



HAL
open science

Approche cognitive des systèmes d'aide à la décision distribuée

Frédéric Cadier, Gilles Coppin, Philippe Lenca, Gabriel Marchalot

► **To cite this version:**

Frédéric Cadier, Gilles Coppin, Philippe Lenca, Gabriel Marchalot. Approche cognitive des systèmes d'aide à la décision distribuée. MOSIM'06 : 6ème conférence francophone de modélisation et simulation, Apr 2006, Rabat, Maroc. hal-01893282

HAL Id: hal-01893282

<https://hal.science/hal-01893282>

Submitted on 11 Oct 2018

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.

APPROCHE COGNITIVE DES SYSTÈMES D'AIDE À LA DÉCISION DISTRIBUÉE

Frédéric Cadier ^{a,b}, Gilles Coppin ^a, Philippe Lenca ^a, Gabriel Marchalot ^b

^a GET/ENST Bretagne

Département LUSSE - UMR TAMCIC 2872
Technopôle Brest-Iroise - CS 83818
29283 Brest, France

[\[prénom\].\[nom\]@enst-bretagne.fr](mailto:[prénom].[nom]@enst-bretagne.fr)

^b THALES

Département Systèmes Aéroportés
10, avenue de la 1ère DFL
29283 Brest, France

gabriel.marchalot@fr.thalesgroup.com

RÉSUMÉ : *Les situations de décision distribuée sont généralement caractérisées par l'existence de différents points de vue entre décideurs, et de différentes dynamiques temporelles au sein du système, ce qui renforce l'importance de l'étude des flux de données entre décideurs, et fonde la plupart des approches classiques des DDSS. Nous proposons ici de ne plus limiter l'analyse de la situation (et par conséquent le rôle d'un DDSS) aux flux d'informations, mais d'y intégrer une modélisation cognitive de chaque décideur, et d'utiliser ces modélisations pour mieux analyser et par suite contrôler les informations réellement pertinentes au sein des flux échangés dans le système. Nous appuyons notre démarche sur l'étude d'un cas concret relatif aux décisions d'équipages de Surveillance Maritime.*

MOTS-CLÉS : *Décision distribuée, Naturalistic Decision Making, Modèles cognitifs pour la décision, Systèmes multi-opérateurs de surveillance.*

1. INTRODUCTION

Dans les approches classiques en sciences cognitives, une décision est une activité de traitement de l'information (Lindsay & Norman 1980). Cette activité est caractérisée par les processus qui la composent, les informations traitées, les flux entre les différents processus, et un résultat final. Ce dernier peut être une information destinée à d'autres activités cognitives, ou à la mise en œuvre d'une action.

Nous nous intéressons dans cet article à la décision distribuée, ou encore collective, c'est-à-dire à des situations impliquant plusieurs agents devant coopérer. Notre réflexion s'appuie sur un terrain applicatif pour lequel la mise au point d'un système d'aide à la décision distribuée doit améliorer les performances globales de l'équipe.

1.1. Décision distribuée

L'aspect distribué de la décision fait référence à des caractéristiques spatiales, temporelles et/ou fonctionnelles.

La décision peut être distribuée de façon spatiale en référence aux différentes localisations des agents décideurs, ce qui leur confère usuellement des points de vues différents sur le monde qui les entoure. Cette séparation, éventuellement géographique, n'empêche pas la coopération des agents au moyen d'une mise en réseau.

La caractéristique temporelle de la décision distribuée peut être considérée comme extrinsèque et indiquer que l'environnement est dynamique et changeant : les informations traitées n'ont donc qu'une validité limitée dans le temps, et les processus doivent gérer ces évolutions. Cette caractéristique est également intrinsèque lorsque l'on prend en compte la dynamique de convergence (ou d'établissement) d'une décision collective prenant en compte les décisions individuelles des agents décideurs de l'équipe.

L'aspect distribué de la décision peut enfin être considérée du point de vue fonctionnel, au sens où les agents peuvent se voir assigner des rôles différents, particulièrement en fonction de leurs compétences. On s'intéresse particulièrement aux situations où les décideurs sont experts de leurs domaines. En phase de décision, ils procèdent ainsi principalement par identification de situations prototypiques (Rosch & Lloyd 1978). Ces situations sont supposées être des structures stables et stockées en mémoire à long terme (Montgomery 1983). Elles peuvent donc nous être accessibles par un processus d'apprentissage *ad-hoc*.

Les trois dimensions de la décision distribuée sont étroitement liées. La distribution spatiale, qui permet d'obtenir des points de vue différents, est ainsi très liée à la distribution fonctionnelle qui suppose que les différents agents perçoivent des données pertinentes pour leurs compétences. Notons que même lorsque ces compétences sont identiques, la distribution spatiale peut s'avérer

nécessaire, par exemple pour des raisons de sécurité, ou pour s'assurer que la dynamique de l'environnement est correctement suivie, en offrant aux différents individus la possibilité de gérer différentes échelles temporelles. La valeur de n'importe quelle donnée peut être remise en cause à tout moment (panne ou disparition de l'agent responsable des données, évolution rapide de la valeur).

C'est le cas de notre terrain applicatif, la Surveillance Maritime (identification d'objets en mer) où des informations de type sonar, radar, etc. sont nécessaires. Chaque source d'information ne peut suffire seule à la tâche d'identification (ou très rarement) et la décision nécessite la mise en œuvre de compétences variées. La décision, c.-à-d. l'identification d'un objet, nécessite ainsi la coopération des différents agents qui peuvent être spatialement éloignés (par exemple une équipe au sol, une autre en mer et une troisième dans un avion). Les échanges (informations, décisions, requêtes) entre les différents agents sont donc cruciaux au sein du processus.

