

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

DEFINITION - GENERALITES - HISTORIQUE - DOMAINES

I - DEFINITION DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

L'*Intelligence Artificielle* (IA) est la science dont le but est de faire faire par une machine des tâches que l'homme accomplit en utilisant son intelligence. La terminologie - malheureuse! - d'*Intelligence Artificielle* est apparue en 1956. On peut lui préférer celle d'*Informatique Heuristique*. On ne parlera pas dans ce cours de *machine intelligente*, ni de *programme intelligent*.

Autre définition (J.L.Laurière): Etude des activités intellectuelles de l'homme pour lesquelles aucune méthode n'est a priori connue. (Tout ce qui n'a pas encore été fait en Informatique - quand on sait le faire, ce n'est plus de l'IA ...)

L'Informatique est la science du traitement de l'Information, l'IA s'intéresse à tous les cas où ce traitement ne peut être ramené à une méthode simple, précise, algorithmique. Un algorithme est une suite d'opérations ordonnées, bien définies, exécutables sur un ordinateur actuel, et qui permet d'arriver à la solution en un temps raisonnable (minutes, heures, ou plus, ... mais pas des siècles!)

Exemples :

- jeu d'échecs (bien qu'il n'y ait qu'un nombre fini de situations);
- résumer un texte ou le traduire;
- reconnaître des lettres manuscrites, par exemple TAON ou THON;
- faire des mathématiques;
- faire un diagnostic (médical, de panne, ...).

II - HISTORIQUE DE L'IA

1. Le rêve d'une machine intelligente remonte à l'Antiquité.

Dans l'Iliade (chant XVIII), le Dieu du Feu Héphaïstos avait construit des tables à trois pieds pour le servir.

Dans la tradition juive, le Golem est un automate à forme humaine en bois ou argile. Un rabbin doit inscrire un mot magique sur son front, pour qu'il s'anime et le serve.

Noter l'intervention divine dans les deux cas.

2. Automates

XVI^e siècle - A partir des progrès de la médecine (lois de fonctionnement de certains organes), et du perfectionnement des automates, on pense pouvoir créer des mécanismes "intelligents".

XVII^e - Descartes introduit l'idée de l'"animal machine", qui aurait certaines activités humaines, mais pas toute l'intelligence.

- XVIIIe - Vaucanson est célèbre par ses automates : joueur de flûte (1737), canard (1738). On pense qu'il n'y a pas de limite.
- 1747 - La Mettrie publie "L'homme machine". Il a l'intuition que la distinction homme-animal de Descartes ne tient pas, mais ne sait pas comment expliquer le comportement de l'homme.
- fin du XVIIIe - Un anonyme publie une description d'une méthode automatique pour composer des menuets. Il a défini un ensemble de règles. Il n'avait bien sûr pas d'ordinateur, mais a fait des simulations, avec des lancements de dés pour introduire de la variété.
- 1769 - C'est l'escroquerie du joueur d'échecs : l'automate de Kempelen; il y avait un joueur de petite taille dans le coffre.
- 1912 - Torrès y Quevedo réalise un automate pour jouer les finales R + T contre R par une méthode qui permet de gagner contre toute défense.
- 1930 - Gödel, Church, Herbrand, Turing étudient la possibilité d'automatiser le calcul et le raisonnement.
- 1943 - Premiers ordinateurs.
- 1945 - Zuse, un des pères des premiers ordinateurs, programme les règles du jeu d'échecs.
- 1949 - Shannon, promoteur de la théorie de l'information, propose une méthode pour jouer aux échecs.
- 1950- Turing, un des premiers informaticiens, l'affine et simule à la main

3. Premiers programmes d'IA

- 1954 - Newel a un projet de programme d'échecs. Il travaille avec Show, Simon et des psychologues, dont De Groot qui a étudié de grands joueurs d'échecs. Ceci aboutit à la création d'un langage pour manipuler des informations symboliques : IPL1 (1956), père de LISP (MacCarthy 1960).
- 1956 - LOGIC THEORIST (Newel - Show - Simon) est le premier programme de démonstration en Logique des propositions. Le nom "artificial intelligence" est introduit.
- 1957 - Le programme d'échecs NSS a la même structure que LOGIC THEORIST. On a les notions de situation souhaitable, d'heuristique (règle qui permet de faire un choix en l'absence de résultat théorique sûr).
Puis GPS, "General Problem Solver", est général et est caractérisé par l'analyse de différences entre situations et la construction de buts et sous-but.
- 1958 - Newel et Simon pensent qu'avant 1968, un programme sera champion d'échecs et démontrera un important théorème mathématique!

