

**Revue Internationale de**

ISSN 0980-1472

**systemique**

INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DISTRIBUÉE :  
MODÈLE OU MÉTAPHORE  
DES PHÉNOMÈNES SOCIAUX

Vol. 8, N° 1, 1994

**afcet**

DUNOD

**AFSCET**

**Revue Internationale de**  
**systemique**

**Revue**  
**Internationale**  
**de Sytémique**

volume 08, numéro 1, pages 29 - 37, 1994

“Readings in distributed artificial intelligence”,  
publié par Alan H. Bond et Les Gasser :  
compte-rendu

Ali Benmakhlouf

Numérisation Afcset, janvier 2016.



Creative Commons

**READINGS IN DISTRIBUTED ARTIFICIAL INTELLIGENCE,  
PUBLIÉ PAR ALAN H. BOND ET LES GASSER : COMPTE RENDU \***

Ali BENMAKHOUF <sup>1</sup>

---

Résumé

Les partisans de l'intelligence artificielle distribuée (IAD) mettent l'accent sur le traitement décentralisé de l'information. Notre lecture des 48 articles regroupés dans cet ouvrage a cherché à relever les concepts-clés permettant de réduire la complexité de l'information. De la distribution des tâches à la communication, en passant par la coordination, la coopération, la conciliation, l'enjeu a été de définir la nature et la portée de ces concepts et de mesurer les emprunts méthodologiques faits par l'IAD aux Sciences Humaines, emprunts explicites même s'ils sont pas toujours problématisés.

Abstract

The supporters of distributed artificial intelligence (DAI) put the stress on decentralized data processing. Our reading of the 48 articles collected in this work was primarily guided by our attempt to identify the key-concepts liable to reduce the complexity of the data. We endeavour to define the nature and the purport of such concepts as-task distribution, coordination, cooperation, communication and conciliation-and try to assess the methodological borrowings of DAI from Human Sciences, those borrowings being explicit even though they may not have always been analyzed thoroughly.

L'intérêt pour l'intelligence artificielle distribuée (abréviation: IAD) s'est considérablement développé ces dernières années. Il touche particulièrement le champ de la collaboration entre agents interactifs, celui des sciences cognitives <sup>1</sup>

\* Morgan Kaufmann Publishers, Inc, San Mateo, California, 1988, 650 p.  
1. Département de philosophie, 200 avenue de la République, 92001 Nanterre Cedex.

et celui de la construction et de l'usage de systèmes distribués. Ce livre, qui regroupe quarante-huit communications sur l'IAD, fait le point sur les recherches dans ce domaine. L'un des buts visés est de mettre à la disposition des étudiants, des praticiens et des chercheurs la littérature contemporaine sur le sujet<sup>2</sup>, l'autre but est d'ouvrir de nouvelles perspectives sur l'étude des problèmes de l'IAD, comme par exemple de considérer la notion de distribution, non seulement dans ses dimensions spatiales (c'est la conception commune), mais aussi temporelles et sémantiques<sup>3</sup>. Les praticiens trouveront un intérêt particulier aux chapitres 6, 7 et 8<sup>4</sup>, où sont discutées les applications spéciales de l'IAD, les premiers chapitres étant plutôt conçus pour les néophytes. Différents domaines comme ceux des agents et des systèmes ouverts, du contrôle aérien, ou du raisonnement sur l'action et la planification sont examinés. D'autres concernent le langage naturel et l'IAD, les organisations humaines, les métaphores sociales. Certains mettent l'accent sur la primauté de la logique, d'autres sur celle de l'IA.

On peut répartir le monde de l'IAD en deux domaines, le domaine de la résolution distribuée des problèmes (DPS), et celui des systèmes multi-agents (SMA). Dans le premier cas, on considère que la résolution d'un problème peut être divisée en un certain nombre de modules, et dans le second cas, le problème est de coordonner des comportements parmi un ensemble d'agents intelligents autonomes. Tout comme les modules en DPS, les agents dans un SMA doivent partager une connaissance sur les problèmes et les solutions.

La recherche en IAD a des retombées dans le champ des sciences cognitives et dans celui de l'interaction homme-machine; mais cette recherche est aussi essentielle à d'autres titres comme par exemple: la coordination des actions, la représentation des connaissances par les agents intelligents, ainsi que le raisonnement sur les actions et les plans d'autres agents. Cette recherche peut donc fournir un modèle technologique pour une théorie du comportement organisationnel.