La situation précédente est caractérisée par le fait que les individus ont un but commun et la volonté de travailler ensemble. On parlera alors de travail coopératif et d'équipe au lieu de groupe. Ce mode de travail n'exclut pas différents degrés de liberté et une structure hiérarchique peut être présente. Elle peut même s'avérer utile, par exemple lorsque les différents agents n'arrivent pas à une décision collective alors même que ne pas décider est pire que prendre une mauvaise décision, en responsabilisant l'un des équipiers, et en lui donnant le pouvoir de "trancher". On cherche ainsi à s'approcher au mieux d'un processus dit *Anytime*, c.-à-d. capable de fournir une décision à tout instant.

Dans cet article, nous proposons une analyse de situation réelle, des réflexions méthodologiques, et des éléments de spécification d'un système d'aide à la décision distribuée.

1.2 Positionnement

Dans les systèmes d'aide à la décision distribuée (*Distributed Decision Support Systems – DDSS*) actuels, l'accent est généralement mis sur la structuration du processus global en différentes étapes, et on ignore le plus souvent les processus individuels pour travailler directement sur l'agrégation ou la combinaison des résultats individuels (Ruta & Grabys 2000).

Nous proposons d'intégrer des modèles cognitifs individuels à l'étude de la décision distribuée afin d'identifier les articulations de la coopération en termes d'informations échangées par les individus, et de l'apport aux individus des représentations qu'ils se font des autres et de l'équipe. Notre approche est résolument anthropocentrée. Maintenir les experts dans la boucle de coopération entre les individus, via des systèmes artificiels, représente une garantie face à la complexité des

problèmes traités (Bisdorff 1999, Barthélemy, Bisdorff & Coppin 2002) : dans le prolongement de Simon (Simon 1957) à propos de la collaboration entre l'intelligence artificielle et la recherche opérationnelle, nous pensons que "trois têtes valent mieux que deux" (Lenca 2002), la troisième tête étant l'Homme.

Dans cet article, nous nous intéressons ainsi particulièrement aux représentations individuelles. Nous identifierons par la suite les éléments qu'un DDSS devrait implémenter pour favoriser en premier lieu les processus individuels impliqués dans la construction d'une décision distribuée, et dans un second lieu la décision distribuée elle-même.

1.3 Un cas d'étude : la décision au sein d'un équipage de patrouille maritime

Les équipages en charge de la surveillance maritime (patrouille maritime - PATMAR par la suite) sont constitués d'opérateurs aux compétences diverses, ayant tous des vues du monde différentes par le biais d'instruments spécialisés. Ils coopèrent pour atteindre un but commun dicté par une mission qui leur a été affectée. Une hiérarchie y est généralement instanciée, dans le but de clairement répartir les rôles et les responsabilités, et d'éviter au processus décisionnel de s'enrayer, en cas de désaccord.

Les opérateurs sont normalement au nombre de quatre : trois opérateurs capteurs (détection d'anomalie magnétique - ESM -, imagerie - ISAR/FLIR -, analyse acoustique - SONAR -) et un chef d'équipage, le coordinateur tactique (TACCO). Ils embarquent à bord d'avions de type Atlantique2 (dans le cas de l'appareil Casa 235, les équipiers sont au nombre de six) pour des missions militaires et civiles aussi variées que la surveillance de navire de surface ou de sous-marins, la lutte anti-pollution ou la recherche et le secours en mer. Ils peuvent par ailleurs coordonner leurs actions avec des équipes de professionnels au sol ou en mer. Les opérations civiles de sauvetage peuvent également impliquer des particuliers se trouvant en mer.

Toutes ces missions ont généralement comme tâche récurrente l'*identification de piste*. Cette identification consiste en l'étiquetage et en la classification d'un écho radar (que l'on nomme piste à partir du moment où il est traité), dans le but de déterminer sa nature (sous-marin, navire de surface, commercial ou de plaisance, etc.), son appartenance (ami, ennemi ou neutre), sa classe (frégate, etc.) (cf. figure 1).

Au regard de la nature de l'équipage et de la tâche, l'identification de piste est une activité de décision distribuée telle que nous l'avons précisé précédemment. La finalité de l'identification est de fournir une classification de la piste qui peut, si le contexte de la mission le



Figure 1: Les missions de la patrouille maritime

requiert, être d'une grande précision. Certaines identifications peuvent ainsi fournir le nom du navire, et, par conséquent toutes sortes d'informations liées, notamment via la coopération avec des agents logiciels (accès à des bases de données, agents décisionnels automatisés...).

Le contexte de ces décisions est par ailleurs souvent caractérisé par des conditions d'incertitude, de temps limité ou par le fait que le coût des erreurs de décision n'est pas symétrique. Dans le cas militaire, identifier un navire ami comme un ennemi déclenche ce que l'on appelle désormais classiquement un "tir ami". L'erreur opposée n'a pas le même coût. De même dans le cas de sauvetage en mer, ne pas identifier qu'un navire est en perdition ne déclenche pas l'opération de secours, alors même que des personnes sont en danger. L'erreur opposée, encore une fois, n'a pas les mêmes conséquences. Cela provoque chez les opérateurs, conscients des conséquences éventuelles de leurs décisions, un niveau de stress important. Par ailleurs, les missions de surveillance peuvent être longues (jusqu'à 8 heures) et la fatigue peut devenir une source importante d'erreurs aux conséquences dramatiques, particulièrement si une surcharge cognitive survient. Deux exemples célèbres dans un contexte similaire illustrent tristement ces diverses situations : destruction d'un avion civile par la marine nord-américaine (Klein 1998, chap.6), et percussioin en plein vol de deux avions civils (Otelli 2003).