4. Réalisations

- 1959 - Samuel réalise un programme qui joue aux checkers (dames américaines) et "apprend" (coefficients ajustés avec l'expérience)
- 1960 - Gelertner réalise un programme qui démontre des théorèmes de géométrie, par exemple: Un triangle qui a deux angles égaux, a aussi deux cotés égaux. (Le programme en donne une meilleure démonstration que celle habituellement enseignée). Ce programme est capable d'utiliser (provisoirement ou non) un raisonnement non rigoureux. Il utilise les symétries logiques d'un problème.
- 1961 - On s'intéresse au traitement du langage avec une application sur la recherche d'information dans des bases de données. BASEBALL (Green) répond à des questions sur les matches.

On pense pouvoir faire de la traduction automatique, par analyse syntaxique et des dictionnaires, mais cela ne suffit pas!

1965 - La *Méthode de Résolution* (Robinson) est utilisée en Démonstration automatique de théorèmes (Slagle - Green - Kowalski), en Vérification de programmes (King - Waldinger), en Manipulation d'objets (Nilson - Fikes). Cette méthode a donné naissance au langage PROLOG (Colmerauer 1971).

1967 - Le premier programme d'échecs ayant des performances satisfaisantes est dû à Greenblatt. Il bat un joueur normal.

1968/75 - Le traitement des langues naturelles introduit des méthodes de représentations et de programmation : réseaux sémantiques (Quillian), frames (Minsky), scripts (Schank)

1971 - Moses fait le point sur les méthodes de calcul formel (normalisation, simplifications, ...)

1970 marque un tournant:

avant: les méthodes sont des améliorations du combinatoire: on restreint l'énumération exhaustive à l'aide du *bon sens*, de fonctions d'évaluations et d'heuristiques;

après : les chercheurs sont convaincus que les programmes doivent avoir une connaissance approfondie du domaine étudié;

d'où les problèmes : quelles connaissances ?
 comment les donner ?
 comment les représenter ?
 comment les utiliser ?

Un programme d'IA doit avoir toute la connaissance nécessaire et ne l'utiliser qu'à bon escient.

Ces idées ont conduit à la réalisation et à l'étude des systèmes experts ou systèmes à base de connaissances

III - Représentation, utilisation et acquisition des connaissances

1. Systèmes Experts (SE)

Ils permettent l'utilisation de connaissances.

Premiers SE:

DENDRAL (Buchanam - Sutherland - Feigenbaum - 1976) travaille en chimie. Il obtient la formule chimique développée d'un corps à partir d'un spectrogramme de masse. Il a été mis au point à l'aide d'*experts* du domaine, dont un prix Nobel (Lederberg). Il contient plusieurs milliers de connaissances élémentaires, données sous forme de règles granulaires. Ce système a des performances remarquables, et est vendu avec le spectrographe par le fabricant.

MYCIN (Shortliffe - 1976) fait un diagnostic et propose une thérapeutique en médecine (infections bactériennes du sang).

Exemple de règle : si le site de la culture étudiée est le sang
 le gram de l'organisme est négatif
 sa morphologie est de type bâtonnet
 la brûlure du patient est sérieuse

alors il y a des chances (0.4) que l'organismes soit pseudomonas

Caractéristiques des SE:

Il y a séparation entre les connaissances nécessaires (*bases de connaissances*) et le programme qui permet de les utiliser (*moteur d'inférence*). Le moteur d'inférence peut être

écrit dans n'importe quel langage de programmation. Les bases de connaissances doivent être écrites dans un langage déclaratif accessible à un expert non informaticien.

Il y a opposition entre le *déclaratif* et le *procédural*.

Exemple : "L'article s'accorde en genre et en nombre avec le nom." est déclaratif. Une expression procédurale serait "Quand on rencontre un nom, on cherche l'article qui lui est lié, on vérifie alors que le genre de l'article est le même que le genre du nom, puis que le nombre de l'article est le même que le nombre du nom." (compréhension) ou "pour écrire l'article, on cherche le nom qui lui est lié et on choisit un article qui a le même genre et le même nombre." (génération).

