



UNIVERSITE DE LYON II
86, rue Pasteur 69007 Lyon

département Sciences du langage

D. E. A.

SCIENCES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION
"CONCEPTION DE SYSTEMES D'INFORMATIONS SPECIALISEES"

L' ARCHITECTURE CONNEXIONNISTE APPLIQUEE A L'ANALYSE SEMANTIQUE



Marc TREMULOT

1990

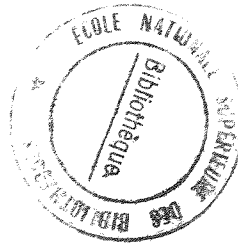
Responsable : P. DUPONT

SOMMAIRE

INTRODUCTION

PARTIE I LA LOGIQUE DU TRAITEMENT LINGUISTIQUE

1.1 La logique formelle	p. 5
1.2 Les limites de la métaphysique de la connaissance	p. 7
1.3 La logique mathématisée	p. 8
1.4 Les logiques nouvelles.	p. 12
1.4.1 Les logiques modales	p. 13
1.4.2 Les logiques temporelles	p. 14
1.4.3 La logique non monotone	p. 15
1.4.4 Les logiques multivaluées	p. 18
1.4.5 Les logiques floues et intuitionnistes	p. 21
1.4.6 Conclusion	p. 23
1.5 A propos des réseaux sémantiques	p. 24
1.5.1 La construction du contexte	p. 29
1.6 Dédution, induction ou la nature inductive du sens	p. 32



PARTIE II L'ARCHITECTURE CONNEXIONNISTE

1.1 Fondement conceptuel	p. 37
1.2 La métaphore du cerveau	p. 39
1.3 L'utilisation qualitative du bruit et du hasard	p. 45
1.4 Modélisation actuelle	p. 53
1.5 Application linguistique ?	p. 60

CONCLUSION

1.1 De la spécificité du langage	p. 67
1.2 Base de données et interrogation	p. 72

BIBLIOGRAPHIE

- PARTIE I

- PARTIE II

INTRODUCTION

L'objet de ce mémoire est de faire le bilan des logiques utilisées pour le traitement automatique de la langue naturelle et plus particulièrement ce qui concerne l'analyse sémantique.

Nous essaierons de décrire les méthodes de la logique formelle classique et celles des "nouvelles logiques" ainsi que de leurs difficultés à traiter la sémantique. Ce mémoire tente de répondre à la question :

La sémantique est-elle formalisable comme l'a été la morphologie et la syntaxe ?

On peut se poser cette question quand on regarde les lignes directrices des recherches actuellement faites par les "grands" de la recherche et plus précisément dans le secteur de l'Intelligence Artificielle.

H.SIMON, pionnier de l'I.A. vers 1955 reste sur ses positions de l'époque malgré les échecs relatifs des systèmes symboliques déclarant : "*L'intelligence artificielle n'a pas de limites... la grande inconnue, c'est le temps qui sera nécessaire pour y arriver* "

J. MC CARTHY, père du langage LISP travaille actuellement sur C.S.K. dont les axes d'études sont l'interaction d'événements, la corrélation entre apparence et réalité, la vision et l'anticipation, les relations entre les notions de croyances et de connaissances et l'étude de la communication comme processus dynamique.

T. WINOGRAD, concepteur du programme SHRDLU en 1972 qui simulait des comportements dans un micro monde travaille actuellement aux aspects inférentiels de la pensée. Il est influencé par le neuro-physiologiste MATURANA et se rapproche aussi de la théorie de F. VARELA quand il dit :

"L'expérience permet de comprendre les phénomènes sans que vous ayez besoin de les formuler".

A. BARR qui a étudié le problème de la méta-connaissance relativise maintenant la portée des systèmes experts dont les limites portent sur les problèmes d'apprentissage.

En effet, des systèmes comme MYCIN ne trouvent pas la bonne réponse dans les 5% des problèmes où justement les experts humains divergent (souvent pour des nuances assez floues d'ailleurs). BARR précise que les systèmes experts sont actuellement trop formels et déterministes ne faisant que comprendre, or on cherche à résoudre des problèmes par nature floue, nuancée et en perpétuelle évolution.

S. PAPERT, élève de PIAGET continue la voie de l'apprentissage à l'aide des logos en analysant la connaissance comme un processus d'interaction.

"C'est en utilisant les concepts qu'on les construit".

H. DREYFUS critique toujours avec justesse les fondements de l'IA et plus particulièrement les systèmes experts, admettant tout de même qu'un système apprenant par analogie inductive pourrait être équivalent à un expert.

Le projet de 5^{ème} génération au Japon semble muter par le fait d'une approche trop formaliste. Ce programme de développement informatique de traitement de la connaissance a choisi comme langage de base PROLOG. Cet outil intègre un moteur d'inférence fixe dont l'originalité est de faire une recherche exhaustive des solutions mais il a bien du mal à gérer l'augmentation exponentielle des calculs (1) et se retrouve pour être efficace, truffé de coupe-choix, ce qui en fait un outil de type heuristique. Or c'est la recherche en largeur d'abord qui permet d'obtenir des solutions réellement parallèles. C'est l'inflation des inférences qui a fait dire à D. BODROW en 1984:

"Si PROLOG est la réponse ... Quelle est la question ?".

Ainsi le projet a donc glissé vers l'ordinateur de 6^{ème} génération centré sur la physiologie, la neurobiologie, la psychologie, la linguistique et la logique.

L'outil connexionniste plus souvent appelé "neuro-ordinateur" ou "neuro-mimétique" est décrit dans la seconde partie de ce mémoire. Il est constitué d'axes pluri-disciplinaires dont j'essaierai de décrire les fondements ainsi que les premières applications et

1) processus de retour arrière ou "backtraking" causé par la recherche en profondeur d'abord sur une arborescence de solutions.

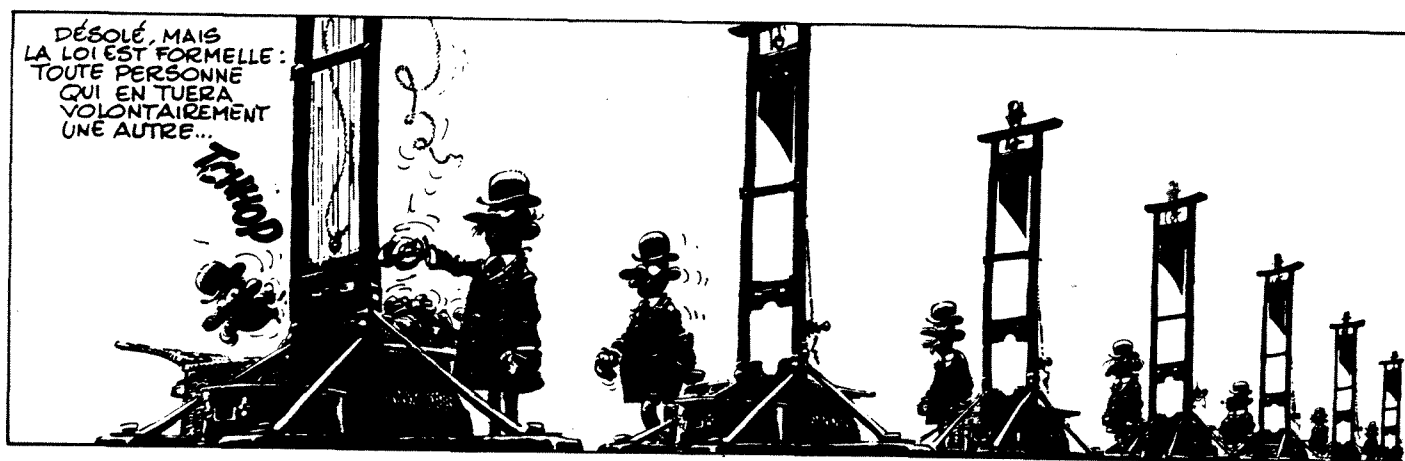
simulations. Ce modèle apporterait peut-être des réponses qualitatives pour la sémantique dans sa capacité à traiter des concepts d'une manière parallèle.

L'épistémologie de ce mémoire est une dialectique qui tente de dépasser les contradictions de chaque modèle vis-à-vis de l'objet réel qu'est la langue naturelle afin de conceptualiser des outils qualitatifs - formel ou non - permettant de traiter les aspects sémantiques.