Une bonne coopération entre les agents humains et logiciels, en répartissant les tâches convenablement entre eux, et en limitant les situations de surcharge cognitive, peut ainsi permettre de mieux traiter les informations indispensables. La répartition et la planification de tâches ont été particulièrement étudiés dans le contrôle aérien, par exemple (Vanderhaegen, Crévits, Debernard & Millot 1994) et (Crévits 1996). L'assistance aux opérateurs dans la patrouille maritime doit ainsi permettre d'améliorer la qualité des décisions prises par l'équipage.

Dans cette tâche d'identification de piste, le rôle d'un opérateur capteur est de proposer, à l'aide de ses instru-

ments et de la lecture qu'il peut en faire, une première classification de la piste, qui constitue une "décision individuelle / intermédiaire" dans le processus d'équipe. Le rôle du TACCO est de faire la synthèse des informations fournies par les opérateurs capteurs, pour établir l'identification globale de la piste, qui constitue la "décision unifiée".

2. MODÉLISATION

L'approche cognitive de l'étude de la décision individuelle ou distribuée est un champ d'étude vaste, et les modèles y sont nombreux, voir par exemple (Lipshitz 1993). Dans un premier temps, donc, nous présentons deux modèles qui sont pertinents pour notre approche, et sur lesquels nous appuyons la construction des représentations mentales présentées au dernier paragraphe de cette section.

Le premier modèle, appelé RPD - *Recognition-Primed Decision* - (Klein 1989, Klein 1998, chap.3) sera notre support de description pour expliquer les processus cognitifs mis en œuvre par les différents coéquipiers. Le second est un modèle de mémoire à long terme (MLT), appelé MINERVA2 (Hintzman 1988), permettant de justifier notre description des différentes représentations mentales que chaque coéquipier manipule lors des processus décisionnels.

2.1 Recognition Primed Decision

Historiquement, ce modèle est l'un des premiers du domaine de la Prise de Décision Écologique (*Naturalistic Decision Making*). Il stipule alors ce qui deviendra la base théorique de nombreux autres travaux, y compris le nôtre : dans une situation de *stress*, d'*incertitude*, de manque de temps ou, simplement, qui ne présente pas la nécessité de la recherche exhaustive d'un choix optimal faisant suite à un raisonnement rationnel (Simon 1957), explicite et analytique, un décideur *expert* décide par identification de la situation, et reconnaissance de sa *typicité*, à laquelle il associe un comportement appris par l'expérience. Notons que les situations étudiées, et particulièrement la dynamique, rendent illusoire la recherche d'une "solution optimale".

Le modèle présenté figure 2 est une variation dite de "diagnostic" et correspond à une version allégée du modèle complet de Klein, qui ne décrit pas la façon dont la course d'actions peut être mentalement simulée, avant d'être implémentée.

Dans la première phase du processus, l'individu perçoit une situation et établit si elle lui est familière ou non. Plus précisément, il s'agit d'un processus de *recouvrement* en MLT (Richard 2004). L'individu perçoit des stimuli, et tente de construire une compréhension *satisfaisante* de la situation, grâce à un ensemble d'événements inscrits en mémoire à long terme (on parle de *concepts* ou de *prototypes*), et activés grâce au contexte.

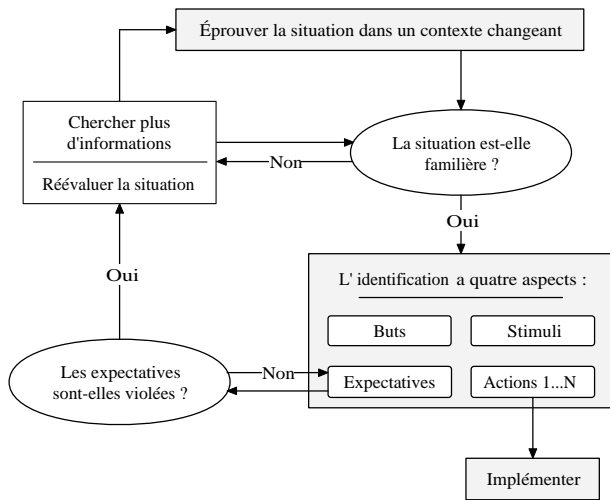


Figure 2: Recognition-Primed Decision Model

Si le recouvrement n'est pas probant, il tente alors d'affiner sa perception de la situation par une recherche proactive de stimuli supplémentaires, sur des dimensions d'observation qu'il n'avait pas utilisées de prime abord. Si le recouvrement est probant, il considère la situation comme familière et récupère, en mémoire de travail (MT), la *référence* de ce(s) souvenir(s). La recherche de structures de dominance est également un exemple typique de modèle reposant sur les considérations précédentes (Montgomery 1983). Ces mêmes structures pouvant s'exprimer sous la forme de règles de production, nous avons développé plusieurs approches, principalement basées sur l'*Heuristique de la Base Mobile* (Barthélemy & Mullet 1994), permettant de les apprendre (Lenca 1997, Le Saux 2000).

