre aspect qui est la confiance que l'opérateur humain

peut avoir dans la machine (Muir, 1987). Les travaux de Rajaonah (2006) abordent cette problématique spécifique – que nous ne développerons pas ici – et montrent les mécanismes de sa construction et l'impact qu'elle peut avoir sur les relations entre les agents humains et artificiels.

Barr et Sharda (1997), dans le cadre d'une évaluation de systèmes d'aide à la décision (Decision Support System), montrent les effets positifs et négatifs de leur utilisation par des opérateurs humains. Ces auteurs indiquent par exemple que l'utilisation de ces systèmes permet aux opérateurs de développer une meilleure compréhension des problèmes à résoudre, améliore leur temps de traitement de l'information, et augmente leur confiance dans la décision finale ainsi que sa qualité, en laissant ces opérateurs se focaliser sur des aspects stratégiques du problème à résoudre. Néanmoins, l'utilisation de ces systèmes d'aide à la décision peut rendre leurs utilisateurs passifs. Ces derniers n'essayent plus alors de comprendre réellement la situation, notamment parce qu'ils ne comprennent pas les informations qui conduisent à la décision finale produite par le système, et deviennent dépendant des décisions du système, ce qui de manière générale réduit leur efficacité.

Ce comportement est à rapprocher du phénomène de complaisance de l'opérateur envers les décisions produites par le système (Hoc, 2000 et 2001) : le système donne une solution qui ne semble pas optimale, mais l'opérateur s'en contente. Il faut néanmoins relativiser ce problème en fonction de la situation. Si l'opérateur est surchargé par d'autres tâches, laisser le système agir – même si la solution n'est pas parfaite – peut garantir à l'opérateur de ne pas dépasser ses capacités. Le même auteur cite d'autres problèmes tels que la perte d'adaptabilité ou bien encore la perte d'expertise humaine, phénomène à rapprocher des situations de sous-charge de travail dues à l'introduction d'automatismes et qui conduisent à long terme à une dégradation de compétences (Millot, 1988). Skjerve et Skraaning (2004) montrent les difficultés qu'ont les opérateurs humains pour comprendre ce que fait le système et s'il le fait correctement. Ces difficultés sont d'autant plus flagrantes lorsque la complexité du système augmente, ce qui conduit à une diminution des pratiques opérationnelles, au changement du rôle des opérateurs, à une réduction de leur niveau de compétences et à une augmentation des activités de surveillance.

En fait, la majorité des problèmes provient de la suppression de feedback pour l'opérateur qui conduit à une dégradation de l'image mentale qu'il a du système, (Hollnagel, Bye, 2000). Cette mauvaise perception peut notamment conduire à une confusion de sa part sur les modes automatiques engagés, et l'opérateur humain interagit alors avec le système selon un modèle mental qui n'est pas approprié (Rushby, 2002 ; Hoc, 1999). C'est ce qui s'est produit notamment lors de l'accident tragique d'un Airbus au Mont Saint-Odile où les pilotes, surchargés par une procédure d'atterrissage modifiée tardivement, n'ont pas perçu le mauvais automatisme engagé qui régulaient leur taux de descente.

La dégradation de l'image mentale de l'opérateur peut aussi concerner les interactions qu'il a avec les outils d'aide. Karsenty (2000) indique qu'une mauvaise représentation partagée du problème peut conduire alors à des actions « individuelles » incompatibles, à une mauvaise coordination des tâches ou activités, ou encore à des jugements divergents sur une décision. Quand un opérateur humain reçoit des informations en contradiction avec les siennes, il est alors nécessaire que des mécanismes d'explications puissent être mis

en place entre les agents permettant à chacun d'ajuster ses représentations individuelles, ces explications pouvant se faire à différents niveaux par rapport à leur démarche de résolution de problème.

De manière plus pragmatique, Schmidt (1991) soulève, à partir de différentes caractéristiques liées à la coopération, différents problèmes (voir aussi Parasuraman, 1997). Lorsque les agents sont distants, les temps de réponse peuvent devenir suffisamment importants pour contraindre les interactions, ce qui n'est pas le cas lorsque les agents sont proches et qu'ils ont une liberté d'action plus importante. Ces activités, dans le cas d'une coopération dite synchrone, peuvent se faire de manière instantanée, ce qui peut améliorer l'efficacité des agents lors de la résolution d'un problème. Des activités désynchronisées peuvent amener au contraire des délais incompatibles avec les modes de raisonnement des opérateurs. Enfin, les communications peuvent être directes ou médiatisées. Dans le premier cas, les échanges d'information symbolique de haut niveau peuvent se réaliser et sont bien entendu très efficaces. C'est le cas par exemple de la parole lors d'une coopération homme-homme, mais en fait, de simples mouvements ou certaines réactions peuvent apporter des éléments d'informations très riches, comme par exemple dans les cabines de pilotage où un simple geste sur une manette indique qu'un pilote effectue bien une tâche particulière, (Rognin, Blanquart, 2001). Lorsque la communication est médiatisée, le partage du contexte est alors plus délicat et doit être construit et maintenu par les agents pour permettre le déroulement d'activités de contrôle mutuel afin de favoriser la sûreté du système, (Rognin, Blanquart, 2001).