Le *déclaratif* est plus agréable. On peut donner les connaissances en vrac, en ajouter, en enlever, les modifier facilement. Mais il est beaucoup moins efficace. Maintenant, dans un souci d'efficacité, on réalise souvent une "compilation" des connaissances déclaratives (données par l'expert) en connaissances procédurales ou en programmes.

Difficultés :

Pour, d'une part utiliser une très grande quantité de connaissances, d'autre part réunir toutes les connaissances nécessaires, il est nécessaire d'introduire des connaissances sur les connaissances : des *métakonnaissances*.

Exemple : METADENDRAL crée de nouvelles règles. Il a permis l'analyse de familles chimiques mal connues et a donné lieu à des articles dans des revues internationales de chimie.

2. Représentation des connaissances

Ce nouveau thème de recherche, déjà apparu avec le traitement des langues naturelles, se développe avec l'utilisation et l'étude des systèmes experts, que l'on appellera alors souvent systèmes à base de connaissances. Plusieurs formalismes sont utilisés :

- la logique avec le calcul des prédicats d'ordre 0 ou 1 ou intermédiaire (0+);
- les logiques non classiques (flou, possibilités, ...);
- les règles (déduction, réécritures, actions conditionnelles, ...);
- le formalisme objet (objets, classes, instances, propriétés, héritage)

3. Apprentissage - Découverte (à partir de 1970)

Il s'agit alors d'apprendre des règles ou des concepts, dans différents domaines :

- jeux : poker (Waterman, 1970), échecs (Pitrat, 1976)
- vision et reconnaissance des formes en robotique (Winston, 1975)
- découverte de concepts mathématiques, par exemple concept de nombre premier (AM, Lenat, 1980)
- découverte des lois de Képler en astronomie (BACON, Langley, 1979)

(Il faut relativiser ces découvertes en examinant ce que reçoit le système (par exemple des définitions LISP de concepts mathématiques primitifs, des données recueillies par Képler)

4. Formalisation du sens commun (à partir de 1980)

Les connaissances pragmatiques ou le sens commun sont en général implicites. Exemple : "En posant brusquement sa tasse sur la table, il la cassa."

Il faut tenir compte de l'incertitude, des ambiguïtés, de l'incomplétude, des imprécisions. On utilise

- des facteurs de certitude dans les systèmes experts
- les probabilités
- des logiques non classiques - non monotones (McCarthy, 1980)

- défauts (Reiser, 1980)
- floue (Zadeh, 1978)
- possibilités (Dubois, Prade, 1987)

Des travaux ont été effectués en physique naïve et qualitative (Hayes, 1979 - De Kleer, Bron, 1984 - Forbus, 1984 - Knipers, 1984)

Exemple de règle : Dans les gaz parfaits, à volume constant, plus la pression augmente, plus la température augmente.

Le projet CYC (Lenat, à partir de 1984) est un projet ambitieux dont le but est de représenter les connaissances de sens commun. En effet, il ne suffit pas d'avoir des formalismes, il faut aussi recueillir et exprimer les connaissances. Plusieurs centaines de milliers de règles ont été écrites. Exemple : Quand on possède quelque chose, on en possède ses parties.

5. Utilisation du niveau méta

Surtout à partir de 1980, mais déjà en 1966 (Pitrat, Démonstration de théorèmes en logique) et 1976 (METADENDRAL).

1979 - TEITESIAS est un module d'acquisition des connaissances pour MYCIN

Idée forte : plutôt que de donner des connaissances sophistiquées à un système, on lui donne la possibilité d'en acquérir et/ou la possibilité d'améliorer des connaissances simples qu'on lui donne.