Postulant l'existence d'objets en dehors de notre conscience, on se doit à l'aide d'un autre niveau d'abstraction de pénétrer l'inconnu qui résiste à l'analyse dans une confrontation constante de la théorie avec la pratique. Déstructurer la langue naturelle via un outil conceptuel plus proche de la réalité objective permettrait de cerner où se situe la nature spécifique de la sémantique par rapport à la morphologie et la syntaxe. Cette nouvelle explication théorique transforme la langue en un autre objet de pensée que l'on doit confronter à l'épreuve des faits pour en juger la valeur explicative. Ce va et vient permet de mieux saisir l'objet concret.

Il est nécessaire de s'appuyer sur les stratégies existantes -la logique formelle, le connexionnisme- afin de voir les contradictions qui émanent de leur confrontation avec le traitement sémantique de la langue naturelle et de tenter de dépasser celles-ci.

PARTIE I - LA LOGIQUE DU TRAITEMENT LINGUISTIQUE



1.1 La logique formelle

"Les événements futurs ne peuvent être déduits des événements présents. L'enchaînement causal est une superstition".

L. WITTGENSTEIN - Tractatus Logico - Philosophicus. 1921

La logique formelle s'exprime dans un continuum temporel mais a-t-elle un avenir ? De fait tous les processus de mise en forme logique se situent dans une démarche déductive, or celle-ci n'apporte aucune information nouvelle de par ses conclusions.

Elle ne fait que décrire une forme **après** un énoncé en postulant une séparation momentanée du contenu de celui-ci. L'aspect temporel de l'élimination du sens n'est pas une suppression totale mais une frontière conceptuelle nécessaire à l'abstraction. Cette négation enveloppe ce qui est mis à l'écart et ne prend sa forme réelle qu'avec le retour de l'énoncé c'est-à-dire dans l'unité du contenant avec le contenu. La proposition n'est qu'une matérialisation de la pensée qui doit être cohérente pour être valable malgré sa nature contradictoire.

A l'intérieur de cette séparation fictive on tente de définir un système fermé et déductif basé sur la tautologie, principe d'identité qui apparaît peu satisfaisant.

La logique formelle "classique" utilise le syllogisme d'ARISTOTE du point de vue de "l'extension" c'est-à-dire par inclusion du plus grand terme avec le plus petit en fonction de son aspect numérique (tous, être) - calcul des prédicats -.

L'identité tautologique répète ce qui a été donné dans les hypothèses d'où la tendance à se fermer dans un cercle vicieux puisque la conclusion n'apporte aucune information nouvelle. Elle ne donne que le contenu dans sa forme limite.

"Tout homme est mortel, A
Socrate est homme, B
donc Socrate est mortel" C

Mais on peut analyser le syllogisme en "compréhension" dans laquelle chaque terme est pris selon sa qualité, ce qui fait que la première proposition **A** devient une hypothèse, la seconde **B** un moyen terme et la troisième **C** une conclusion - calcul des propositions -.

Une conclusion amène une information nouvelle qui porte l'essence de l'être déterminé. ARISTOTE a bien formulé là un mouvement d'idée , un contenu mis en forme dont l'axe fondamental est la conclusion et son caractère dynamique le moyen terme. Comme mouvement essentiel de la pensée, il a toute sa qualité créatrice, cependant la logique formelle n'utilise que des essences (ou propriétés) figées sans liens entre elles, ce qui a tendance à limiter la portée de l'analyse.

1.2 Les limites de la métaphysique de la connaissance

Le principe d'identité qu'ARISTOTE a mis en forme est bien un moment (1) essentiel de la pensée humaine. En situant son activité sur son propre plan, l'être humain commence à se dégager des solutions révélées de nature religieuse tout en restant prisonnier dans cette tentative entre la science et les mythes (2).

L'impasse métaphysique de la pensée grecque provient du contexte dans lequel elle s'est développée. Elle restera statique (géométrique et contemplative) parce que faite par des hommes "libres", ces aristocrates pensaient à partir d'une position sociale détachée totalement de la réalité matérielle de la société. Le contact avec la pratique était abandonné aux artisans et aux esclaves. Le monde des idées était donc séparé de la transformation de la matière. La fragilité politique et économique de la cité grecque fait reculer les premiers principes de la raison humaine vers la métaphysique d'un monde idéal afin de contrer ce sentiment d'éphémère. De fait, les progrès scientifiques ne se développeront que quand sera cassée cette séparation entre la pratique et le travail de la pensée.(3)

1) dans le sens d'un mouvement évolutif de la pensée.

2) entre le défini -le monde réel grec- et l'indéfini -le mobile, le continu- , entre la détermination logique et le substrat des propriétés donc entre Héraclite et Parménide.

3) Quand DESCARTE applique le nombre à la géométrie et les mathématiques à la réalité physique rompant par les faits cette séparation. Le discours de la méthode (Leyde 1637) se forge aux contacts avec Plémpius, Shooten, Huygens et paraît en même temps que la Dioptrique, les Météores et la Géométrie, alors que Bacon et Kepler avaient déjà ouvert le chemin des lumières.

1.3 La logique mathématisée

L'utilisation des mathématiques permet d'effectuer des calculs de propositions, de classes, de relations et de prédicats. Mais quand on quantifie on prend le risque d'éliminer la qualité.

$$A \Rightarrow B, B \Rightarrow C, A \Rightarrow C$$

Cette substitution des semblables - S. JEVONS - se rapproche du raisonnement mathématique. Mais toutes propositions mêmes atomiques du type $R(x)$ dans laquelle x est un individu de l'ensemble R est une relation dont la vérité ou la fausseté ne peut être connue qu'empiriquement (1). Il faut donc sortir du calcul et considérer le contenu pour juger.

Pour calculer on a construit des systèmes logiques qui sont constitués par la définitions des termes premiers ainsi que de propositions premières qui forment les règles. A partir de celles-ci on déduit des axiomes qui permettent de définir des théorèmes. L'axiome sert de régleme autorisant ou non des opérations. On peut considérer ce système comme un vase clos qui doit être consistant (tel qu'on ne peut démontrer une formule et son contraire), complet (qu'entre deux formules contradictoires on puisse toujours en démontrer une) et décidable (qu'on puisse toujours décider du vrai ou du faux). Or en autodéfinissant ces outils formels on fait déjà un choix subjectif qui peut toujours être critiquable.(2)

Cette rigueur interne à la construction a tendance à faire oublier qu'elle est échaffaudée sur une séparation momentanée du contenant (la forme) et du contenu (le sens). Certains iront jusqu'à considérer qu'un cadre symbolique de ce type est un système de signes avec les règles de leurs emplois, ce qui en fait une langue. On prendra alors en compte les termes linguistiques de "syntaxe" et de "sémantique" sans préciser le contexte dans lequel ils s'utilisent.

1) RUSSEL; WHITEHEAD - Principia Mathematica - 1925

2) On peut, du fait du seul principe tautologique d'identité critiquer le symbole de négation introduit par Russel. En effet, le négatif réel n'est pas le positif affecté d'un autre signe (non quelque chose), "Aller vers l'ouest n'est pas seulement ne pas aller vers l'est" HEGEL - Grande Logique -.

Cette démarche fait passer rapidement le construit pour du réel et provoque l'utilisation du calcul déductif dans un monde clos sans lien avec la méthode qui le fonde, d'où les paradoxes de méta-meta définitions logiques qui tournent en cercles vicieux (1).

Le contexte de séparation dans lequel s'effectuent ces calculs doit être rappelé mais quand ?

On ne peut aller éternellement dans un calcul déductif sans se perdre même si selon Wittgenstein, on peut déplacer cette frontière entre analyse et synthèse, jusqu'où maintenir cette partition ?

Ne doit-on pas à un moment ou un autre revenir au fait, au contenu irréductible de la réalité qu'enveloppe la pensée mathématique pour retrouver un sens limité mais valable ?

"Or il clair que pouvoir utiliser effectivement ces structures dans ces mécanismes élaborés de raisonnements, un programme doit connaître le sens des mots" Sabah g. (2)

Mais les valeurs de vérité de la logique formelle sont booléennes, il y a donc un décalage important entre le formalisme de la logique et l'énoncé linguistique. Le choix des connecteurs reste réducteur et représente assez mal ceux de la langue naturelle.

La logique formelle est un schéma déductif de représentation contenant une syntaxe interne dont on ne précise le sens que des connecteurs et des quantificateurs.