Pour synthétiser ce paragraphe, deux problèmes doivent donc être considérés par le concepteur :

- le maintien de la conscience chez l'opérateur de la répartition des tâches et/ou des fonctions entre lui-même et les outils d'aide,
- la compréhension par l'opérateur de ce que fait la machine pour qu'il puisse interagir avec elle de manière efficace.

Ces deux problématiques sont liées à la conscience de la situation.

III. CONSCIENCE DE LA SITUATION ET REFERENTIEL COMMUN

Le concept de « conscience de la situation » ou « situation awareness » a été présenté par Endsley en 1988, (Endsley 1997). Cette conscience est définie comme la perception par un opérateur de différents éléments d'un environnement dans un certain volume de temps et d'espace, la compréhension de leur signification et la projection dans un futur proche de leur état, (Endsley, 1995).

Ce concept est un des éléments clés de la conception des systèmes dans les communautés liées aux facteurs humains, car il est lié à la notion de maîtrise de la situation. Dans le contrôle aérien, cette conscience de la situation est considérée comme essentielle (Mogford, 1997), et l'automatisation de tâches peut avoir un impact sur son maintien, (Westrum, 1991) ; elle s'apparente à ce que les contrôleurs appelaient auparavant l'image mentale (picture), (Endsley, Jones, 1996 ; Niessen, Eyferth, 2001). Stanton (& al., 2001) indique par exemple que dans le cadre d'une étude portant sur plus de 200 accidents aéronautiques, la perte ou la dégradation de cette conscience en était la cause principale.

Le modèle d'Endsley comporte donc trois niveaux de traitement de l'information :

1. un premier niveau de perception,
2. un niveau intermédiaire de compréhension,
3. un dernier niveau de projection.

Dans les travaux de Stanton, c'est sur le premier niveau que le nombre d'erreurs humaines est le plus important, notamment sur la surveillance des données qui représente plus de 35% des cas.

Ces trois niveaux nécessitent de la part des opérateurs des activités continues de construction et de mise à jour, et sont à « rapprocher » des informations déterminées par les premières activités du modèle de résolution de problème de Rasmussen (1980, 1983). Le modèle générique de résolution de problème en situation dynamique de Hoc et Amalberti, (1995) s'apparente aussi à cette approche, Figure 1. Au centre de ce modèle est placée la représentation occurrente de l'opérateur, représentation comprenant trois aspects :

- une représentation du processus et des objectifs à atteindre,
- une représentation des actions possibles qui sert à orienter le diagnostic de la situation,
- une représentation des ressources disponibles.

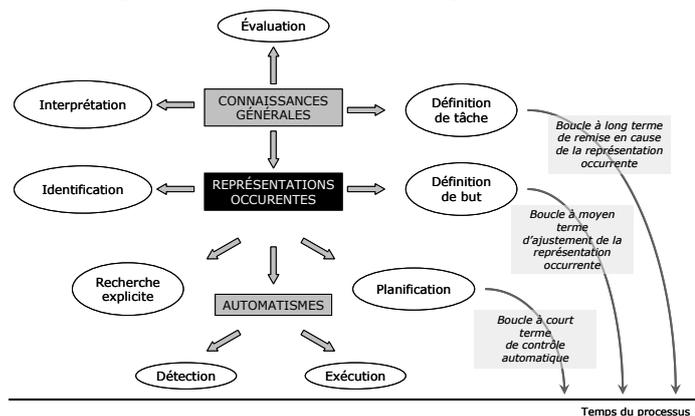


Figure 1 : Modèle générique de résolution de problème en situation dynamique, (Hoc, Amalberti, 1995)

Le concept de Situation Awareness a donné « naissance », dans le cadre du travail d'équipe, de la coopération homme-homme et de la coopération homme-machine, à une multitude d'autres concepts intégrant les aspects liés aux interactions entre agents et aux partages de leur conscience de la situation : Référentiel commun (Leplat, J., 1991), "Team Situation Awareness" (Salas & al. 1995), "Common Frame of References" (COFOR) (voir Hoc, 2000 et 2001), "Shared Context" (Rognin et al., 2000). Nous ne détaillerons pas ici tous ces concepts dont les différences sont quelques fois mineures, et nous présenterons les travaux de Hoc qui se focalisent sur la coopération.

La représentation fonctionnelle partagée par les agents qui réalisent la même activité collective constitue le référentiel commun, (Leplat, J., 1991) ou Common Frame Of Reference (COFOR). Hoc (2001) le décompose en trois niveaux et décrit les activités coopératives qui y sont liées :

- Au niveau le plus bas se situe la coopération dans l'action : les activités coopératives correspondantes concernent d'une part l'identification des buts ou sous-buts de l'autre, et d'autre part la gestion des interférences (positives et négatives). Cette gestion fait référence à la détection et la

résolution de ces interférences, mais aussi à la création délibérée d'une interférence, par exemple pour faciliter le travail de l'autre.