IV - LIENS AVEC D'AUTRES DISCIPLINES

L'IA reçoit et donne:

Informatique	expérimentationssystèmes programmation programmation	d'exploitation évolués automatique logique langages objets
Psychologie Neurophysiologie	expérimentations faites par les psychologuesétude (observations, introspections),compréhension fonctionnement du cerveaurésoudre	du raisonnement et de la modèles (pour bien compréhension un problème, il faut le comprendre)
Logique Linguistique	travaux des logiciensmeilleures et des linguistes	formalisations
Didactique	étude du raisonnement	tuteurs (dits) intelligents
Médecine domaines de <i>diagnostics</i>	excellents domainesaide d'expérimentationà pour l'IAcomportement,	(force) les spécialistes analyser leur propre à mieux l'enseigner

V - Et maintenant

1. Caractéristiques des domaines relevant de l'IA

- ils manipulent des informations symboliques et non numériques (lettres - mots - signes - dessins - concepts - connaissances - raisonnements - ...);

- ils impliquent des choix: à certaines étapes, il faut choisir, sans certitude, entre plusieurs possibilités.

Des domaines, étudiés dans le cadre de l'IA, quittent partiellement le domaine de l'IA quand ils deviennent bien maîtrisés pour rejoindre l'algorithmique, la logique ou l'informatique théorique, par exemple, les langages "de l'IA" (LISP, PROLOG, langages objets), le calcul formel, les recherches arborescentes, les jeux, la démonstration automatique de théorèmes.

2. Tendances

On assiste depuis 1990 à un foisonnement de travaux dans des domaines de plus en plus divers. Les principales tendances sont les suivantes :

- Par l'augmentation de la puissance des ordinateurs, des méthodes inutilisables avant le deviennent.
- Nécessité de disposer, en plus de méthodes générales, de connaissances et méthodes spécifiques pour des domaines de plus en plus spécialisés.
- Possibilité d'intégrer plusieurs techniques dans un même système.
- Des applications à grande échelle, en dehors de l'IA, utilisent des techniques de l'IA. (Par exemple, la transcription du génome humain).
- l'IA théorique cherche à établir des fondements scientifiques, formalisme des modes de raisonnement et de représentation des connaissances, clarifie les concepts.
- l'IA expérimentale teste les idées nouvelles par la réalisation de systèmes. L'examen des problèmes rencontrés conduisent alors aux améliorations des méthodes.
- l'IA appliquée est une utilisation en situation réelle dans l'industrie, les services, ...

3. Quelques grands domaines actuels (en vrac et de manière non exhaustive)

Certains de ces domaines ont maintenant des congrès et des revues spécialisés.

3.1. Démonstration Automatique de Théorèmes (DAT)

Le domaine est bien formalisé, bien connu des premiers chercheurs en IA, typique de l'intelligence humaine. Les premiers programmes apparaissent en 1956, dix ans après les premiers ordinateurs.

Deux types de méthodes sont utilisés. Le *Principe de Résolution* est une méthode très efficace d'un point de vue théorique et est maintenant également étudié par les logiciens. Il a donné naissance au langage PROLOG. Pratiquement, de nombreuses heuristiques doivent être utilisées pour limiter l'explosion combinatoire. Les *méthodes naturelles* sont plus proches du raisonnement humain et rendent plus faciles la donnée de l'expertise du mathématicien.

Les performances actuelles sont supérieures à celles d'un individu moyen, inférieures à celles d'un bon mathématicien.

Ce domaine dépasse le cadre des mathématiques et est utilisé dans de nombreux domaines, par exemple en Résolution de problèmes et en Vérification de programmes.

3.2. Jeux

Les univers sont limités, les règles bien définies, et pourtant riches en possibilités déductives. Les performances aux échecs sont encore inférieures à celles d'un champion du monde, bien que le champion du monde ait pu être battu par un programme. Les progrès les plus récents sont dus plus à l'amélioration des ordinateurs et des techniques de programmation qu'à l'IA.

Les champions se font aider par les ordinateurs. Les finales ont été étudiées et on dispose maintenant de grandes bases de données de finales.

Les méthodes combinatoires ne peuvent pas être utilisées pour le jeu de go qui est devenu un domaine test pour différentes méthodes d'IA.

3.3. Résolution de problèmes (au sens large)

Il s'agit de poser, analyser, représenter ... et résoudre des problèmes dans des situations concrètes.

Exemples : faire un emploi du temps - colorier une carte de géographie - résoudre des casse-tête logiques, des problèmes mathématiques - trouver un chemin dans un labyrinthe ou tout simplement dans une maison (robots).

Des programmes généraux ont été réalisés, ayant de meilleures performances que des programmes spécialisés.