### Conditions d'une distribution

Les éléments d'un système intelligent sont distribués s'il y a une certaine distance entre eux (distance spatiale, distance temporelle, distance logique, distance sémantique<sup>5</sup>) et s'il y a une connexion entre eux. Quand la distribution se fait dans un système selon un fort degré d'indépendance, elle peut donner lieu à des problèmes: problèmes d'autorité (différents agents peuvent avoir différents niveaux d'autorité ou de responsabilité pour différents aspects d'une situation),

problèmes d'interprétation (des événements, des objets peuvent signifier différentes choses pour différents agents, etc.). Les problèmes fondamentaux des agents intelligents en système distribué peuvent être rassemblés autour de cinq questions:

1) (art.1.2) Comment formuler, décrire, **décomposer** et synthétiser les résultats parmi un groupe d'agents intelligents? La question revient à ceci: Reconnaître quel agent fait telle tâche et à tel moment. Chandrasekaran note que « les organisations sociales, des colonies d'abeilles aux corporations modernes, des bureaucraties aux communautés médicales, des comités aux démocraties représentatives, sont des exemples vivants d'information distribuée procédant à une variété de décomposition et de coordination »<sup>6</sup>. Les tâches doivent pouvoir être formulées et décrites pour pouvoir être distribuées; la décomposition de la tâche doit se poursuivre jusqu'à atteindre la compétence d'un agent. Les langages et les concepts utilisés pour décrire les tâches affectent la façon dont les tâches sont décomposées; la décomposition des tâches est elle-même affectée par l'interdépendance des tâches, sans compter que les décisions de décomposition doivent tenir compte des changements de contexte. Enfin le travail qui décide de ces décompositions est lui-même une tâche allouée à un agent autonome ou à une collection d'agents.

2) (art.1.3) Comment permettre aux agents de **communiquer** et **d'interagir**? L'interaction est un concept fondamental en IAD parce que c'est l'interaction qui permet à plusieurs agents différents de combiner leurs efforts. Elle peut être définie comme « un type d'action collective dans un SMA ou un DPS, dans laquelle un agent accomplit une action ou prend une décision qui a été influencée par la présence ou la connaissance d'un autre agent » (p. 16). Alors que la connaissance, la perception, les buts, les actions peuvent être ou ne pas être distribués, l'interaction en revanche est distribuée par essence, cela lui est inhérent, elle suppose l'action coordonnée d'au moins deux agents. Comme l'action envisagée dans ces systèmes est généralement une action finalisée, la plupart des interactions sont dérivées de buts. Les questions qui se posent à propos des interactions dans un système concernent le nombre possible d'interactions, les raisons pour lesquelles ce sont telles ou telles interactions qui sont obtenues et pas d'autres. Quant à la communication, les agents peuvent être capables de communiquer afin de structurer leur coordination, mais une action coordonnée ne requiert pas nécessairement une communication; une communication n'existe que s'il y a une intention de communiquer parce que la connaissance de cette intention de communiquer implique une information additionnelle à la fois à l'expéditeur et au receveur. La question du langage trouve là sa place car il s'agit de désigner et de comprendre le langage utilisé pour l'interaction. Les théories linguistiques sont ici d'un grand secours, en particulier celle des actes de langage (demandes, assertions, suggestions, attentions, etc.) et celle des structures du dialogue.