- Au niveau intermédiaire se situe la coopération dans la planification : la coopération porte ici sur le maintien et l'élaboration d'une représentation commune dont les informations concernent d'une part le procédé, et d'autre part l'activité commune, i.e. les buts et plans des agents ainsi que la répartition des rôles.
- Enfin, au niveau supérieur se situe la métacoopération : là aussi, les agents impliqués construisent et maintiennent des informations ou connaissances à long terme portant sur les codes de communication communs, la compatibilité des représentations pour partager des informations, et enfin des modèles du partenaire.

L'utilisation de ces concepts issus de la coopération entre opérateurs humains pose de nombreux problèmes dès lors que l'on souhaite imiter les activités coopératives entre eux pour définir de nouveaux outils d'aide et mettre en place une « réelle » coopération homme-machine. De nombreuses recherches montrent cependant que les ressources physiques mises à disposition des opérateurs, tels que papier, écrans d'ordinateur, etc. favorisent la création de ces contextes partagés. La modélisation des processus, activités, supports, les constituant doit permettre alors la conception d'environnement de travail coopératif (Zouinar, 1998), et la création d'interface s'adaptant au processus décisionnel humain, (Fuchs-Frothnhofen, et al., 1996). Zouinar indique aussi que ces supports permettant le partage d'informations entre opérateurs, présentent l'avantage de rendre ces informations persistantes et peut améliorer la coopération en évitant la synchronisation des activités verbales qui nécessite la disponibilité des acteurs. Dès lors que le partage d'informations peut être informatisé, la coopération avec une machine semble réalisable.

Le problème consiste alors, en fonction du contexte d'application, à définir le contenu effectif de ce COFOR.

IV. IDENTIFICATION D'UN COFOR DANS LE CADRE DU CONTROLE DE TRAFIC AERIEN

Dans le cadre de nos travaux de recherche portant sur la coopération homme-machine dans le contexte du contrôle de trafic aérien, s'est posé le problème de définir les spécifications d'un espace de travail commun en terme de contenu effectif (représentation des problèmes, formes possibles d'échange d'informations, etc.), et d'autre part les formes possibles des interactions entre différents agents, humains et artificiels, lors de phases coopératives, notamment les phases de négociations. L'espace commun recherché ici devenait en fait le support opérationnel du COFOR entre les contrôleurs et un outil d'aide à la résolution de conflits aériens, (Debernard & al., 2002).

La démarche adoptée était expérimentale et a consisté à « remplacer » le futur outil d'aide par un opérateur humain. Un contrôleur organique et deux contrôleurs radar ont donc assuré la gestion du trafic. Mais à l'inverse de la réalité où les radaristes se partagent de façon verticale les tâches, ces deux contrôleurs ont eu chacun une partie du trafic à gérer, i.e. chaque avion a été affecté de façon statique, et un contrôleur ne pouvait agir que sur les vols qui lui étaient confiés. Le choix de ces affectations a été réalisé de manière à obliger les deux radaristes à coopérer, notamment lors de la résolution de conflit complexe (plus de deux vols impliqués). L'étude a été réalisée avec cinq trinômes de contrôleurs qui ont tous joué le

même exercice, i.e. le même scénario de trafic qui imposait une charge de 40 avions par heure.

Une analyse cognitive à partir des échanges verbaux entre les contrôleurs a été réalisée, (Guiost, Debernard, Poulain, Millot, 2003). Ces échanges verbaux ont été classés en quatre type :

- Des « APPORT SIMPLE » correspondant à un apport simple d'information à l'autre contrôleur ;
- Des « DEMANDE SIMPLE » correspondant à une demande d'information à l'autre contrôleur ;
- Des « DETECTION d'INTERFERENCE » correspond à une différence détectée par l'un des contrôleurs entre son propre référentiel d'informations qu'il s'est construit et le référentiel de l'autre qu'il perçoit (le COFOR) ;
- Enfin, des « RESOLUTION d'INTERFERENCE » correspond aux activités visant à réduire la différence entre le référentiel d'un contrôleur et le référentiel commun et ce sur une information particulière. Plusieurs types de résolution d'interférence sont apparus : l'acceptation, l'imposition ou la négociation.

Les informations échangées par des apports simples, demandes simples, détection et résolution d'interférences sont les suivantes :

- Des données qui peuvent être brutes (niveau de vol d'un avion par exemple) ou interprétées (sa route).
- Des problèmes ou conflits en faisant apparaître les intervenants, les contraintes, le lieu, ou le niveau de vol.
- Des descriptions de stratégie telles que « faire passer tel avion derrière tel autre » ou encore « faire monter ce vol ».
- Des solutions qui sont pour les contrôleurs des instructions envoyées par radio aux pilotes (monter à tel niveau, prendre tel cap, etc.).

Il apparaît donc que les informations échangées sont issues des activités cognitives de résolution de problème telles que Rasmussen les a définies. Ce modèle a donc été par la suite utilisé pour définir le contenu effectif d'un COFOR dans le cadre de l'ATC.