Dans la deuxième phase du processus, la référence recouverte depuis la MLT est "décortiquée". Elle permet ainsi d'identifier les *stimuli critiques* que le décideur devra continuer d'observer pour, d'après son expérience, correctement percevoir la situation. Des *expectatives* sont également définies : elles représentent des valeurs attendues de certains des stimuli critiques, et permettent au décideur de confirmer, ou d'infirmer, son identification de la situation. De plus, même si le décideur dont on décrit le processus décisionnel possède généralement un ou plusieurs buts génériques dictés, par exemple, par une mission, la référence recouverte lui permet de définir des *buts plausibles* adaptés à la situation particulière qu'il perçoit. Le dernier point concerne la définition d'une *course d'actions* (*Course of actions* – COA) pour le but le plus plausible. Cette COA ne représente le résultat de la décision que dans le cas où celle-ci nécessite une action sur l'environnement (finalité pragmatique). Ainsi, dans le cas où la décision aboutit à une production d'information (finalité épistémique), nous considérerons qu'il n'y a pas

de COA dans la référence recouverte.

Enfin, s'il n'y a pas de violations d'expectatives, et que la décision a une finalité pragmatique, l'exécution de la COA peut débuter. Nous considérons dans cet article les décisions à finalité épistémique.

2.2 Modèle de mémoire à long terme

La décision telle que décrite par l'approche RPD s'appuie principalement sur l'identification et l'extraction depuis la mémoire à long terme de situations de référence pertinentes aux yeux du décideur. Mais l'approche RPD ne fournit pas d'indication directe sur les processus de recouvrement mis en jeu. Il semble donc nécessaire de compléter l'approche générale RPD par un modèle de mémoire qui puisse préciser les opérations élémentaires d'extraction de références.

Le modèle MINERVA2 s'inscrit dans le cadre descriptif du système mémoriel mettant en jeu une mémoire de travail et une mémoire à long terme. En tant que modèle à *traces multiples*, MINERVA2 considère que chaque expérience épisodique est représentée en MLT par sa propre *trace mnésique*. Ainsi, on peut voir la MLT comme un (très) grand ensemble de traces, construites dans divers contextes. Ces contextes font d'ailleurs partie des traces, et cela permet aisément de s'abstraire de celles dont le contexte est trop éloigné de celui de la situation.

Il est important de noter que ce modèle stipule implicitement que le processus de recouvrement des références en mémoire se fait par *associations* (*Pattern-Matching*). Aucune structuration de la mémoire (en réseaux sémantiques, par exemple) n'y est ainsi proposée, et Hintzman place ainsi ce processus de recouvrement au *niveau des automatismes* de la hiérarchie SRK (*Signal - Rules - Knowledge*) de Rasmussen (Rasmussen 1983). Ce niveau étant associé à un comportement d'expert, le modèle MINERVA2 s'avère être bien adapté aux problématiques que nous soulevons, et auxquelles nous voulons appliquer le modèle RPD.

Le recouvrement en mémoire n'est pas instantané, mais apparaît toujours en réponse à un(des) stimuli provenant de la MT. On suppose ainsi qu'un *événement* active toutes les traces en parallèle. Celles-ci répondent ensemble pour générer une *référence* qui, venant de la MLT, vient se placer en MT (cf. figure 3). Cette génération s'effectue, dans le modèle, par sommation des différentes traces, pondérées par des *activations*, calculées de façon à favoriser les traces les plus *similaires* à l'événement.

2.3 Nature des représentations

Les représentations mentales que nous décrivons dans ce document ne sont qu'une connaissance, à un instant *t*, des compétences, des rôles et des informations manipulées par

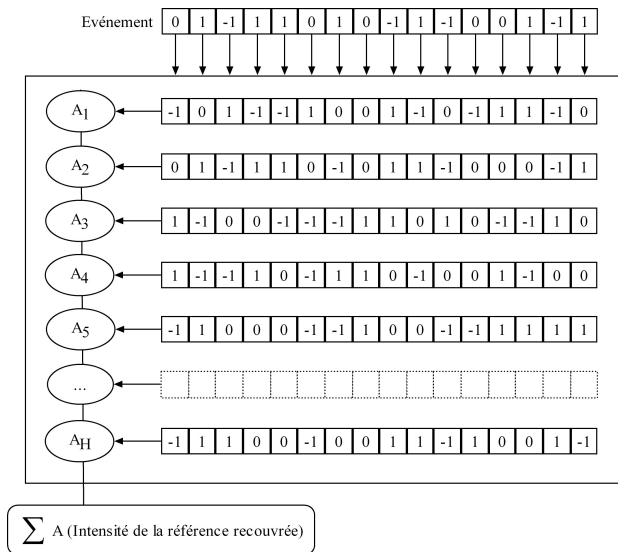


Figure 3: Activation des traces par un événement (les A_i représentent les degrés d'activation de chaque trace par l'événement perçu).

les individus. Elles doivent permettre de répondre à des questions concernant l'aide qu'un individu peut apporter aux autres, et celles qu'il peut en attendre.

Ainsi, les représentations ne contiennent aucune information sur la nature des processus mis en œuvre par les différents individus. Chaque coéquipier sait qu'un autre peut faire tel ou tel traitement sur telle ou telle dimension du problème, mais il ne sait, en revanche, pas comment ces traitements sont effectués, principalement parce que les domaines d'expertise sont différents. La responsabilité de ces traitements incombe au coéquipier concerné, et au DDSS devant assister l'équipe. Ainsi, une formalisation des processus individuels est requise pour le DDSS.