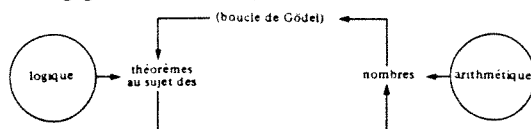
nom	symbole usuel	type	autres symboles
négation	\neg	monadique	\sim , not , non
conjonction	\wedge	dyadique	& , . , and , et
disjonction	\vee	dyadique	 , or , ou
implication	\supset	dyadique	\Rightarrow , \rightarrow
équivalence	\equiv	dyadique	\Leftrightarrow , \leftrightarrow , \sim

Les quantificateurs sont :

\forall = pour tout

1) QUINE, TARSKI, GÖDEL. La problématique de l'époque était de savoir dans quelle mesure les langages formels pouvaient parler d'eux-mêmes. GÖDEL a prouvé l'indécidabilité d'expressions bien formées en mettant en correspondance bouclée chaque symbole d'un langage avec un nombre, de tel sorte qu'un théorème à propos des nombres corresponde aussi à un nombre. Le paradoxe de GÖDEL semble parvenir aussi de la tentative d'expliquer des mécanismes à partir d'un modèle donné alors que leurs racines causales sont plus profondes ou différentes.- cf Nagel & Newman - GÖDEL's proof - N.Y. University Press, 1965.

2) L'Intelligence Artificielle et le langage, éd. Paris : vol 1, PP. 159.



\exists = il existe

Les symboles de base sont des ensembles de constantes, de variables, de prédicats ou de fonctions.

Le calcul des propositions qui provient de stoïciens est plus proche de nous, déjà Peirce, Frege, Peano dépassaient le calcul des prédicats à l'intérieur de chaque phrase (décrit par Aristote) par son degré supérieur d'abstraction. La loi principale est le principe d'identité formelle qui pour tout $A, A_1, \dots, A_n \Rightarrow B$ est correcte si toutes les interprétations A_1, A_2, \dots, A_n sont vraies alors B est vraie. Cette inférence appelée Modus Ponens est une tautologie.

Il y en a eu d'autres comme celle du tiers exclus et de contradiction qui sont de type alternative et celle plus curieuse de la double négation. On utilise aussi la commutativité, l'associativité et la distributivité pour gérer les inférences.

a/ Concernant les règles syntaxiques internes

* prédicat

- . Un atome est une expression du type $s = t$ où s et t sont des termes
- . Un atome est une formule.
- . Si A est une formule, alors *non-A* aussi.
- . Si A et B sont des formules,
alors $(A \vee B), (A \wedge B), (A > B), (A \equiv B)$ sont des formules.
- . Si A est une formule et x une variable,
alors $x A$ et $\forall x A$ sont des formules

* Proposition

- . Toute proposition est une formule.
- . Si x et y sont des formules, alors $\neg x$, $(x \vee y)$, $(x \wedge y)$, $(x \supset y)$, $(x \equiv y)$ sont des formules.

b/ Concernant la sémantique interne à la logique

Elle doit être faite en fonction de ses constituants c'est-à-dire compositionnelle. Les connecteurs sont vérifonctionnels tel que la valeur de vérité à une formule du type (x,y) sera connue dès que seront connues les valeurs de vérité de x et y .

Les valeurs de vérité se limitent au *vrai* ou *faux*.

* Prédicats :

- . Les classes de formules (valides, consistantes, décidables) ne sont pas récursives donc nécessitent pour la consistance la définition d'un domaine de référence.
- . Une forme clausale est inconsistante si et seulement si elle est fautive pour toutes les interprétations du domaine de Herbrand (1).

* Proposition :

. Preuve par réfutation : une contradiction est inférée à partir des règles et de la négation du but.

. Clause de HORN : peut être assimilée à une règle de réécriture spécifique (2)

La logique du calcul des prédicats du premier ordre est une particularisation du calcul à un domaine déterminé dans lequel les quantificateurs ne peuvent porter que sur des variables, elle fait partie des calculs de base de la logique formelle classique.

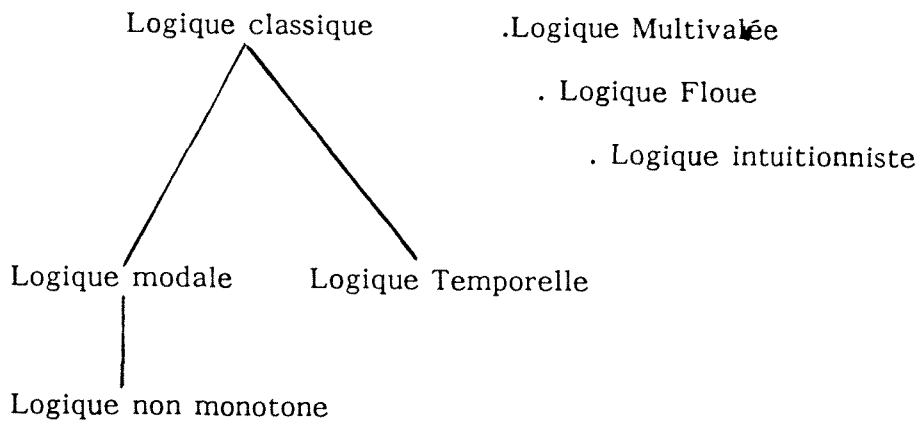
1) voir A. THAYSE - Approche logique de l'Intelligence Artificielle - tome 1 , pp. 31, éd. Paris DUNOD 1988.

2) op. cit. A. THAYSE pp. 57.

1.4 Les nouvelles logiques ?

Les limites de la logique formelle classique ont poussé des logiciens à chercher des systèmes plus riches afin de se rapprocher de la langue naturelle. Les logiques modales et temporelles découlent de la logique classique mais font intervenir des nouveaux opérateurs pour refléter au mieux la souplesse d'expression du langage humain. D'autres s'opposent d'une manière virtuelle en refusant certains théorèmes cherchant à enrichir la conclusion sèche du vrai et du faux. Elles se nomment multivaluées, plurivalentes, floues ou intuitionnistes.

Arbre



— liens directs

1.4.1 Les logiques modales

Le cadre général de ces logiques est d'ajouter des opérateurs aux quatre modes déjà définis par Aristote et de les faire porter sur le calcul des propositions.

Ainsi aux modes que sont le nécessaire, l'impossible, le possible et le contingent, C. LEWIS (1) a voulu renforcer la notion d'implication en poussant la tautologie à son paroxysme afin d'éviter le paradoxe de la logique classique (2).

$$\begin{aligned} N F &= \neg P (\neg F) && (F \text{ est } \textit{n\u00e9cessaire} \text{ si non } F \text{ n'est pas possible}) \\ I F &= \neg P (F) && (F \text{ est } \textit{impossible} \text{ s'il n'est pas possible d'avoir } F) \\ C F &= P (\neg F) && (F \text{ est } \textit{contingent} \text{ si non } F \text{ est possible) ...} \end{aligned}$$

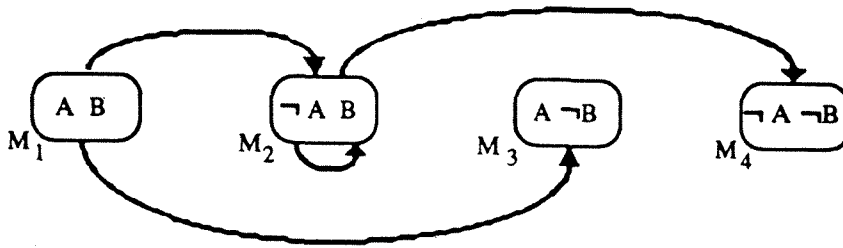
Cette relation qualifiée de stricte ne repose pas sur des fonctions de vérité dans le sens où les opérateurs modaux ne sont pas des foncteurs de vérité.

La valeur de vérité repose alors sur la notion de monde possible (M_i) et une relation d'accessibilité entre eux définie par Kripke (3).

1) - Implication and Algebra of logic - Mind, vol. 21, 1912.

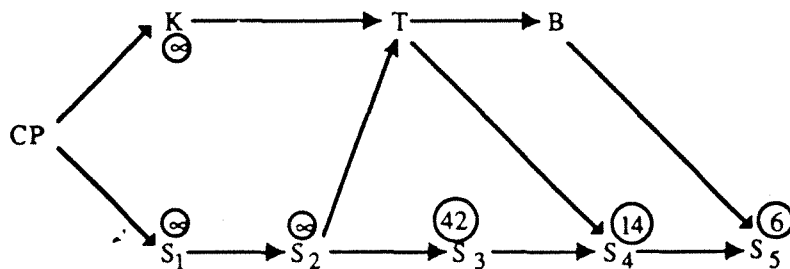
2) Le paradoxe classique est une simple jonction de faits (assertorique) entre deux propositions, alors que celle de Lewis est une liaison directe des prémisses à ses conséquences (apodictique) signifiant qu'on ne peut avoir à la fois p vrai et q faux donc que si p est vrai q est nécessairement vrai, ce qui correspond à l'implication tautologique.