V. VERS UNE MODELISATION DES SYSTEMES COOPERATIFS

L'objectif principal de la coopération homme-machine est d'arriver à automatiser une partie des tâches de l'opérateur humain, mais en tenant compte des « caractéristiques » de ce dernier. Millot (1997) et Lemoine (1998) indique que pour coopérer, les opérateurs doivent disposer d'un Savoir-Faire et d'un Savoir-Coopérer. Le Savoir-Faire comporte deux aspects fortement liés que nous décomposons : un aspect propre à la gestion du procédé par la détection, la résolution et la surveillance des problèmes, et un aspect propre à l'opérateur qui doit gérer ses ressources internes pour être en capacité de traiter l'ensemble des problèmes ou tâches, Figure 2. Ces trois grandes classes d'activités sont à notre avis indissociables les unes des autres, par le partage d'informations et leurs activations mutuelles.

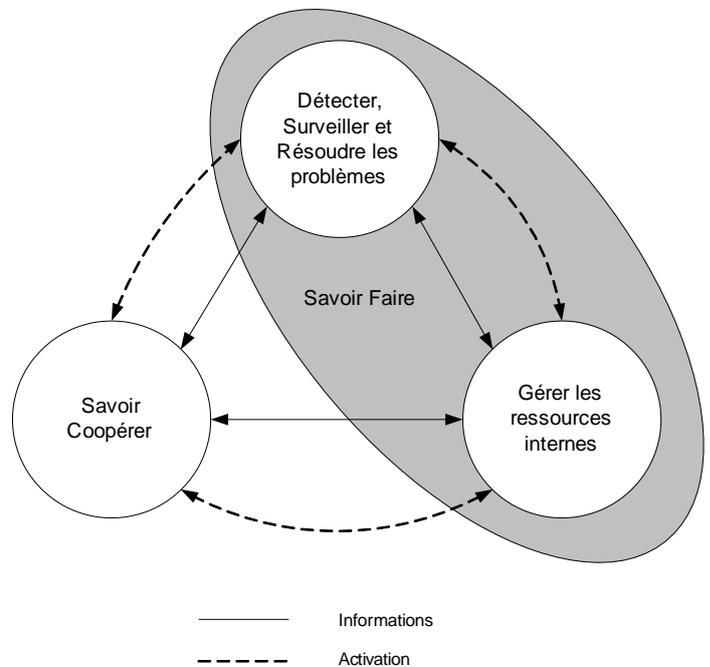


Figure 2 : Savoir-Faire et Savoir-Coopérer chez l'opérateur humain

Pour les classes d'activités liées à la résolution de problème, nous adoptons, à partir de notre expérience dans le contrôle de trafic aérien, un modèle intermédiaire à ceux de Rasmussen et Parasuraman (Parasuraman et al., 2000), modèle composé de 5 activités, Figure 21 :

- une activité d'élaboration d'information conduisant l'opérateur à maintenir dans son référentiel interne des informations brutes, filtrées ou d'ordre symbolique ;
- une activité d'identification permettant de diagnostiquer les problèmes à traiter ;
- une activité de prise de décision schématique conduisant à élaborer des stratégies de résolution de problème ;
- une activité de prise de décision précise conduisant à définir les solutions aux différents problèmes ;
- et enfin, une activité d'exécution des ces solutions.

Informations, problèmes, stratégies et solutions forment le contexte interne à l'opérateur de chacune des tâches à réaliser, et c'est sur cette base qu'il communique.

Sur la base du Savoir-Faire présenté, et dans l'optique de mettre en place des outils réellement coopératifs, c'est-à-dire interagissant avec les opérateurs, nous considérons que le référentiel commun pouvant être « construit » entre deux agents est composé d'un partage des informations issues des activités de résolution de problèmes, et de gestion des ressources internes, notamment les aspects liés à la planification de l'activité, Figure 4, (Debernard, 2006).