Il est également important de préciser notre position quant à la distinction pouvant être faite entre le rôle et les compétences d'un individu : nous considérons que le rôle attribué à un individu à un instant donné, lui fait mettre en œuvre un sous-ensemble de ses compétences. Ainsi, en cas de besoins particuliers (urgence, disparition d'un agent...), un individu peut mobiliser des compétences qui sortent du cadre de son rôle. Malgré cela, dans la représentation que nous introduisons, nous considérons que les rôles ont été judicieusement choisis. C'est notamment le cas dans notre cadre applicatif, où la constitution de l'équipe repose sur l'expertise du TACCO, dans la mesure où celui-ci a une grande liberté dans le choix de ses coéquipiers. Par la suite, nous considérerons cette hypothèse vérifiée.

Ainsi, la représentation qu'un individu se fait de lui-même contient :

son rôle : liste des dimensions d'observation qu'il maîtrise, et pour lesquelles il est capable de fournir des valeurs,

ses stimuli : valeurs des dimensions d'observation qu'il perçoit directement de son environnement,

ses expectatives : valeurs des dimensions d'observation qu'il s'attend à observer,

Notons que la liste des dimensions possibles d'observation des objets peut être plus grande que la liste des dimensions maîtrisées par l'individu, et donc nécessiter une coopération avec un coéquipier dont les dimensions maîtrisées permettront de compléter l'analyse de la scène. L'intérêt du DDSS réside principalement dans sa capacité à favoriser cette coopération.

La représentation qu'un individu se fait d'un autre individu se résume alors simplement en la liste des dimensions que ce coéquipier maîtrise, c.-à-d. son rôle.

D'après le modèle RPD sur lequel nous nous appuyons, nous stipulons que la liste des dimensions est établie lorsque la situation est éprouvée, soit grâce à l'expérience du décideur, soit grâce à une recherche d'informations. Cette recherche est notamment nécessaire lorsque l'activation de la référence recouvrée est en dessous d'un seuil de satisfaction, propre à l'utilisateur.

3. DÉCISION DISTRIBUÉE : RÉFLEXIONS MÉTHODOLOGIQUES ET MISE EN ŒUVRE

Nous abordons principalement la question : "comment la présence de coéquipiers influence-t-elle le processus décisionnel d'un individu ?". En conséquence, l'organisation sociale et la communication au sein du groupe sont deux facteurs importants à étudier. Ils peuvent permettre d'expliquer les différences de fonctionnement de deux groupes attelés à la même tâche (Hutchins 1991). Nous nous intéressons particulièrement ici à l'analyse des flux entre coéquipiers.

3.1 Processus de décision au sein de la PATMAR

Décider, c'est trouver une solution commune répondant aux objectifs de la mission, c.-à-d. identifier des pistes. La solution peut être obtenue par convergence des différents points de vue (en ce sens elle devient commune), ou encore par décision du TACCO, en cas de désaccord. Dans le premier cas, la décision est commune et consensuelle. Dans le second, elle est "dictatoriale". Le TACCO peut évidemment avoir un rôle d'organisateur, de négociateur ou de médiateur en favorisant, voire en exigeant, un mode coopératif.

Une solution est obtenue en affectant des valeurs à des variables permettant d'identifier un objet du monde,

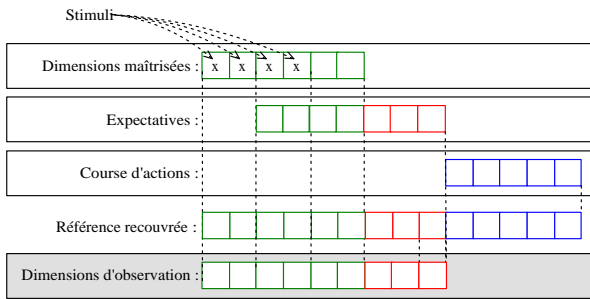


Figure 4: Représentation des informations d'un agent i . (Les croix indiquent les stimuli initiaux permettant un rappel en MLT)

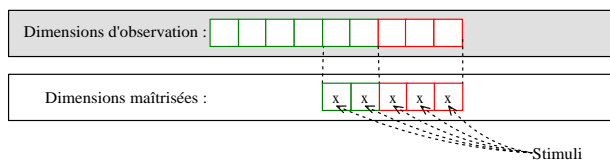


Figure 5: Représentation des informations d'un agent j vu par un agent i . (Les croix indiquent les stimuli initiaux permettant un rappel en MLT)

ces variables étant d'un niveau "global" sur lequel les décideurs s'entendent, au sens où leurs compréhensions ne nécessitent pas l'expertise de l'équipement ayant servi à les mesurer (les variables sont globales par opposition à des variables spécifiquement rattachées à un domaine de compétences ou à un opérateur particulier). Par exemple, la température peut être donnée par un thermomètre pour un décideur et par une mesure du rayonnement électromagnétique infrarouge pour un autre opérateur : au niveau global, ces deux opérateurs pourront coopérer sur la variable température (selon une certaine échelle de mesures). On est donc confronté à un problème d'affectation de valeurs à des variables, dans le but d'identifier des prototypes (cf. section 2.2). La coopération et les flux d'informations (échanges de valeurs globales, confirmations...) doivent alors favoriser la phase d'identification.

On peut donc s'appuyer sur une représentation matricielle (cf. figures 4 et 5) des situations sur lesquelles différents modèles de processus de décision individuels peuvent s'appliquer (arbres de décision, réseaux bayésiens, raisonnement à base de cas...).

Par ailleurs, les flux d'informations, points clés de la coopération, et de l'organisation sociale, de l'équipe, sont aisément observables avec ce type de structure. Ils permettront en particulier d'étudier des phénomènes de polarisation, ou de lissage (cf. section 4.3.2).