3) (art.1.4) Comment assurer que les agents agissent de façon **cohérente** quand ils prennent leurs décisions, en accommodant les effets globaux aux décisions locales et en évitant les interactions nuisibles ? La cohérence renvoie aux propriétés globales du système considéré, au comportement du système comme unité ; la cohérence peut être évaluée par la capacité d'un système à atteindre des solutions satisfaisantes, donc par son efficacité, mais aussi sa clarté, tandis que la coordination renvoie aux modèles d'activité et d'interaction parmi les agents. Elle peut être évaluée par la façon dont les agents, en accomplissant leurs fins premières, évitent les activités extrinsèques. Une coordination effective implique un certain degré de mutuelle prédiction et une absence de conflit. Elle n'implique pas nécessairement coopération car les agents peuvent être antagonistes *et* coordonnés selon des procédures définies. De même la coordination n'est reliée à la cohérence que de façon partielle, car de bonnes décisions locales ne sont pas nécessairement de bons comportements globaux, vu qu'ils peuvent avoir des effets globaux indésirables. Dans quel cas a-t-on incohérence ? Lorsque un agent accomplit par exemple le travail d'un autre (problèmes de redondance, cf. art. 3.1 et 4.2.3)<sup>7</sup>. La difficulté première dans l'établissement de la cohérence et de la coordination consiste dans l'effort de parvenir à celles-ci sans disposer de contrôle centralisé. Par ailleurs, dans la mesure où l'organisation peut être construite comme une classe de règles de comportement localement interprétées, elle peut à long terme résoudre les problèmes de cohérence. Mais comment assurer la consistance de ces règles de comportement ?

4) (art.1.5) Comment permettre aux agents de **se représenter les actions et de raisonner** sur elles, ainsi que sur les plans et les connaissances des autres agents afin qu'ils puissent se coordonner entre eux ? Comment en d'autres termes simuler l'activité d'autres nœuds ? Une interaction signifiante entre deux agents implique au moins que chacun des deux a une connaissance implicite de l'autre ; un agent, pour pouvoir communiquer, doit pouvoir se représenter quelle réaction est susceptible d'engendrer le message qu'il envoie ; la coordination n'est d'ailleurs possible que dans la mesure où chaque agent attend quelque chose de l'interaction. Si l'un des buts du DPS et du SMA est le contrôle décentralisé, alors, pour prendre des décisions locales dans des circonstances variées, les agents individuels doivent être capables de raisonner sur les effets qu'ils ont sur les autres agents. C'est ce qu'on appelle la *network awareness* (cf. art. 4.2.4)<sup>8</sup>. Un agent doit donc pouvoir raisonner sur ses propres activités afin de parvenir à un contrôle et à une coordination avec d'autres agents ; en un mot il doit pouvoir s'objectiver pour voir ce qui peut résulter de ses propres actions. C'est ainsi que les sociologues et les psychosociologues, dans la tradition de l'interaction symbolique, avaient dit que le mécanisme premier

pour créer des sociétés organisées d'individus était la capacité d'un individu de générer et d'utiliser des modèles internes d'autres agents et de lui-même, (cf. Abraham, 1982<sup>9</sup>, Mead, 1934<sup>10</sup>). Quelles sont les connaissances qu'un agent doit être en mesure de posséder concernant d'autres agents ? Comme réponse à cette question on peut citer par exemple la connaissance des capacités des agents, celle de leurs demandes et de leurs ressources (ainsi lorsqu'un nœud est connu pour être trop occupé, ne pas lui envoyer de message), la connaissance de leurs responsabilités, puis d'autres formes de connaissance permettant d'anticiper ou d'expliquer les actions, comme les connaissances en vue de la communication (connaissance des langages, des protocoles d'une part, celle de l'information utile à communiquer d'autre part), celles des croyances, des buts, des plans.

5) (art.1.6) Comment **concilier** des points de vue divers et des intentions conflictuelles parmi un ensemble d'agents essayant de coordonner leurs actions, comment synthétiser les vues et les résultats ? Nous avons déjà parlé du problème de l'objectivation d'une partie de leurs mondes, qui permet aux agents de raisonner à leur sujet. Mais le problème est que rien ne peut être totalement décrit. Les agents intelligents doivent faire face aux problèmes de disparité et d'incertitude entre leurs représentations objectivées et les choses auxquelles les représentations renvoient. Pour résoudre les disparités, les agents doivent avoir des bases sur lesquelles ils peuvent s'accorder. Concernant les disparités qui résultent d'une connaissance incomplète, le problème devient d'identifier et de communiquer la connaissance appropriée pour résoudre l'incomplétude. Pour résoudre les conflits d'incomplétude, une simple approche consiste à intégrer une nouvelle connaissance par simple incorporation<sup>11</sup>. Autre solution possible : les agents peuvent résoudre les conflits et les disparités qui viennent de contraintes incompatibles en assouplissant ces contraintes, ou en reformulant un problème afin de les éliminer. L'assouplissement des contraintes requiert une priorité entre les contraintes (voir l'article de Fox<sup>12</sup>). La négociation reste ce qui est le plus souhaitable pour résoudre les conflits ; Davis considère par exemple la distribution des tâches comme une forme de contrat négocié.