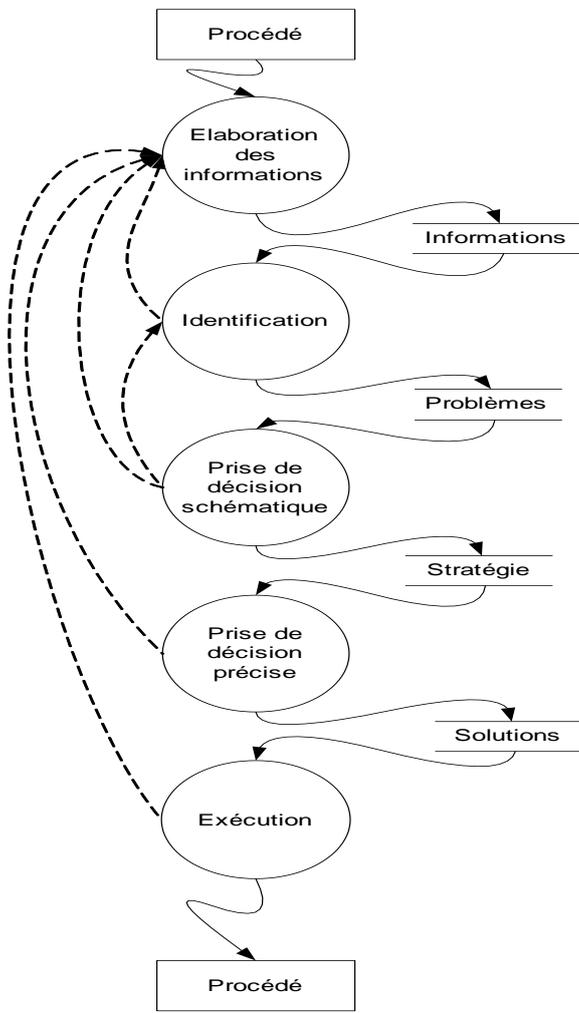


Figure 3 : Modèle de résolution de problème adopté, sur la base du modèle de Rasmussen

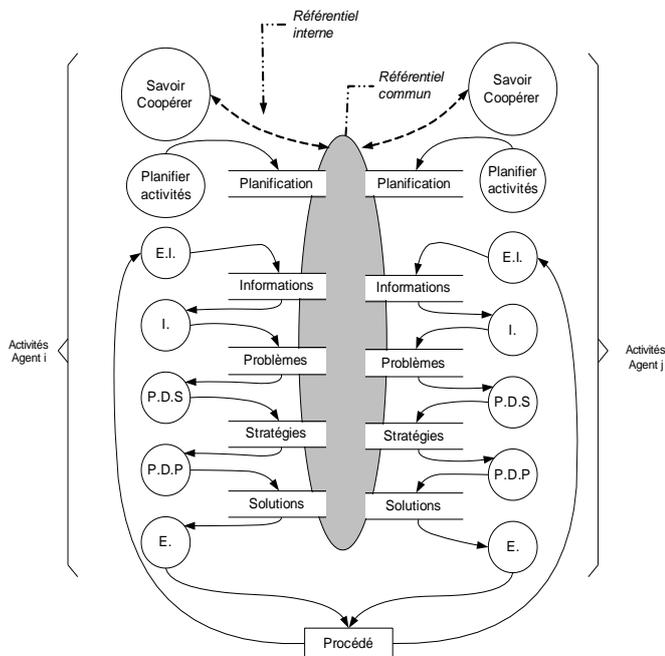


Figure 4 : Définition d'un référentiel commun, (Debernard, 2006)

Bien entendu, ce référentiel commun n'a aucune existence physique. Ce sont les activités des opérateurs, activités coopératives ou non, qui vont permettre à chaque référentiel

interne de s'enrichir et de partager un certain nombre d'informations nécessaires à l'activité collective. La gestion de ces interactions entre les agents est rattachée au Savoir-Coopérer.

Ce Savoir-Coopérer possède, à notre avis, trois fonctions principales, Figure 5, (Debernard, 2006) :

- La gestion des demandes (à l'autre) et des apports (de l'autre) qui gère des informations explicites.
- Une fonction percevant, à partir des actions réalisées par l'autre ou des informations du procédé, les activités de l'autre et sur lesquels l'opérateur peut reconstruire des informations implicites.
- Une fonction de gestion des interférences.

Les deux premières fonctions gèrent deux classes d'informations : des informations de niveau tactique qui concernent celles issues des activités de résolution de problèmes (définition du problème, stratégie de résolution, solution par exemple), et des informations de niveau stratégique qui concernent la planification (tâches à réaliser, attribution d'une fonction, attribution d'un rôle par exemple). La première fonction gère des informations explicites supportées par la communication, alors que pour la seconde, ces informations sont reconstruites par l'opérateur selon le contexte, ce qui fait appel à des mécanismes de reconnaissance d'intention(s) chez l'opérateur qui comprend une part d'incertitude et de croyances (Munduteguy, 2001 ; Tahboub, 2005).

Ces informations peuvent être tout d'abord des apports fournis par l'autre agent, comme par exemple la solution à un problème donné. L'agent, soit les incorpore à son propre référentiel – ce qui peut donner lieu ensuite à un simple accusé de réception – soit peut à ce moment détecter une interférence si cette information ne coïncide pas avec la sienne. Cet apport peut aussi consister en l'exécution d'une fonction ou d'une tâche par l'autre qui prévient l'agent. Là aussi, ce dernier peut incorporer dans son référentiel cette information ou détecter une interférence.