3.2 Processus de décision pour un individu seul

Lorsque l'individu est seul, le processus de décision peut être décrit ainsi :

1. Perception initiale de la situation :

- perception des stimuli *initiaux* ;
- perception du contexte ;
- définition des objets d'études.

2. Recouvrement en mémoire grâce aux stimuli : si le recouvrement n'est pas satisfaisant, on retourne au point 1 pour chercher plus d'informations (c.-à-d. soit affiner sa perception des stimuli initiaux, soit sélectionner de nouveaux stimuli), sinon on continue.

3. L'identification de la situation est satisfaisante. La référence recouvrée a apporté :

- d'autres dimensions d'observation importantes, qui n'ont peut être pas encore été prises en compte,
- des expectatives à vérifier au fur et à mesure que d'autres données sur la situation sont rendues disponibles,
- des buts plausibles

4. Les test d'expectatives débutent alors : si une violation est observée, l'individu peut être amené à chercher plus d'informations pour adapter la référence recouvrée, ou (plus drastiquement) à relancer le processus de recouvrement pour obtenir une référence mieux adaptée (point 1).

3.3 Processus de décision pour un individu en équipe

Les flux d'informations interviennent quand il y a plus d'un individu en charge de la décision, et qu'ils mettent en place une coopération. Reprenons les points précédents pour noter ce qu'une coopération peut modifier, et apporter :

1. La perception des stimuli reste individuelle. En revanche, la définition des objets d'études peut nécessiter une harmonisation entre les coéquipiers.

2. Les recouvrements sont également individuels, de même que la notion de satisfaction qui en découle. Néanmoins, lors la recherche d'informations, un individu peut faire appel à un coéquipier qui, soit maîtrise mieux une dimension d'observation, et pourra ainsi fournir une autre mesure, plus fine/fiable, soit, maîtrise d'autres dimensions d'observation, et pourra ainsi fournir de nouvelles mesures complémentaires.

3. Les références recouvrées ont individuellement apporté les éléments cités précédemment. La coopération peut à cet instant encore nécessiter une harmonisation, dans l'échange du but suivi (le "plus plausible"). Mais cela n'est pas obligatoire si un travail en parallèle est envisageable sur plusieurs objets de la situation.
4. Les considérations soulevées par les tests d'expectatives sont très semblables à celles du point 2. Chaque coéquipier teste les expectatives dont il a conscience. Néanmoins, rien n'empêche que deux coéquipiers aient des expectatives en commun. Si l'une d'elle est déclarée violée chez un coéquipier, l'information doit être transmise à l'autre qui devra alors en tenir compte.

3.4 Nature des flux

À la vue du §3.3, les informations échangées entre les différents coéquipiers peuvent être résumées simplement de la façon suivante :

- échanges des listes individuelles d'"objets d'études" ;
- échanges de mesures :
 - pour confirmer une mesure personnelle, mais non fiable,
 - pour obtenir une nouvelle mesure, sur une dimension non maîtrisée ;
- échanges des buts poursuivis ;
- avertissement d'expectatives violées.

4. DDSS : SPÉCIFICATIONS

4.1 Nécessité de modélisation des comportements individuels

Le système d'aide à la décision distribuée que nous envisageons ne peut se limiter à un contrôle "en surface" des flux d'informations : comme indiqué en introduction de cet article, les modèles individuels de décision, même s'ils s'avèrent être hétérogènes, doivent permettre d'identifier les données pertinentes pour un décideur de l'équipe, ainsi que de comprendre et mieux utiliser l'impact de la communication d'une variable entre équipiers. À l'inverse, la seule analyse des transferts d'informations ou de données dites manquantes ne donnent que peu de solutions pour la mise en place d'une assistance (les données sont manquantes pour l'observateur naïf, mais ne sont peut être pas importantes pour le décideur expert) (Shanteau 1988).

Une des fonctions principales d'un DDSS sera donc d'intégrer les modèles de décision individuelle, qui seront la base des fonctions d'assistances aux décideurs de l'équipe.

4.2 Obtention des modèles de décision individuelle

Si le principe précédent est communément accepté, il n'en reste pas moins que l'explicitation des modèles de décision individuelle pose toujours problème, et notamment en environnement dynamique ou bruité comme il en a été fait mention précédemment. Deux approches - au moins - sont possibles :

- la première approche consiste à imposer à la représentation machine un format guidé par des considérations de réalisme cognitif, mais également par les capacités de ce format à s'adapter à un calcul de consensus (ou tout autre démarche cherchant à agréger les différentes décisions individuelles en une seule décision "collective"). Une méthodologie classique consiste en la collecte d'expertise décisionnelle auprès des décideurs experts, et en la traduction de ces informations dans le format voulu, de façon figée et définitive. Nous avons appliqué cette démarche dans le contexte applicatif de la Patrouille Maritime, (Coppin & Skrzyniarz 2003, Skrzyniarz 2003), en imposant un format d'arbre de décision pour chacun des processus individuels de décision. Cette approche a permis d'augmenter significativement le nombre de pistes identifiées correctement en temps contraint, et de diminuer globalement le temps nécessaire à l'identification de la situation tactique.
- la seconde approche repose sur l'observation non intrusive de comportements décisionnels individuels et sur l'adaptation (éventuellement continue) d'un modèle générique en fonction des informations effectivement observées. Cette approche doit permettre d'éviter le biais classique observé pendant les verbalisations d'expertise ("l'expert n'est pas expert de son expertise" (Barthélemy & Mullet 1994)). Cette solution présente l'avantage de permettre un modèle adaptable et évolutif (mise en œuvre d'apprentissages), ainsi que la mise en place d'un dialogue homme-machine plus évolué ((Le Saux, Lenca, Barthélemy & Picouet 1998, Le Saux, Lenca & Picouet 2002)). C'est plutôt vers cette approche que nous nous orienterons, notamment en raison du caractère dynamique et changeant de l'environnement.