3) - Naming and necessity, in semantics of natural language - éd. Harman & Davidson, Reidel, 1963. Il y a une nouvelle édition à Basil Blackwell, Oxford, 1980.



Relation d'accessibilité entre mondes.

C. LEWIS a défini diverses axiomatiques qui vont de S1 à S5 dans lesquelles le caractère strict de l'implication s'affaiblit en même temps que diminue le nombre des modes irréductibles. Soit pour S1 une superposition indéfinie des modes et pour S5 une réduction de tous les modes complexes aux quatre classiques d'Aristote.



Selon les rares applications informatiques existantes, il faut fixer les propriétés d'accessibilité entre les mondes et une interprétation précise des modalités. (1) Le fait que le calcul de propositions devienne non contradictoire dans son passage de S1 à S5 en fait un système indécidable car plus il gagne en complétude moins il est consistant (2).

1.4.2 Les logiques temporelles

La modification que provoque le temps sur les verbes a inspiré les logiciens pour construire une logique voisine des systèmes modaux. On prend un ensemble d'instants que l'on rapporte à un monde possible. Les modalités sont du type :

1) C'est le cas pour la logique "déontique" dont les applications concernent les connaissances juridiques ainsi que les raisonnements pour porter des jugements. D'autres comme les logiques "épistémiques" utilisent le même modèle pour formaliser ce qui correspond au savoir et ce qui revient à l'opinion dans le cadre des dialogues homme/machine. Mais les systèmes développés sont très complexes et incomplets puisqu'ils débouchent sur le paradoxe de l'omniscience qui fait que si l'on sait quelque chose on en connaît toutes les conséquences. ((K F) et (F G)) (KG).

2) cf. les critiques de QUINE et l'analyse faite par S. HAACK - Philosophy of logics - Cambridge university Press, 1978 pp.193;194.

- F A comme "à partir de maintenant, A sera toujours vrai"
- G A comme "A sera vrai à un moment donné"
- P A comme "A a toujours été vrai dans le passé"
- Q A comme "A a été vrai à un moment donné"

D'après la conception du temps (minimal, arborescent, linéaire), on attribue des contraintes d'accessibilité aux mondes construits. La valeur de vérité d'une formule dépend ainsi de l'instant où elle est énoncée. Bien que la notion du temps soit éternellement discutable cette logique a provoqué des extensions intéressantes. Cette volonté de tenir compte du temps via une unité discrète a une cause bien matérielle qui a pour effet de relativiser la notion de conclusion dans un énoncé.

De plus, on a conceptualisé une relation entre logique temporelle linéaire et les automates d'états finis en modélisant l'extraction automatique des preuves. Celle-ci sera à la base de la vérification des programmes informatiques parallèles (1).

Par ailleurs, La relation temps/événements semble intuitivement riche de potentiel et des chercheurs tentent d'étudier cette jonction afin d'en dégager les propriétés structurelles(2), ce qui n'est pas sans rapport avec l'approche d'autres concepteurs dont nous verrons le développement dans la seconde partie. Plus fondamentalement cette extension permet de modérer l'aspect intemporel de la logique formelle classique en la rapprochant du traitement automatique qui est par nature temporel.

1.4.3 La logique non monotone ou le raisonnement révisable

C'est une tentative de formuler une conclusion d'une manière évolutive par l'introduction de nouveaux axiomes qui peuvent invalider des théorèmes (3). Le caractère non monotone modifie les exigences de la logique classique concernant la

1) THAYSE et co-auteur - Approche logique de L'I.A., éd. Dunod, tome 2, chap.4, 1989.

2) Kamp - "Some remarks on the logic of change, in time, tense and quantification", actes de la conférence Logic of tense and quantification, North Holland 1980. I. Van Benthem - The logic of time - Reidel, 1983.

3) D. MC DERMOTT; J. DOYLE - Non monotonic Logic I et II 1980, 1982, Artificial Intelligence N° 13.

D.MC DERMOTT - A temporal logic for reasoning about processes and plans - Cognitive Science, Ablex Publishing Corp, New Jersey, N° 6, 1982.

validité du raisonnement déductif (1) et construit une relation d'inférence particulière permettant de conclure même lorsque tous les prémisses ne sont pas vérifiés.

Les formules inférées n'en doivent pas moins être consistantes entre elles et vis-à-vis des prémisses.

soit :

Logique classique :

. Si p est un théorème et si q est un théorème alors R est un théorème aussi.

Logique non monotone :

. Si p est un théorème et si $non-q$ n'est pas un théorème alors R est un théorème.

Le nombre de conclusion doit pouvoir décroître lorsque le nombre de prémisses augmente et la valeur de vérité devient aléatoire selon l'évolution des propositions. De plus, une prise de décision peut être faite malgré une information incomplète.

Les règles d'inférence sont prise en compte dans un système modal donné selon l'axiomatique classique :

1. Schémas d'axiomes classiques (Kleene) :

$$(a) p \supset (q \supset p),$$

$$(b) (p \supset (q \supset r)) \supset ((p \supset q) \supset (p \supset r)),$$

$$(c) (\neg q \supset \neg p) \supset ((\neg q \supset p) \supset q),$$

$$(d) (\forall v)p \supset p_{v/t} \text{ (où } v \text{ est libre pour } t \text{ dans } p),$$

$$(e) (\forall v)(p \supset q) \supset (p \supset (\forall v)q) \text{ (si } v \text{ ne figure pas dans } p \text{ et n'est pas lié dans } q).$$

Si le système d'inférence non monotone semble opératoire, le choix des modes reste discutable. La tentative d'intégrer des connecteurs plus souples et des calculs moins strictes ne dépasse pas les limites déjà décrites des opération déductives. Même non-monotone les ensembles stables de conclusions que l'on appelle "points fixes" restent

1) Les règles de réécriture respectent le fait :

- d'inférer une conclusion identique aux prémisses,

- qu'un résultat n'est pas remis en cause,

- que tous les résultats intermédiaires renforcent la validité de la conclusion.

Ceci donne un caractère monotone à la la logique classique parce l'ensemble des déductions qu'elle peut faire est invariant.

assez indécidables : des conclusions plausibles pouvant se faire à partir de prémisses incomplètes.

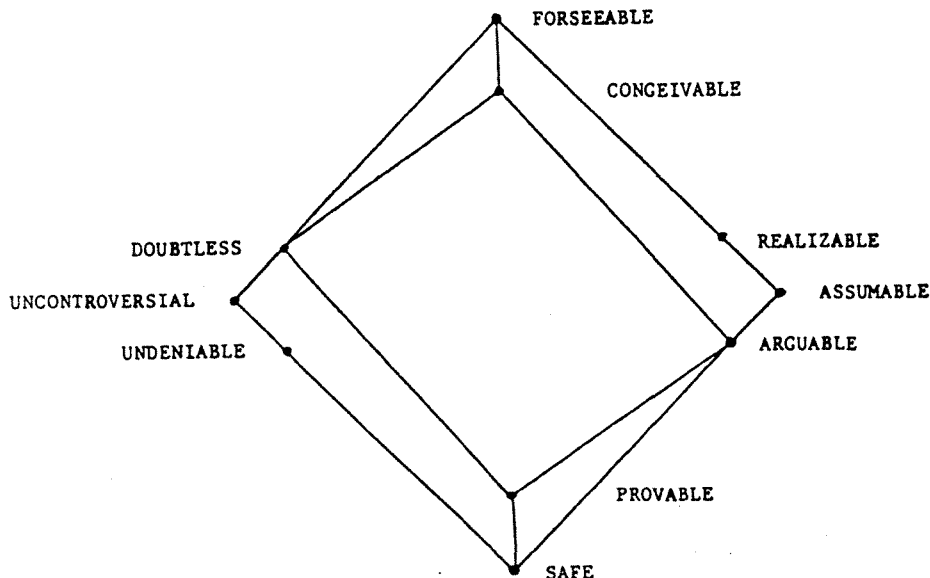
2. Schémas d'axiomes modaux :

- (a) schéma d'axiome de la connaissance : $Lp \supset p$,
- (b) schéma d'axiome de distribution : $L(p \supset q) \supset (Lp \supset Lq)$,
- (c) schéma de Barcan : $((\forall v)Lp) \supset L(\forall v)p$,
- (d) schéma de l'introspection positive : $Lp \supset LLp$,
- (e) schéma de l'introspection négative : $Mp \supset LMp$.

3. Règles d'inférence :

- (a) règle du Modus Ponens : $p, p \supset q \vdash q$,
- (b) règle de généralisation universelle : $p \vdash (\forall v)p$,
- (c) règle de nécessité : $p \vdash Lp$,
- (d) règle d'inférence non monotone :
"On ne peut inférer $\neg p$ " $\vdash Mp$.