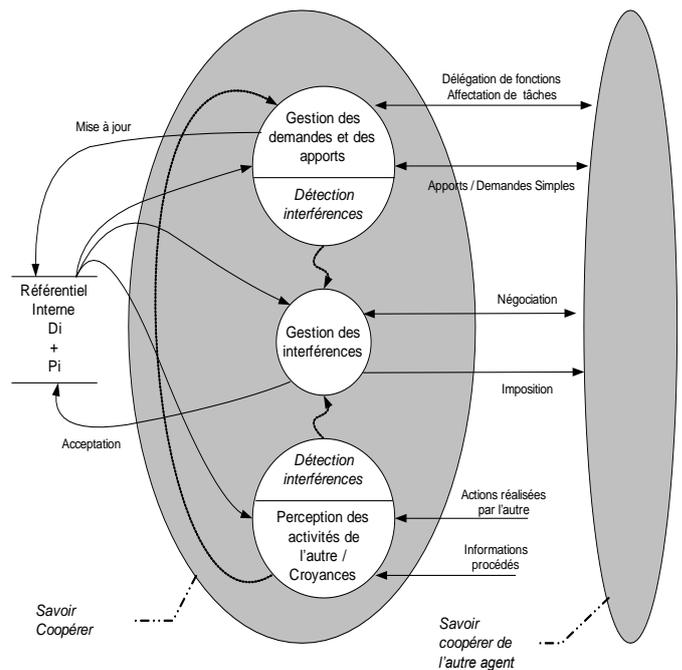


Figure 5 : Fonctions principales du Savoir-Coopérer, (Debernard, 2006)

En second lieu, les informations peuvent consister en des demandes par l'autre agent. Ce peut être une demande simple dans laquelle l'autre agent veut accéder à une information dont il ne dispose pas où qu'il veut vérifier. L'agent, dans le cadre d'une facilitation, peut lui donner cette information s'il la possède, ou bien réaliser les activités nécessaires pour lui fournir. Là aussi, ces demandes peuvent générer des détections d'interférences si elles sont en conflit avec les schémas de pensée de l'agent. Ces demandes peuvent concerner explicitement l'exécution d'une tâche ou d'une ou plusieurs activités liées dans le cadre d'une délégation.

Ces apports et demandes permettent donc la construction et le maintien d'un référentiel commun, mais aussi d'assurer un contrôle mutuel des informations issues des activités de résolution de problème et de la répartition des rôles, tâches et activités. Lors des ces activités coopératives, des interférences peuvent donc apparaître.

La gestion des interférences vise la réduction des différences entre le référentiel interne d'un agent et le référentiel commun. Cette réduction peut passer par trois formes (Lemoine, Debernard, 2000, & 2002) :

- L'acceptation : l'agent accepte l'information fournie par l'autre et qui donnait lieu à l'interférence dans son référentiel interne, comme par exemple une stratégie pour résoudre un problème.
- L'imposition : l'agent oblige l'autre à intégrer l'information dans son référentiel, comme par exemple la solution d'un problème.
- La négociation : les agents engagent une communication pour comprendre l'interférence et cherchent ensuite à la réduire.

La détection et la résolution d'interférences peuvent être vue comme une véritable activité de résolution de problème (au sens du Modèle de Rasmussen) mais ici, les données gérées par l'activité sont des référentiels internes et communs, et les moyens d'action (solutions) sont l'acceptation, l'imposition et la négociation. Leur choix va dépendre de la charge de travail des opérateurs ou de leur disponibilité, l'acceptation (activité de facilitation) et l'imposition étant beaucoup moins coûteuses que la négociation.

La phase de négociation peut passer par une explication portant sur les données issues de l'activité de résolution de problème qui a donné lieu à l'interférence (informations élaborées, définition du problème, stratégie et/ou solution), ce qui conduit à un ajustement des représentations individuelles (Karsenty, 2000 ; Karsenty, Brézillon, 1995). Le processus de négociation passe en général par la formulation d'une proposition qui est analysée par l'autre agent qui accepte ou refuse cette proposition, ou bien encore propose une alternative (Wangermann & al., 1998). Pour Wang (et al., 2002), cette négociation revient à échanger des contraintes et à chercher à les satisfaire.

VI. CONCLUSION

Notre démarche de recherche d'opérationnalisation des concepts liés à la coopération entre agents vise l'obtention d'une coopération la plus efficace possible entre opérateur et machine, notamment par le maintien de la conscience de la situation à gérer, et par la minimisation des interférences possibles entre les agents humains et artificiels. Néanmoins, la mise en place d'une coopération homme-machine présente pour l'opérateur humain un coût d'utilisation, d'autant plus

important si les tâches sont fortement décomposées et si le nombre d'interactions possibles avec le système technique est important. Les caractéristiques techniques du procédé à piloter doivent alors être prises en compte pour choisir la forme de coopération à mettre en place. Les caractéristiques à prendre notamment en compte concernent la dynamique du procédé et les contraintes temporelles d'exécution des tâches.

Si ces dernières sont fortes, les opérateurs ne pourront gérer de nombreuses interactions avec le système et une répartition dynamique de tâches (complètes) paraît plus adaptée. Il faut néanmoins que le procédé présente des situations multitâches à gérer. Au contraire, si ces contraintes temporelles sont moins importantes, il sera alors possible de concevoir un système permettant la mise en place d'interactions plus importantes, comme la délégation de tâches ou plutôt de fonctions.