Le DDSS doit donc disposer de fonctions d'apprentissage permettant de faire converger les modèles individuels de décision "satisfaisants". La définition d'un modèle "satisfaisant" pourra selon les cas être directement lié au pouvoir prédictif du modèle (comparaison des décisions

prédites par le modèle avec les décisions effectivement prises pas le décideur), ou à l'acceptation explicite du modèle par le décideur si le DDSS dispose de moyens de visualisation/édition adéquats.

4.3 Contrôle des flux d'informations...

4.3.1 ... guidé par les intérêts individuels

Sur la base de modèles individuels (qui sont inscrits dans la ligne de l'approche RPD), il doit être possible, en fonction de la situation courante, d'identifier un ensemble de variables pertinentes pour chacun des décideurs individuels, et - mais seulement sur la base des comportements décisionnels individuels identifiés - d'organiser les échanges d'informations en vue de faciliter la coopération :

- localisation des dimensions d'observation participant aux processus de décisions respectifs, en vue de prévenir ou de régler les conflits "intra-dimension" entre décideurs individuels. Cette fonction s'appuie sur l'étude des recouvrements entre les ensembles de dimensions observables par les équipiers (cf. figures 4 et 5) ;
- gestion des requêtes et des demandes d'informations entre les décideurs (y compris en matière d'affichage et d'interaction homme-système) ;
- mise en évidence et explication des conséquences d'une décision, ou de l'importance d'une dimension observée par un des décideurs de l'équipe, en regard des modèles de décision de ses partenaires.

4.3.2 ...guidé par les comportements collectifs

Il est souhaitable que le DDSS puisse analyser et agir au niveau du comportement de groupe : dans ce cas, le DDSS ne cherchera pas à améliorer, ou éventuellement optimiser, chaque comportement décisionnel individuel, mais il replacera chaque comportement observé dans une logique de groupe :

- en identifiant les phénomènes de polarisation du groupe (Moscovici 1996), qui peuvent amener chacun des décideurs individuels à avoir des comportements imitatifs - renforcés par un accès facilité aux modèles des autres décideurs - et, donc, à collectivement ne pas explorer correctement l'espace des solutions,
- par l'entretien ou le lissage des minorités actives (Moscovici 1996) sur la période de prise de décision collective : en réponse au phénomène précédent,

il peut être nécessaire d'encourager une partie des décideurs à analyser une partie négligée de l'espace des décisions. A l'inverse, le maintien d'une minorité active peut être jugée globalement négative pour la décision collective,

- par la synthèse et la présentation d'indicateurs indiquant l'état courant de consensus ou d'harmonisation entre décideurs individuels.

4.4 Cadre PatMar

4.4.1 Modèles de décision appliqués à la Patrouille Maritime

Dans le cadre de la PATMAR, les caractéristiques du modèle RPD peuvent s'instancier comme suit :

Situation : pour un opérateur capteur, la "situation" peut se réduire à un objet/piste à identifier. Pour le TACCO, la "situation" sera prise au niveau plus conventionnel de "scène", et sera donc composée des pistes, chacune constituant une situation entière pour l'opérateur capteur.

But : le but d'un opérateur capteur consiste systématiquement à transformer la situation qu'il est en train de traiter - donc la piste qu'il est en train d'identifier - en "piste classifiée". En d'autres termes, le but de chacun des opérateurs est de faire passer la piste courante de l'état inconnu à un état classifié. Ce but est transposé à l'ensemble des pistes pour l'opérateur TACCO (et complété par la reconnaissance éventuelle d'un "schéma tactique" correspondant à la situation tactique observée).

Stimuli : pour les opérateurs capteur, les stimuli sont les mesures effectuées sur chacune des pistes. Pour le TACCO, les mesures sont complétées par les identifications intermédiaires fournies par les opérateurs capteurs.

Expectatives : pour les opérateurs capteurs, les expectatives correspondent aux caractéristiques attendues mais non mesurées directement, qui sont induites par la classification en cours de la piste. Pour le TACCO, les expectatives peuvent être du même niveau, mais également, et surtout, porter sur les classifications de pistes non encore traitées (mais induites par la compréhension globale de la situation). À titre d'exemple, la classification attendue (expectative) d'une piste située au milieu d'un convoi de pistes déjà identifiées comme des amis sera une classification également amie. Ce niveau d'expectative peut également être applicable au niveau d'un opérateur capteur, qui, s'il travaille en

”intra-piste”, peut malgré tout disposer des informations de contexte, et donc des classifications de pistes voisines. L’expectative portera alors non plus sur les caractéristiques de l’objet mais sur sa classe d’appartenance.