3.4. Langage naturel et dialogue homme/machine

Le langage naturel a d'abord été étudié dans le but de faire de la traduction automatique. Devant les difficultés, on s'est plutôt intéressé aux sous-problèmes de la compréhension et de la génération du langage naturel, domaines qui se rattachent aussi maintenant au dialogue et aux interfaces

Il est nécessaire de disposer de représentations internes, et aussi de connaissances syntaxiques, sémantiques, et même pragmatiques.

Exemple de phrase dont la compréhension nécessite des connaissances pragmatiques :

"Le professeur a envoyé l'élève chez le censeur parce qu'il bavardait."
 voulait le voir".
 ne pouvait plus le supporter".

Dans chacun des trois cas, qui représente *il* ?

3.5. Reconnaissance des Formes et Perception

Il s'agit, entre autres, de la compréhension de la parole, de la lecture d'un manuscrit, de l'analyse de scènes.

Exemples de réalisations : voitures pour handicapés à commande vocale;
 robots pour la construction automobile.

La difficulté peut être de reconnaître et saisir une vis dans un tas en vrac.

Il est plus difficile de jouer au football que de faire des mathématiques !

3.6. EIAO et Tuteurs (dits) intelligents (ITS)

"Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur" devenu "Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur" ce domaine concerne tous les types d'enseignement classique ou d'apprentissage de savoir-faire. Un système d'EIAO doit être capable de :

- résoudre les problèmes;
- comprendre le raisonnement (correct ou erroné) de l'élève;
- établir un *modèle* de l'élève;
- lui proposer des exercices en fonction de ce modèle.

3.7. Robotique

La robotique n'est pas forcément de l'IA. Elle peut en être par l'aspect Reconnaissance des formes et Résolution de problèmes. Il peut être nécessaire de faire face à des situations imprévues.

Quelques applications sont particulièrement utiles : travaux dangereux, réparations dans les centrales nucléaires ou dans l'espace.

3.8. Programmation Automatique

Il peut s'agir d'écrire des programmes qui écrivent des programmes résolvant des problèmes décrits en langage mathématique ou en langage naturel par exemple. (Ces programmes sont souvent moins élégants que les nôtres mais peuvent être meilleurs !) Cette activité a été pendant un temps concurrencée par les systèmes experts. Elle en est maintenant complémentaire, de nombreuses bases de connaissances étant compilées, c'est-à-dire remplacées par des connaissances procédurales (programmes C par exemple) dans un souci d'efficacité.

3.9. Systèmes à base de connaissances

En raison des nombreuses applications et des résultats obtenus, ce domaine a connu un très grand développement et le développement de sous-thèmes :

- Représentation des connaissances
- Technologie des systèmes experts
- Acquisition des connaissances
- Cohérence et validation des bases de connaissances

3.10. Autres

- *Interaction homme/machine*
- *Modélisation cognitive*
- *Planification*
- *Propagation de contraintes - Programmation par contraintes*
- *Raisonnement par cas*
- *Réseaux neuronaux et approche connexionistes*
- *Systèmes multi-agents et Intelligence artificielle distribuée*
- ...

4. Thèmes de RFIA 2000 (Reconnaissance des Formes et Intelligence Artificielle)

Algorithmique de l'IA ou de la RF

Analyse de documents (cartes, plans techniques, partitions musicales,..)

Analyse de scènes

Apprentissage symbolique et/ou numérique

Applications aux domaines de l'imagerie médicale, aérienne ou satellitale, aux domaines de la robotique et de la surveillance, aux données multimédia...

Architectures et intégrations de systèmes

Contraintes (CSP, SAT, ordonnancement)

Coopération personne-système (modélisation de l'utilisateur, aide à l'apprenant, aide au travail coopératif, explications, dialogue...)