Dans le cadre d'une coopération homme-homme, ces interactions se développent de manière naturelle par des activités verbales et permettent la construction et le maintien d'un référentiel commun virtuel. Dans le cadre de la coopération homme-machine, cette virtualité de ces informations communes n'est pas acceptable, et doit être opérationnalisée en fonction du contexte d'application, dans un support que nous avons appelé Espace de Travail Commun, et que nous avons mis en œuvre et évalué expérimentalement avec des contrôleurs professionnels (Guiost et al. 2004a, 2004b, 2006).

VII. REFERENCES

- Debernard S., Hoc J.-M., 2003. Conception de la répartition dynamique d'activités entre opérateur humain et machine dans le contrôle de trafic aérien. Leçons tirées d'une collaboration pluridisciplinaire. JESA, Analyse et commande des systèmes dynamiques, Vol. 37, N°2/2003, pp.187-212
- Rome F., Cabon P., Favresse A., Mollard R., Figarol S., Hasquenoph B., 2006. Human Factors Issues of TCAS: a Simulation Study. Proceedings of International Conference on Human-Computer Interaction in Aeronautics (HCI - Aero 2006), Seattle, Washington, 20-22 september, 2006
- Muir B.M., 1987. Trust between humans and machines, and the design of decision aids. International Journal of Man-Machine Studies. Nr 27. pp 527-539. Academic Press. 1987.
- Rajaonah B., 2006. Rôle de la confiance de l'opérateur dans son interaction avec une machine autonome sur la coopération homme-machine. Thèse de doctorat de l'Université Paris 8. 27 février 2006
- Barr S.H., Sharda R., 1997. Effectiveness of decision support systems: development or reliance effect? Decision Support Systems, Volume 21, Issue 2, October 1997, pp. 133-146
- Hoc J.M., 2000. From human-machine interaction to human-machine cooperation. Ergonomics, 2000, Vol . 43, N° 7, pp. 833-843
- Hoc J.M., 2001. Towards a cognitive approach to human-machine cooperation in dynamic situations. International Journal of Human-Computer Studies, Volume 54, Issue 4, April 2001, pp.509-540
- Millot P., 1988. Supervision des procédés automatisés. Edition HERMES. Paris. Décembre 1988.
- Skjerve A.B.M., Skraaning G., 2004. The quality of human-automation cooperation in human-system interface for nuclear power plants. International Journal of Human-Computer Studies, Volume 61, Issue 5, November 2004, pp. 649-677