La non-monotonie est surtout utilisée actuellement dans des études théoriques. Une "croyance" dans la logique épistémique de MOORE (1) devient un "raisonnement par défaut" (2) utilisable pour analyser les aspects implicites du langage naturel (3).



1) MOORE - Semantical considerations on non monotonic logic - 1983.

2) R. REITER - A logic for default reasoning - Artificial Intelligence, N° 13, pp. 81, 313, 1980.

3) MC CARTHY - Circumscription : a form of non-monotonic reasoning - Artificial Intelligence, N°13 pp.27,39, 1980.

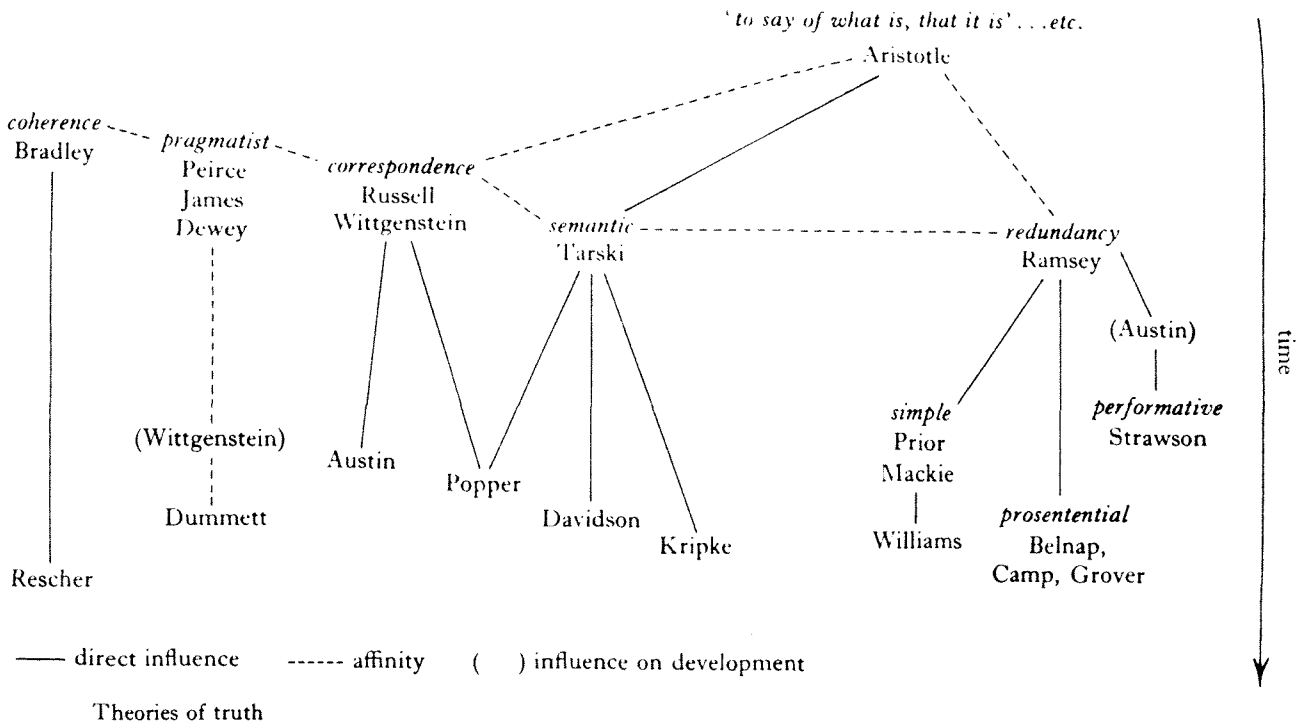
1.4.4 les logiques multivaluées

Ces systèmes ont été conçus pour étendre la logique classique tout en gardant les concepts de base. La seule modification est la remise en cause de la dichotomie entre le vrai et le faux afin de se rapprocher des aspects plus ou moins contradictoires des énoncés de la langue naturelle. Cette évolution est d'autant plus nécessaire que s'est développé le système booléen puis binaire du 0 et du 1 en informatique. De fait, la rigueur dont a besoin le calcul mathématique devient un inconvénient majeur pour décrire la souplesse de la langue naturelle, mais aussi des problèmes en physique quantique (1) dont les observations contredisent les lois classiques de la physique.

Reichenbach et d'autres ont eu besoin de qualifier la double mesure de la position d'une particule et son énergie cinétique pendant un instant considéré comme significatif (2) ayant les propriétés ni du vrai, ni du faux mais d'indéterminé. De plus, la notion de vérité et son contraire a oscillé dans l'histoire de la logique.

1) H. REICHENBACH - Philosophie foundation of quantum mechanics - CA U. P. 1944.

2) Heisenberg proposait la double indication à un instant donné considéré comme insignifiant.



Or, si on veut garder une certaine cohésion avec la logique classique tout en remettant en cause les valeurs de vérité, il faut ajouter une notion noté "?" qui sera modulaire en fonction du contexte, ce qui donne pour une logique à trois valeurs (vrai - faux et ?) les tables suivantes.

A	$\neg A$
V	F
F	V
i	?

A \circ B	B		
	V	F	i
V	V	F	?
A F	F	F	?
i	?	?	?

A \cup B	B		
	V	F	i
V	V	V	?
A F	V	F	?
i	?	?	?

A \supset B	B		
	V	F	i
V	V	F	?
A F	V	V	?
i	?	?	?

Les travaux de Kleene à propos des propositions indécidables ont permis de donner une valeur i calculable selon une échelle de vérité à P valeur. Si les présupposés d'une affirmation sont faux, ils prennent dans la table de vérité la valeur i . C'est avec cette logique que l'on tente d'avancer dans le domaine du dialogue homme/machine (1).

Le système de Lukasiewicz (2) repose lui sur le dilemme d'Aristote pour qui, lorsqu'une chose future est considérée ni vrai, ni fausse une des valeurs est acculée au fatalisme. Cette vision du futur dûe au contexte de la pensée grecque est transposée par l'auteur en une logique trivalent qui obtient quelques tautologies mais reste incomplète dans le traitement de l'implication. $V = 1$, $F = 0$ et $i = 1/2$.

Par ailleurs, une proposition récente(3) étudie une logique de l'instable qui prend en compte des propositions dont la valeur de vérité peut changer au cours du temps mais qui est maintenue dans le calcul.

Des questions restent malgré tout en suspens, la souplesse recherchée par ces logiques qui tentent de traiter du sémantique (paradoxe des présuppositions, interprétation de certains quantificateurs) est-elle compatible avec les outils binaires qui font les calculs ?

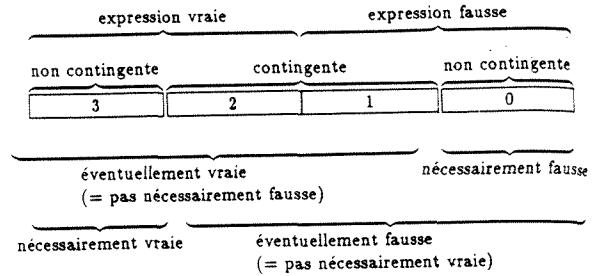
1) J. VERONIS - Contribution à l'étude de l'erreur dans le dialogue homme/machine en langage naturel - Thèse de l'Université AIX-MARSEILLE III, 1988.

2) J. Lukasiewicz - On three valued logic - in Polish Logic et Mc call Oxford university Press, 1967.

3) P. Cornu - Une logique de l'instable - Acte MARI, La Vilette, 1987 pp. 98,103.

De fait, certains mots ou expressions de la langue naturelle gardent leurs caractères intuitifs et imprécis et restent rétifs au traitement automatique.

F	-F	F \ G	F ∧ G			F ∨ G			F ⊃ G			F ≡ G		
			0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2
0	2	0	0	0	0	0	1	2	2	2	2	2	1	0
1	1	1	0	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1
2	0	2	0	1	2	2	2	2	0	1	2	0	1	2



1.4.5 Les logiques floues et intuitionnistes

La plus importante de ces logiques a été théorisé par Heyting (1) et justifié par des mathématiciens. Le débat tient ses sources de la discussion sur le status des mathématiques et des liens avec la logique.

Pour l'école intuitionniste les mathématiques ne peuvent être que constructives et donner à un énoncé une valeur de vérité qui ne provient de son seul sens mais aussi de ses relations avec ses moyens de vérification en terme de preuve(2). Ceci a pour conséquence de relativiser la portée explicative de la logique formelle dont le rôle serait de découvrir à postériori les principes de raisonnement. Cependant il faut reconnaître que Brouwer conçoit les mathématiques d'un point de vue métaphysique, comme une activité intellectuelle pure et non en relation avec la matière selon le point de vue de Hilbert qui réfléchissait aussi sur la nature des mathématiques et de la logique. Ces études ont pour conséquence le rejet de la notion d'infini et la bivalence entre le vrai et le faux.