#### Distribution et allocation de tâches (art. 3.1 à 3.8)

Une métaphore commune pour un DPS est celle d'un groupe d'experts humains cherchant à travailler ensemble pour réaliser une grande tâche. L'intérêt premier est d'examiner comment ils interagissent pour résoudre le problème, d'examiner aussi la façon dont la charge de travail est distribuée parmi eux et comment les résultats sont intégrés pour une communication avec ceux qui sont en dehors du groupe. Il est certain qu'aucun des experts ne contrôle totalement les autres, bien

qu'un expert puisse en dernier lieu être responsable de la communication de la solution du problème à ceux qui sont hors du groupe. Dans une telle situation, chaque expert doit dépenser la plupart de son temps à travailler seul sur des sous-tâches variées qui ont été préalablement divisées à partir de la tâche principale, interagissant occasionnellement avec les autres membres du groupe. Chaque expert individuel peut assister un autre expert de deux façons :

– Il divise sa charge de telle sorte que chaque nœud résolve indépendamment un sous-problème du problème global. C'est ce que l'on appelle *le partage des tâches*, et dans ce mode de coopération on est concerné par la façon dont les experts décident qui réalise quoi. Une des méthodes intéressantes d'effectuer ce partage des tâches est la négociation. La négociation est donc un mécanisme qui permet de structurer l'interaction des nœuds. Un expert peut ainsi demander de l'aide parce que la tâche est trop lourde pour lui seul ; il divise donc sa tâche en sous-tâches et cherche à trouver les experts qui ont les compétences nécessaires. Une des façons courantes (dite *problème de connexion*) de résoudre ce problème est de trouver un nœud désœuvré et approprié à la sous-tâche qu'on veut distribuer. Si la tâche originelle est au-dessus de son expertise, un agent va chercher à trouver immédiatement un expert auquel elle est appropriée.

– Quand les sous-problèmes ne peuvent pas être résolus par des experts travaillant seuls, une seconde forme de coopération se met en place : les experts se communiquent périodiquement les résultats auxquels ils sont parvenus en exécutant les tâches individuelles ; on appelle cette forme *le partage des résultats*. Alors que le partage des tâches est utilisé pour organiser un problème de décomposition *via* la formation de connexions explicites entre tâches et sous-tâches, le partage des résultats, lui, n'offre aucun mécanisme de décomposition, il est utilisé pour faciliter la résolution de sous-problèmes quand une série de sous-problèmes est telle qu'elle ne peut être résolue par des nœuds individuels travaillant indépendamment sans communiquer avec d'autres nœuds.

Le problème de la décomposition des tâches peut être abordé d'un tout autre point de vue : celui de la rationalité limitée. Si, comme le dit H. Simon, « la capacité de l'esprit humain pour formuler et résoudre des problèmes complexes est très petite comparée à la taille des problèmes dont la solution est exigée pour un comportement objectivement rationnel dans le monde réel »<sup>13</sup>, et si cela vaut également pour un ordinateur<sup>14</sup>, l'information devient alors trop complexe quand elle demande, pour être analysée et comprise, plus de traitement que ce que peut lui fournir un esprit humain ou un ordinateur. Le problème devient celui de trouver le moyen de réduire la complexité de l'information pour lui permettre d'être traitée. Le travail de l'intelligence artificielle peut être considéré comme une façon de circonvenir la limitation des ressources.

### Coopération et coordination (art. 4.1. à 4.3)

La coopération en IAD requiert deux types de décisions de contrôle. L'un consiste à assigner à chaque agent des tâches et des responsabilités, l'autre type qui est un contrôle local permet à chaque agent de choisir la prochaine tâche à exécuter à partir de celles qui lui sont assignées. Comme le nombre de tâches qu'un nœud peut exécuter augmente, choisir parmi elles suppose un contrôle local sophistiqué, en particulier si les tâches sont interdépendantes. Mais le premier type de contrôle, non local, est tout aussi essentiel : c'est lui qui alloue les responsabilités et fait en sorte que chaque nœud a un ensemble suffisant de tâches à exécuter.