Caractérisation et évaluation de performances

Classification

Compression

Démonstration automatique

Diagnostic

Fusion de capteurs et de données

Formalisation des raisonnements et de la cognition
Gestion de connaissances et mémoire d'entreprises
Indexation par le contenu de documents (textuels ou multimédia)
Ingénierie des connaissances
Interaction Homme-Machine
Fouilles de données
Modèles conceptuels et ontologies
Modélisations des images :
 Approches géométriques, approches variationnelles, EDP
 Modèles probabilistes, problèmes inverses
 Morphologie mathématique
 Photométrie et colorimétrie
...
Planification
Raisonnement à base de cas
Raisonnements en environnement physique, évolutif ou incertain :
 Raisonnements spatiaux-temporels, raisonnements sur les actions
 Raisonnements sous contraintes de ressources
 Raisonnements probabilistes ou possibilistes
 Raisonnements non monotones
Représentation, reconnaissance et interprétation des formes et des images
Reconnaissance et synthèse de la parole
Reconnaissance et interprétation de l'écrit
Représentation de connaissances
Réseaux neuronaux et approches connexionistes
Résolution de problèmes et programmation des jeux
Traitement d'image :
 Segmentation et extraction de primitives
 Amélioration et restauration d'image
 Analyse multi-échelles, modèles déformables
...
Traitement des langues naturelles
Synthèse d'image :
 Modélisation et algorithmes
 Simulation, animation et visualisation
 Réalité virtuelle, réalité augmentée
...
Systèmes multi-agents et systèmes distribués
Tuteurs intelligents
Vision active et couplage perception-action
Vision dynamique :
 Traitement des séquences d'images
 Analyse du mouvement et trajectographie
...
Vision 3D et géométrie :
 Calibrage et géométrie des images multiples
 Mise en correspondance (image-image, image-modèle)
 Reconstruction de modèles à partir d'images (3D, mosaïques,...)

5. Thèmes de ECAI 2000 (European Conference on Artificial Intelligence)

Abduction	Genetic Algorithms	Qualitative Reasoning
AI and Creativity	Human Language Technology	Reactive Control
Adaptive Systems	Inductive Logic Programming	Real-time Systems
Affective Computation	Information Retrieval and Presentation	Reasoning about Actions and Change
Art and Music	Intelligent User Interfaces	Reinforcement Learning
Automated Reasoning	Knowledge Acquisition	Resource-Bounded Reasoning
Autonomous Agents	Knowledge Representation	Reuse of Knowledge
Bayesian Learning	Lifelike and Believable Characters	Robotics
Belief Revision	Logic Programming	Scheduling
Case-Based Reasoning	Machine Learning	Search
Causal Reasoning	Meta-Heuristics for AI	Signal Understanding
Cognitive Modelling	Model-Based Reasoning	Spatial Reasoning
Cognitive Robotics	Multi-Agent Systems	Speech Processing
Conceptual Graphs	Natural Language Processing	Temporal Reasoning
Constraint Programming	Neural Networks	Text Mining
Constraint Satisfaction	Nonmonotonic Reasoning	Theorem Proving
Constraint-Based Reasoning	Ontologies	Uncertainty in AI
Data Mining and Knowledge Discovery	Perception	User Modeling
Deduction	Philosophical Foundations	Verification and Validation of Knowledge-Based Systems
Description Logics	Planning	Virtual and Augmented Reality
Diagnosis	Probabilistic Networks	Vision
Distributed AI		

BIBLIOGRAPHIE

- S.DEHOENE, La bosse des maths, O.Jacob, 1997
H.FARRENY, M.GHALLAB, Eléments d'intelligence artificielle, Hermès 1987
D.HOSTADTER, Gödel, Esher, Bach, An eternal golden braid, Harvester Press, 1979
D.HOSTADTER, Gödel, Esher, Bach, Les brins d'une guirlande éternelle, Interéditions 1985
J.L.LAURIERE, Intelligence artificielle, résolution de problèmes par l'homme et la machine, Eyrolles 1986
N. NILSSON, Principes d'Intelligence artificielle, Cépadues, 1988
J.PITRAT, La naissance de l'Intelligence Artificielle, La Recherche n°70, octobre 1985
J.PITRAT, Historique de l'Intelligence Artificielle et retombées industrielles, AFCET-RFIA, 1985
J.PITRAT, Métaconnaissances, futur de l'intelligence artificielle, Hermès, 1990
J.PITRAT, Penser autrement l'informatique, Hermès, 1993
J.PITRAT, De la machine à l'intelligence artificielle, Hermès, 1995
E. RICH, Intelligence artificielle, Masson, 1987
R.SHINGHAL, Formal concepts in artificial intelligence, Chapman & Hall, 1991
G.TISSEAU, Intelligence artificielle, problèmes et méthodes, PUF, 1996
P.H.WINSTON, Intelligence artificielle, Interéditions 1988