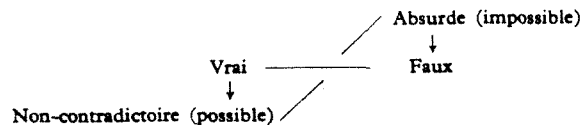
Hilbert précise que le principe du tiers exclu a pour signification une contradiction binaire, or le tiers ne peut être que le troisième terme qui permet la résolution d'un problème (3). Ce principe figure parmi les théorèmes dans le calcul de Russel et non

1) A. Heyting - Intuitionism - North Holland, 1956.

2) Brouwer et son école.

3) Hilbert postule que les mathématiques ont un contenu qui ne provient pas de la logique pure mais un objet concret extra-logique immédiatement perçu, antérieurement à toute pensée- Sur l'infini - Acta Mathematica to XL, VIII pp. 101, 121.

dans les axiomes, sa remise en cause provoque donc la réécriture entière d'une axiomatique. Le système logique de Heyting est composé de 11 axiomes qui redéfinissent le sens des notions primaires de négation, conjonction, disjonction et d'implication.



1. $p \rightarrow (p \& p)$
2. $(p \& q) \rightarrow (q \& p)$
3. $(p \rightarrow q) \rightarrow ((p \& r) \rightarrow (q \& r))$
4. $((p \rightarrow q) \& (q \rightarrow r)) \rightarrow (p \rightarrow r)$
5. $q \rightarrow (p \rightarrow q)$
6. $(p \& (p \rightarrow q)) \rightarrow q$
7. $p \rightarrow (p \vee q)$
8. $(p \vee q) \rightarrow (q \vee p)$
9. $((p \rightarrow r) \& (q \rightarrow r)) \rightarrow ((p \vee q) \rightarrow r)$
10. $\neg p \rightarrow (p \rightarrow q)$
11. $((p \rightarrow q) \& (p \rightarrow \neg q)) \rightarrow \neg p$

Cette logique contient tous les opérateurs du calcul classique mais elle en définit d'autres qui semblent plus riches et facilite les formulations (1). Les logiques floues s'en sont inspirées pour autoriser des quantificateurs numériques autres que \forall et \exists tel "au moins-80%", voire des quantificateurs linguistiques comme "la plupart" etc.

1) R. Blanché - Introduction à la logique contemporaine - Paris : éd. Armand Colin, 1968.
Gabbay "Automated deduction", Springer Notes, in Computer Sciences, N°6, 1982.

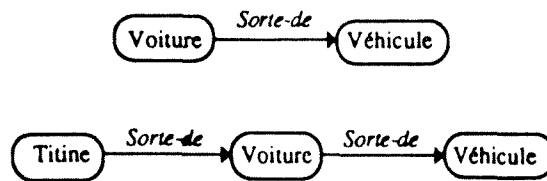
1.4.5 Conclusion

Qu'apportent de nouveau ces logiques ? On peut remarquer qu'elles reprennent toutes les postulats de la logique classique ou s'opposent "formellement" à sa volonté de tout décrire. Retravailler la syntaxe ou la sémantique des calculs propositionnels n'a fait que renforcer les tautologies et rendre plus complexes les résolutions. Prendre en compte des aspects concrets comme le temps ou les contradictions d'un raisonnement paraît justifié mais l'on se retrouve devant le choix ambigu des mondes de références à théoriser pour rester cohérent. Vouloir sortir du carcan du tiers exclu est compréhensible mais ces logiques se perdent trop souvent dans un calcul déductif incompétent à traiter du sens.

Ces recherches ont un mouvement global qui est de vouloir traiter du sémantique de la langue naturelle, or il semble que les outils utilisés jusqu'à maintenant ne soient pas adéquats avec cette volonté générale.

1.5 A propos des réseaux sémantiques

Une forme de représentation a permis quelques avancées dans le traitement de la sémantique en réalisant des dessins sous forme de graphes, leur utilisation contemporaine nous vient de C. Peirce (1) sous la forme de graphes existentiels. Ces dessins sont composés de noeuds (représentant des concepts) reliés par des arcs qui jouent le rôle de relation. Chaque noeud peut être connexe et comporter plus d'un ascendant.



Graphes élémentaires.

Cette représentation graphique peut servir à différents objets d'étude (2) mais nous nous limiterons au point de vue sémantique de la linguistique.

De quelle sémantique parle-t-on ? En effet, diverses définitions existent à son propos. D'une part la sémantique vériconditionnelle issue de Tarski, Montague, Cresswelle, qui étudie les rapports entre intention et extension et dont la portée ne se rapporte pas obligatoirement aux langues naturelles. D'autre part, la sémantique qui refuse de distinguer les signifiés des concepts (3) et travaille autour des relations entre signifiant/signifié (sens) et entre signifiés eux-mêmes (signification).

Le champ est donc limité aux langues naturelles et aide les chercheurs qui tentent de dépasser les conditions de vérité (4).

1) Le philosophe fut impressionné par les diagrammes des molécules en chimie organique et pensa que les graphes pouvaient simplifier les règles de la logique. Selon J. Sowa in - *Conceptual structures : information, processing in mind and machine* - Addison Wesley Publishing, Reading , MA, 1984.

2) Les noeuds peuvent représenter aussi des équations mathématiques comme l'a montré B. Raphaël - *The thinking computer mind inside matter*- San Francisco CA éd. Freeman, 1976.

3) Selon Saussure, les concepts ne sont que de simples corrélats psychiques des signifiés.

4) Schank et Wilks . Wilks a particulièrement discuté la L. sémantique de montague en montrant l'aspect aléatoire des conditions de vérité in *Philosophy of language* ,NY, Charniak & Wilks éd., 1976.

C'est finalement la modélisation du contenu linguistique(1) qui donne aux réseaux la capacité de traiter de la sémantique.

Les concepts sont au point de vue linguistique une abstraction formelle donc avec un caractère flou (2), selon l'importance que l'on donne au langage pour la pensée humaine. On peut dire qu'ils ont pour support privilégié le langage et comme contenu le résultat de la conjugaison de la logique intentionnelle et extensionnelle(3). Or si on suit F. Rastier, en assimilant chaque noeud à un contenu linguistique(4) on doit donner un rôle majeur aux arcs qui les joignent. Dans ce cas les liens ont un caractère extra linguistique qui ne relève d'aucune langue particulière.

"Nous en venons ainsi à inverser la problématique habituelle : les réseaux sémantiques ne seraient pas constitués de concepts reliés par des liens sémantiques mais fait de contenus linguistiques reliés par des liens conceptuels" (5)

L'engouement pour les réseaux sémantiques est essentiellement dû à leurs facilités à modéliser des raisonnements par composition de relation. Selon Hendrix un noeud représente une entité du monde , or sa conception l'amène à négliger la médiation réseau/connaissance.

1) Le contenu comprend selon F. Rastier le sens, la signification et la désignation soit l'ensemble des relations relatives à un signe linguistique in "La sémantique des réseaux", Quaderni di semantica vol. VIII, N°1, Juin 1987.

2) F. Rastier - op. cit. pp. 121,122, en relève au moins cinq :

1 - D'aspect philosophique et logique et sans rapport nécessaire avec les langues naturelles ni autres systèmes de signes. Le concept est alors une forme de la pensée humaine qui permet de dégager l'essence de la réalité objective - Kant, Hegel -

2 - D'aspect linguistique, il est un universel de représentation du langage mais pas relatif à une langue particulière, soit un noème - Martin , Pottier -

3 - Directement le signifié d'un morphème d'une langue naturelle ou sémème selon Gosériu, Pottier, Martin et en informatique un formula selon Wilks ou frame selon Charniak.

4 - La réduction de 1 à 2 soit un langage intérieur selon Fodor.

5 - La réduction de 1 à 2 ou 3 au même niveau conceptuel qualifié de sémantique selon Sowa.

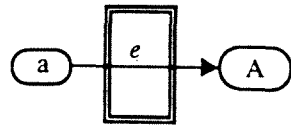
3) Le concept s'exprime le mieux possible par l'arbitraire des signes et s'enrichit de la combinaison des logiques.

4) Il qualifie de sémantique le niveau 2 de la classification pré-citée en note, les noeud peuvent être alors :

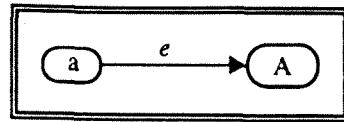
- Un sémème (noeud type) et ses composants, les sèmes (noeud, jeton) pour chaque plan défini par Quilliam dans un but lexicographique.