4.4.2 Problèmes liés à la décision collective et rôle possible d’un DDSS

Les fonctions minimales attendues de la part d’un DDSS sont les suivantes :

- partage de l’objet d’analyse et des buts : de façon générale, les opérateurs capteurs ne sont pas sensés travailler dans le même ordre sur les pistes. Dans ce cas, le schéma de coopération passe systématiquement par le TACCO, et l’expression du but commun se situe nécessairement au niveau de la situation complète. Lorsqu’un cas difficile - ou amenant directement à un conflit de classification - est détecté, il est en revanche possible, et nécessaire, d’amener les opérateurs en état de coopération au sens strict, c’est-à-dire d’amener les opérateurs à travailler sur la même piste ;
- échanges et confrontation de stimuli/mesures ;
- comparaison d’expectatives propres avec des mesures portant sur la même dimension et provenant d’autres opérateurs.

5. BILAN ET PERSPECTIVES

L’approche que nous avons présentée dans cet article s’appuie sur un certain nombre de travaux de modélisation des processus de décision qui ont été réalisés et validés dans un contexte mono-décideur. Par ailleurs, le passage à la dimension collective a déjà fait l’objet d’études se limitant aux flux d’informations entre décideurs, et avec un formalisme unique pour représenter les processus de décision individuelle. Nous proposons ici de rapprocher ces deux démarches et valider la méthodologie et les modèles de décision dans un environnement réel ou réaliste. Des expérimentations sont ainsi prévues à partir de scénarios technico-opérationnels validés par des experts du domaine, et dans un cadre autorisant l’observation non-intrusive de décideurs en situation, en l’occurrence le laboratoire intégré Thales - ENST Bretagne, ATOL Aeronautics Technico Operational Laboratory.

RÉFÉRENCES

- Barthélemy, J.-P., Bisdorff, R. & Coppin, G. (2002). Human centered processes and decision support systems, *European Journal of Operational Research* **136**(2): 233–252.
- Barthélemy, J.-P. & Mullet, E. (1994). Expert individual decision: The moving basis heuristics, *Technical Report RR-94006-IASC*, ENST Bretagne.
- Bisdorff, R. (1999). Cognitive support methods for multi-criteria expert decision making, *European Journal Of Operational Research* (119): 379–387.
- Coppin, G. & Skrzyniarz, A. (2003). Human-centered processes : individual and distributed decision support, *IEEE Intelligent systems* **18**(4): 27–34.
- Crévits, I. (1996). *Répartition dynamique des tâches dans les systèmes complexes. Modélisation de la répartition anticipée. Application au contrôle de trafic aérien*, PhD thesis, Université de Valenciennes.
- Hintzman, D. L. (1988). Judgments of frequency and recognition memory in a multiple-trace memory model, *American Psychological Association* **95**(4): 528–551.
- Hutchins, E. (1991). *The social organization of distributed cognition*, in *Perspectives on Socially Shared Cognition* Resnick, L. B. and Levine, J. M. and Teasley, S.D. (Eds.).
- Klein, G. A. (1989). Recognition-primed decisions, *Advances in Man-Machine System Research* **5**: 47–92.
- Klein, G. A. (1998). *Sources of Power: How People Make Decisions*, The MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
- Le Saux, E. (2000). *Extraction et implémentation de stratégies expertes. Application au contrôle de processus industriels.*, PhD thesis, E.H.E.S.S.
- Le Saux, E., Lenca, P., Barthélemy, J.-P. & Picouet, P. (1998). Updating a rule basis under cognitive constraints : the COMAPS tool, *The Seventeenth European Annual Conference on Human Decision Making and Manual Control*, Valenciennes–France, pp. 3–9.
- Le Saux, E., Lenca, P. & Picouet, P. (2002). Dynamic adaptation of rules bases under cognitive constraints, *European Journal of Operational Research* **136**(2): 299–309.
- Lenca, P. (1997). *Acquisition automatique et analyse de processus de décision. Application au domaine bancaire*, PhD thesis, Université de Rennes I.
- Lenca, P. (2002). Editorial: Human centered processes, *European Journal of Operational Research* **136**(2): 231–232.

- Lindsay, P. H. & Norman, D. A. (1980). *Traitement de l'information et comportement humain - Une introduction à la psychologie*, Études Vivantes, Montréal.
- Lipshitz, R. (1993). *Converging Themes in the Study of Decision Making in Realistic Settings*, Ablex Publishing Corporation, Nordwood, New Jersey, chapter 5.
- Montgomery, H. (1983). *Decision rules and the search for a dominance structure: toward a process model of decision making*, Amsterdam North-Holland, pp. 343–369.
- Moscovici, S. (1996). *Psychologie sociale*, Presses Universitaires de France.
- Otelli, J.-P. (2003). *Erreurs de pilotage*, Altipresse.
- 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* **SMC-13**(3): 257–266.
- Richard, J.-F. (2004). *Les Activités Mentales : Comprendre, Raisonner, Trouver des Solutions*, 3 edn, Armand Colin, Paris, France.
- Rosch, E. & Lloyd, B. B. (eds) (1978). *Cognition and Categorization*, Lawrence Erlbaum Associates Inc., Hillsdale, NJ.
- Ruta, D. & Grabys, B. (2000). An overview of classifier fusion methods, *Computing and Information Systems* **7**: 1–10.
- Shanteau, J. (1988). Psychological characteristics of expert decision makers, *Acta Psychologica* (91): 203–215.
- Simon, H. (1957). *Models of Man*, Wiley.
- Skrzyniarz, A. (2003). *Analyse de problèmes de décision distribuée et conception d'heuristiques de résolution*, PhD thesis, ENST Bretagne, E.H.E.S.S.
- Vanderhaegen, F., Crévits, I., Debernard, S. & Millot, P. (1994). Men-machines cooperation : toward an activity regulation assistance for different air traffic control levels, *International Journal on Human-Computer Interaction* **6**(1): 65–104.