- Hollnagel E., Bye A., 2000. Principles for modelling function allocation. *International Journal of Human-Computer Studies*, Volume 52, Issue 2, February 2000, pp. 253-265
- Rushby J., 2002. Using model checking to help discover mode confusions and other automation surprises. *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 75, Issue 2, February 2002, pp. 167-177
- Hoc J.M., 1999. Conditions et enjeux de la coopération homme-machine dans le cadre de la fiabilité des systèmes. In J.G. Ganascia Ed., *Sécurité et cognition* pp. 147-164, . Paris : Hermès, 1999.
- Karsenty L., 2000. Cooperative Work: The Role of Explanation in Creating a Shared Problem Representation. *Le Travail Humain*, 63(4), pp. 289-309, 2000.
- Schmidt K., 1991. Cooperative Work. A Conceptual Framework. in Jens Rasmussen, Berndt Brehmer, and Jacques Leplat (eds.): *Distributed Decision Making*.
- Parasuraman R., 1997. Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors*, 39, pp. 230-253, 1997
- Rognin L., Blanquart J. -P., 2001. Human communication, mutual awareness and system dependability. Lessons learnt from air-traffic control field studies. *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 71, Issue 3, March 2001, pp. 327-336
- Endsley M. R., 1997. Situation awareness: The future of the aviation system. In *Proceedings of the Saab 60th Anniversary Symposium*. Linköping, Sweden: Saab Aircraft, 1997.
- Endsley, M.R. 1995. Toward a theory of situation awareness in dynamic systems. *Human Factors*, 37, pp. 32-64, 1995
- Mogford R.H., 1997. Mental Models and Situation Awareness in Air Traffic Control. *The International Journal of Aviation Psychology*, 7, pp. 331-341, 1997
- Westrum R., 1991. Automation, information and consciousness in air traffic control. NATO ASI series. Vol. F73. *Automation and Systems Issues in Air Traffic Control*. pp 367-380.
- Endsley M. R., Jones, D. G., 1996. Situation awareness in air traffic control. *Proceedings of the First International Conference on Applied Ergonomics*. Istanbul, Turkey, May, 21-24, 1996.
- Niessen C., Eyferth K., 2001. A model of the air traffic controller's picture. *Safety Science*, Volume 37, Issues 2-3, March 2001, pp. 187-202
- Stanton N. A., Chambers P. R. G., Piggott J., 2001. Situational awareness and safety. *Safety Science*, Volume 39, Issue 3, December 2001, pp. 189-204
- Rasmussen J., 1980. The Human as a system component . in "H.T. SMITH and T.R.G. GREEN (Editors)". *Human Interaction with computer*. London Academic Press. 1980
- Rasmussen J., 1983. Skills, rules and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*. SMC13, Nr 3. May/June 1983.
- Hoc J.M., Amalberti R., 1995. Diagnosis: Some theoretical questions raised by applied research. *Current Psychology of Cognition*, 14, pp. 73-101, 1995
- Leplat, J., 1991. Organization of activity in collective tasks. In J. Rasmussen, B. Brehmer and J. Leplat (1991). *Distributed decision making: cognitive models for cooperative work*. John Wiley and Sons Ltd, pp. 51-73.
- Salas E., Prince C., 1995. Situation Awareness in team performance. *Human Factors*, Volume 37(1), pp 123-136
- Zouinar M., 1998. Modélisation des processus de constitution du contexte partagé pour l'analyse et la conception des systèmes coopératifs. Actes de la conférence "Ingénierie des connaissances 98" (IC'98), 13-15 mai, Pont-à-Mousson, France
- Fuchs-Frothnhofen P., Hartmann E.A., Brandt D., Weydandt D., 1996. Designing human-machine interfaces to match the user's mental models. *Control Engineering Practice*, Volume 4, Issue 1, January 1996, pp 13-18
- Debernard S., Cathelain S., Crévits I., Poulain T., 2002. AMANDA Project : Delegation of tasks in the air-traffic control domain. In M. Blay-Fornarino, A-M. Pinna-Dery, K. Schmidt, P. Zaraté (Ed.), *Cooperative Systems design*. pp 173-190. IOS Press. (COOP'2002)
- Guiost B., Debernard S., Poulain T., Millot P., 2003. Evaluation of Human-Human Cooperation to design a support tool for Air-Traffic Controller. 22nd European Conference on Human Decision Making and Manual Control, Proceedings of EAM 2003, University of Linköping, Swedish, June 2-4 2003 (pp 167-174).
- Millot P., 1997. La supervision et la Coopération Homme-Machine dans les grands systèmes industriels ou de transports. Colloque Sécurité et Cognition du GIS Sciences de la cognition des 16 et 17 septembre 1997 : Sécurité et Cognition. Chapitre 8. Edition Hermès, Paris 1999
- Lemoine M-P., 1998. Coopération homme-machine dans les procédés complexes. Thèse de doctorat de l'Université de Valenciennes. 2 juillet 1998
- Parasuraman R., Sheridan T.B., Wickens C.D., 2000. A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation. *IEEE Transactions on System, Man and Cybernetics*, Vol. 30, N° 3. (May 2000), pp. 286-297.
- Debernard S., 2006. Coopération Homme-Machine et Répartition Dynamique de Tâches - Application au Contrôle de Trafic Aérien. Mémoire présenté à l'Université de Valenciennes et du Hainaut Cambrésis pour l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches. Décembre 2006
- Munduteguy C., 2001. Des représentations singulières d'une situation d'interaction aux prédictions d'action convergentes. Actes des journées en psychologie ergonomique, EPIQUE 2001, Nantes, 29-30 octobre 2001
- Tahboub K.A., 2005. A novel human-machine interaction architecture-intention recognition approach. 16th IFAC World Congress, Prague, Czech Republic, July 4-8, 2005
- Lemoine M-P., Debernard S., 2000. A Common Work Space to Support the Air Traffic Control. 7th IFAC Symposium on Automated Systems Based on Human Skill, Aachen Germany, June 15-17 2000.
- Pacaux-Lemoine M-P., Debernard S., 2002. Common work space for human-machine cooperation in air traffic control. *Control Engineering Practice*. 10 (5) (2002) pp. 571-576.
- Karsenty L., 2000. Cooperative Work: The Role of Explanation in Creating a Shared Problem Representation. *Le Travail Humain*, 63(4), pp. 289-309, 2000.
- Karsenty L., Brézillon P. J., 1995. Cooperative problem solving and explanation. *Expert Systems with Applications*, Volume 8, Issue 4, 1995, pp. 445-462
- Wangermann J.P., Stengel R.P., 1998. Principled negotiation between intelligent agents: a model for air traffic management.

Artificial Intelligence in Engineering, Volume 12, Issue 3, July 1998, pp. 177-187

Wang H., Liao S., Lejian Liao L. 2002. Modeling constraint-based negotiating agents. Decision Support Systems, Volume 33, Issue 2, June 2002, pp. 201-217

Guiost B., Debernard S., Poulain T., Millot P., 2004a. Evaluation of a new atc support system based on human machine task delegation. IFAC - HMS 2004, Atlanta, GA – USA, September, 7 - 9, 2004

Guiost B., Debernard S., Poulain T., Millot P., 2004b. Supporting Air-Traffic Controllers By Delegating Tasks. In IEEE-SMC 2004, The Hague, The Netherlands, pp 164-169, Septembre.

Guiost B., Debernard S., Poulain T., Millot P., 2006. Task Allocation In Air Traffic Control Involving A Common Workspace. And A Cooperative Support System, in IFAC ASBHS 2006, Nancy, France, Mai