- une classe de morphèmes (ou suite de morphèmes, mots, syntagme) représentant un sémème pré-construit d'une langue quasi-naturelle comme le fait Sabah.

5) F. Rastier "sur la sémantique des réseaux" op. cit. pp.122, il s'oppose aussi à Shapiro pour qui les arcs des réseaux sont des relations non conceptuelles.

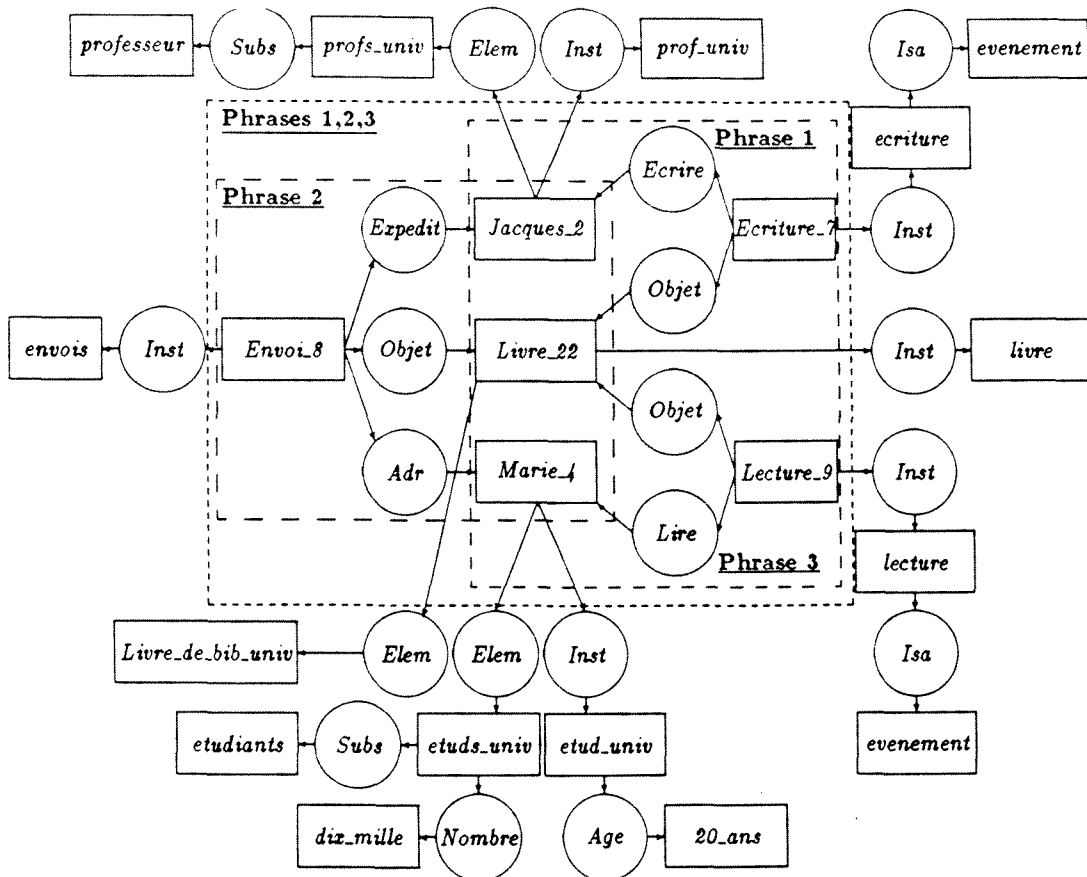


L'espace contient un seul fait.

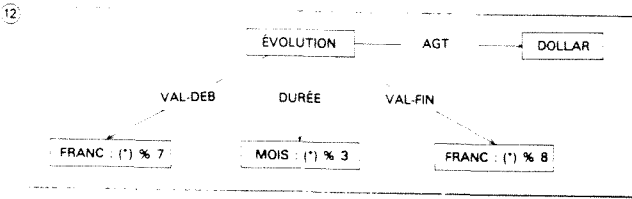
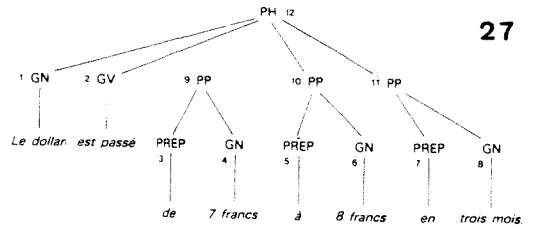
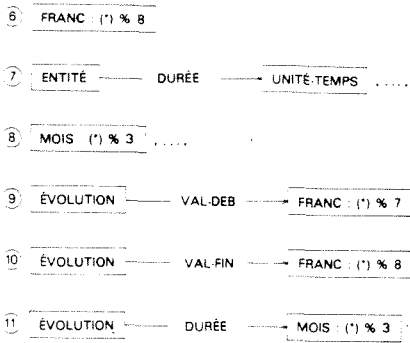


L'espace contient trois faits.

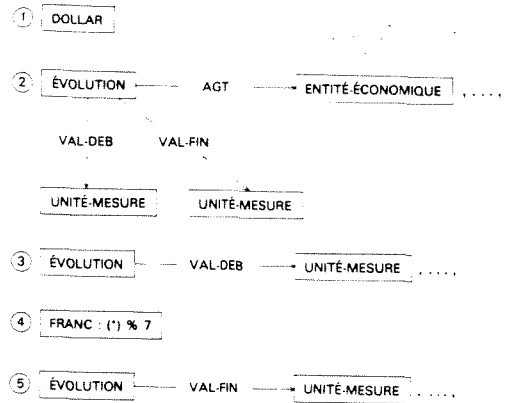
Par une notion d'espace, il représente des individus et des classes, il donne aux liens un rôle sémantique et reprend à son compte les connecteurs de la logique formelle et se lance dans un traitement similaire au calcul des prédicats de premier ordre. De plus, il ajoute à son système une logique modale avec laquelle il tente de représenter le contexte ce qui donne des graphes très complexes qui paraissent peu opératoires. Ceci conforte F. Rastier dans le fait que les réseaux soient irréductibles à la logiques des prédicats.



Hendrix



7. CONSTRUCTION DU GRAPHE CONCEPTUEL D'UNE PHRASE. On a représenté l'arbre syntaxique de la phrase *Le dollar est passé de 7 francs à 8 francs en trois mois* et numéroté les sommets de cet arbre. Dans la partie inférieure de la figure, on a indiqué les graphes conceptuels construits, pas à pas, pour chacun des sommets de l'arbre syntaxique, avec dans chaque cas les diverses possibilités que le système rencontre. En bas, on a indiqué le graphe conceptuel représentant la phrase complète.



J. Sowa (1) échaffaude une théorie intéressante tout en conservant un calcul déductif dans l'analyse sémantique. Il utilise une opération d'appariement de graphe conceptuel qui est basée sur des règles d'inférence classique mais celles-ci se trouvent limitées par le nombre de concepts traitables avec un ordinateur booléen, ce qui oblige à restreindre les applications dans un domaine très précis. D'autre part, J. Fargues (2) en vient à poser les limites de la déduction analytique pour traiter "cette connaissance de nature synthétique" qui échappe à la logique de ce modèle.

S. Fahlman (3) est le premier à avoir fait la relation entre les réseaux sémantiques et le fonctionnement du cerveau en mettant la sémantique non pas dans les noeuds mais dans les interconnexions dans le cadre d'un réseau à propagation de marqueurs hautement parallèle. Il utilise deux types de noeuds, les premiers qualifiés d'individus et les seconds de classes qui servent de description schématique autorisant la création de x copies individuelles et ainsi la recopie virtuelle du contexte par héritage des noeuds "parents" vers les noeuds "enfants".

Un concept est alors un couple de noeuds limité par la quantité des liens pouvant relier des noeuds, ce réseau permettait une gestion des exceptions et la considération du contexte en faisant appel à des logiques modales et non monotones. Réalisé qu'au

1) - Conceptual structures - Reading MA, Addison-Wesley, 1984.

2) J. Fargues, " Des graphes pour coder le sens des phrases", in *Pour la Sciences*, N° 137, Mars 1989, pp. 52-60.

3) S.E. Fahlman - NETL : a system for representing and using real word knowledge, MIT Press, Cambridge MA, 1979.

Phrase

L'avocat verdit lorsqu'il entendit...