Une façon de décrire un des langages de l'IAD peut se faire par une métaphore, celle qu'on a élaborée par exemple William A. Kornfeld et Carl E. Hewitt (voir note 15) et qui est celle de la communauté scientifique. L'idée consiste à retenir de cette communauté sa manière d'engendrer plusieurs théories conflictuelles pour expliquer un même phénomène, théories conflictuelles qui enrichissent la recherche scientifique par leur diversité tolérée. Le modèle fourni par cette métaphore va consister à justifier le parallélisme et le pluralisme dans le langage de l'IAD. Les communautés scientifiques sont en effet des systèmes parallèles. Les hommes de science travaillent de façon concurrentielle : ils peuvent travailler sur le même problème ou sur des problèmes différents ; ils peuvent ne pas connaître le travail des autres ; ils peuvent soutenir des opinions différentes ou non<sup>15</sup>, toujours est-il que la diversité est un aspect nécessaire à la réussite de la recherche scientifique. C'est ce type de diversité qui intéresse ceux qui veulent construire le langage ETHER. Comme les hommes de science communiquent leurs idées, leurs résultats peuvent avoir un effet conséquent sur des travaux futurs. L'un des principaux buts dans la confection du langage ETHER est de réaliser avec facilité des interactions entre différentes parties du système sans tomber dans les pièges rencontrés souvent dans les systèmes parallèles au nombre desquels figurent les problèmes de partage de mémoire si difficiles à manier.

### Langages d'interactions, structures et protocoles (art. 5.1 à 5.6)

La coopération, si importante en IAD, ne peut être établie entre les nœuds simplement par le fait d'indiquer comment ils communiquent ; on doit également indiquer ce qu'ils doivent se dire. C'est pourquoi on a besoin de protocoles appropriés<sup>16</sup> qui organisent l'activité de résolution de problème. Ces protocoles reposent sur une négociation, c'est-à-dire sur une discussion entre parties intéressées qui échangent leur information et parviennent à un accord. La négociation est initiée par l'engendrement d'une nouvelle tâche, engendrement qui peut avoir lieu quand une tâche est subdivisée en sous-tâches.

### La structure-blackboard (art. 7.1 à 7.4)

Une architecture *blackboard* est une importante structure des systèmes-experts. Le *blackboard* consiste en une région d'informations partagées, région qui constitue, avec l'ensemble des sources de connaissance d'une part, et le mécanisme de contrôle d'autre part, l'un des trois éléments clés du système-expert. Le *blackboard* est donc une base de données qui est partagée par les sources de connaissance; il est leur médium de communication. Le mécanisme de contrôle consiste à inventorier les réalisations des sources de connaissance en tenant compte de l'information qui est donnée par le *blackboard* et de celle qui est visée par ce même contrôle. Ce qui sous-tend l'architecture-*blackboard* est l'interaction coopérative de sources de connaissance en communication. Tous les éléments de solution engendrés par les sources de connaissance durant la résolution de problèmes sont enregistrés dans une base de données globale et structurée qui est nommée *blackboard*. Cette structure organise les éléments de solution selon deux axes: celui des intervalles de solution et celui des niveaux d'abstraction. Par exemple, dans un domaine de tâches multiples, les intervalles de solution représentent les intervalles de temps dans le plan d'exécution des tâches; alors que les niveaux d'abstraction représentent une séquence planifiée de tâches où un niveau inférieur élabore le détail de tâches individuelles performantes et les chemins pour circuler entre des tâches successives. L'enjeu de ces structures-*blackboard* est de permettre dans les systèmes multi-agents d'augmenter la concurrence tout en maintenant le contrôle.

Dans ce livre l'approche interactive semble aller de soi. Il aurait peut-être fallu la mettre davantage en perspective par rapport à l'approche fonctionnelle, approche pour laquelle les situations possibles doivent être identifiées *a priori* et l'environnement de l'agent connu de façon déterministe. Un article sur cette distinction aurait permis de comprendre les défaillances du système causal dans l'approche interactive; car la flexibilité d'un SMA liée à l'émergence de propriétés non programmées à l'avance nous oblige à l'abandon d'un tel système. De façon plus générale, on peut regretter le fait qu'il n'y ait pas d'articles sur l'épistémologie de l'IAD ni non plus une réflexion plus poussée sur les métaphores sociologiques et psychologiques des SMA. Les métaphores dont nous avons rendu compte, comme celle de la communauté scientifique, ne sont envisagées dans cet ouvrage que comme des métaphores. Or il aurait été intéressant de voir jusqu'à quel point elles peuvent être prises au sens strict. Cela aurait permis d'élargir le domaine de l'IAD aux sciences biologiques et aux sciences humaines.<sup>17</sup> Un *readings* sur l'épistémologie de l'IAD et sur ses applications au domaine de ces sciences reste à écrire.

### Notes

1. On peut également souligner un *Readings in Cognitive Science*, publié la même année par Allan Collins et Edwards E. Smith, dans la même maison d'édition, et dont la lecture est un excellent complément à l'ouvrage consacré à l'IAD.
2. Une importante bibliographie sur l'IAD occupe les pages 42-56.
3. De même, l'organisation dans les systèmes IAD a pu être traitée, non seulement comme une condition structurelle, comme cela est souvent le cas, mais aussi comme une propriété émergente de l'interaction.
4. Le chapitre 6 traite de l'implémentation des langages, le chapitre 7 des structures-*blackboard* et le chapitre 8 d'exemples d'application en IAD; lire en particulier celui sur le contrôle du trafic aérien (p. 617-629).
5. Sur la définition des différentes distances, voir p. 9.
6. Cité p. 10 du *Readings*; pour plus de détails sur Chandrasekaran, voir son *Natural and Social System Metaphors for Distributed Problem Solving: Introduction to the Issue*, *IEEE Transactions on systems, man and Cybernetics*, SMC-11, 1-5 janvier 1981.
7. R. G. SMITH, R. DAVIES, *Frameworks for cooperation in Distributed Problem Solving*; in *Readings*, p. 61-71; E. H. DURLEE, V. R. LESSER, D. D. CORKILL, *Coherent cooperation Among Communicating Problem Solvers*, p. 268-285.
8. E. R. DURFEE, V. R. LESSER, *Using Partial Global Plans to Coordinate Distributed Problem Solvers*, p. 285-293.
9. M. FRANCIS ABRAHAM, *Modern Sociological Theory*, Oxford University Press, 1982.
10. G. H. MEAD, *Mind, Self and Society*, University of Chicago Press, 1934.
11. J. Y. HALPERN, *Theoretical aspects of Reasoning about knowledge: Proceedings of the 1986 Conference*, Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo, CA, 1986.
12. M. FOX, *An Organizational View of Distributed Systems*, p. 140-151.
13. H. SIMON, *Models of Man*, New York: Wiley, 1957, cité dans l'article de Mark S. FOX, *An Organizational View of Distributed Systems*, p. 141.
14. Mark S. FOX, *ibidem*: « Un processeur ne peut exécuter qu'un nombre limité d'instructions par seconde. Ceci limite le nombre d'informations qu'un ordinateur peut traiter, ainsi que le contrôle qu'il peut exercer à l'intérieur d'une période de temps donné. »
15. KORNFELD, HEWITT, dans la conclusion de leur article *The scientific community metaphor*, p. 319, dressent la liste de ceux qui, avant eux, ont pris l'être humain comme métaphore pour la résolution de problèmes en IA, parmi lesquels se trouvent TURING avec son fameux test, et plus récemment MINSKY et PAPERT qui ont développé l'idée que l'esprit d'un individu était composé d'une société d'agents.
16. Ces protocoles sont décrits à partir du contenu des messages échangés, de leur format, et des détails des langages dans lesquels ils sont écrits. Voir l'article *Negotiation as a metaphor for Distributed Problem Solving* de R. DAVIS et R. SMITH, p. 333-356.
17. Ce type de travail a été mené depuis deux ans à l'Université de Technologie de Compiègne, dans le cadre de deux séminaires sur l'IAD tenus en janvier 1992 et 1993. On peut citer à titre d'exemple quelques communications comme celles de Daniel ANDLER sur le statut de la logique épistémologique en SMA, celle de Claude DEBRU sur l'écologie cellulaire, ou celle de Bernard THIERRY sur l'organisation sociale chez les singes.