ANALYSE MORPHOLOGIQUE ET LEXICALE

DICTIONNAIRE SYNTAXIQUE
DE MOTS ET D'EXPRESSIONS

RÈGLES DE CONJUGAISON ET DE DÉCLINAISON

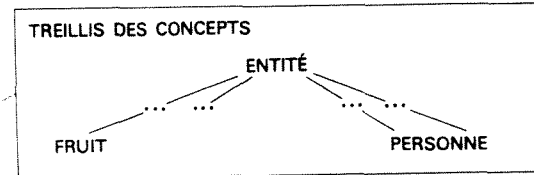
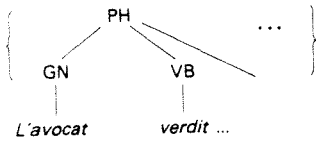
Classes syntaxiques

substantif (*avocat*, masculin, singulier)
verbe (*verdir*, indicatif, présent, troisième personne, singulier)
...

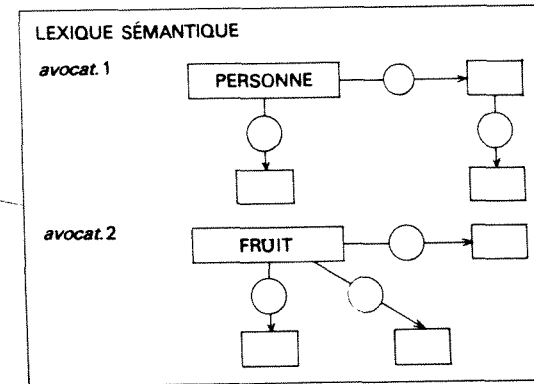
ANALYSE SYNTAXIQUE

GRAMMAIRE FORMELLE DU FRANÇAIS
PH ← GN.VB

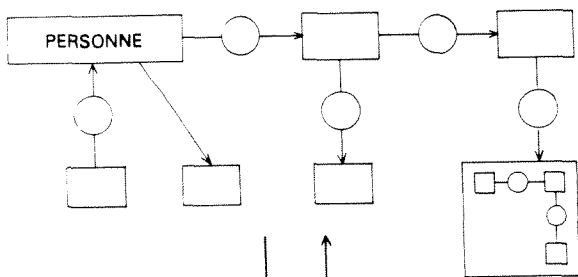
Arbres syntaxiques



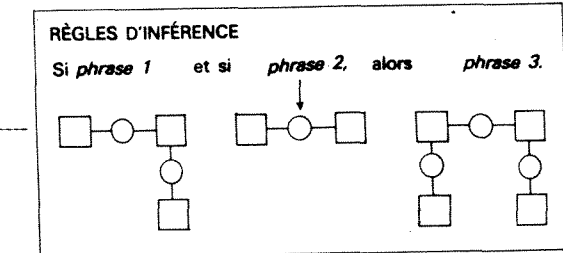
ANALYSE SEMANTIQUE



Graphe conceptuel



DEDUCTION



niveau de la simulation logicielle NETL a révélé la puissance du calcul parallèle de masse pour dépasser les problèmes de temps de réponse dûs à l'explosion combinatoire des systèmes séquentiels.

De plus, il y avait malgré des problèmes de tests de cohérence assez pauvres, la possibilité de traiter deux interprétations sémantiques simultanément ce qui n'est pas négligeable .

Le débat à propos des réseaux sémantiques tourne autour d'un phénomène de représentation de type symbolique dont les points sont dynamiques donc globalement un mouvement de connaissance.

La démarche graphique semble refléter cette mouvance et ce en dehors des rôles des éléments qui la compose (noeuds, liens).

C'est dans l'interaction de ses constituants que réside la valeur sémantique des réseaux et les questions posées rejoignent celles des neuro-biologistes sur les connexions dans le cerveau humain.(1)

1.5.1 La construction du contexte

Afin d'éviter l'explosion combinatoire, on est obligé soit de travailler avec des propositions imprécises, soit de construire un contexte que l'on utilise selon une sémantique préférentielle. La première solution oblige à utiliser des calculs fastidieux qui introduisent des facteurs de pondération sur des règles et des faits à traiter (probabilités, ensembles flous). Mais ces méthodes sont éloignées du traitement symbolique qu'opère l'humain. La seconde réalise des aspects contextuels construits en modélisant le type d'inférence dont on a besoin (présuppositionnelle, logique, pragmatique) selon des critères de la psychologie cognitive.

E. Charniak (2) a mis en place un ensemble de règles de déduction qui hors d'un contexte calculatoire donné fait son déclenchement d'une manière aléatoire. Il

1) F. Rastier dans une note précise : "*Retenons qu'une théorie sémantique est utilisable en Intelligence Artificielle non pas en raison de son caractère formel, mais en raison du caractère rationnel voire simplement raisonnable de ses prémisses*" Ce qui est aussi exprimé par les connexionnistes dans leur recherche d'un équilibre en dehors de toute formalisation.

2) E. Charniak - *Inference and knowledge, in computational semantic* - Charniak & Wilks éd. Amsterdam, 1976.

s'intéresse particulièrement aux mécanismes d'inférence et en postule l'indépendance vis-à-vis de l'analyse d'où leurs qualifications de "démons".

C. Schank (1) a construit des scénarios dans le cadre de la compréhension des textes. Ils servent particulièrement à prévoir des informations avenir selon une déduction pré-construite et la "normalité" des situations mais l'opportunité de leurs déclenchements est comme celle des démons un peu hasardeuse. Schank a opéré des reculs importants quant à la portée de ces travaux et travaille depuis sur l'organisation de la mémoire humaine.(2)

Des schémas sont aussi utilisés comme une généralisation des réseaux sémantiques et bien qu'ils traite assez bien les propositions incomplètes, on est obligé de discuter les prototypes qui les fondent. En effet, la métrique qui mesure l'appartenance ou non d'un objet à un prototype reste sélective et garde mal la richesse de la langue naturelle. La notion de monde ouvert dans lequel on peut gérer des connaissances incomplètes est séduisante malgré l'interprétation ambiguë des quantificateurs.

Par exemple :

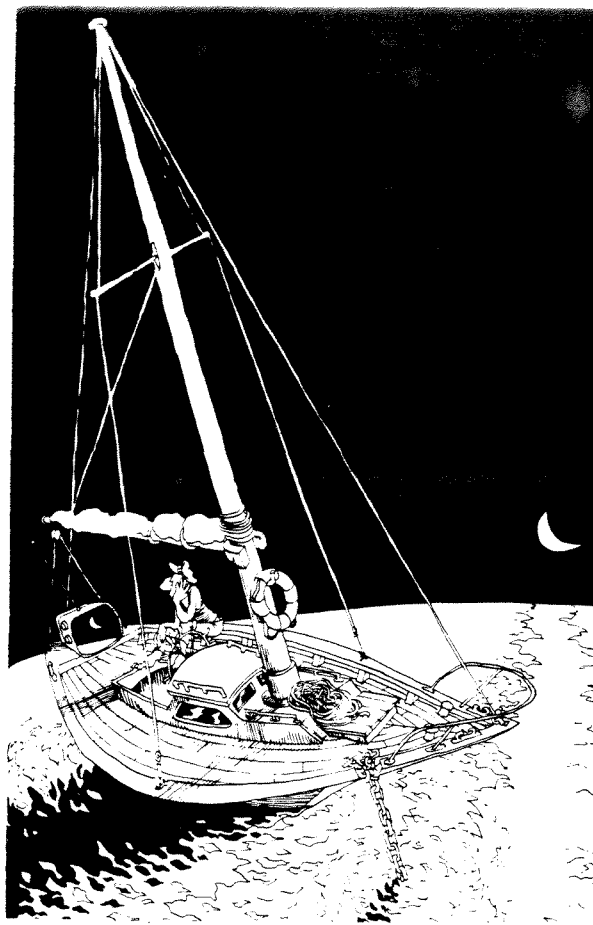
la liaison de deux concepts x et y liés par une relation R " xRy ", si on ne la trouve pas dans le monde de référence, on peut y trouver une relation " zRy ", on en déduit plusieurs types de réponses :

- non, peut-être, sûrement pas, je ne sais pas.

Bien-sûr le concept de monde fermé ou clos simplifie les solutions booléennes oui/non en utilisant la négation par absence. Dans ce cas, toute information positive est connue et si un fait est absent il est considéré comme faux. A ce stade on se demande si l'utilisation d'une logique formelle classique ne suffit pas à rendre les mêmes résultats.

1) R. Schank - SAM a story understand - report N°43, Yale University Press 1977.

2) - Dynamic memory : a theory of reminding and learning in computers and people - N.Y. , Cambridge university Press, 1983.



La sémantique des mondes possibles de Montague (1) présuppose tout de même pour un locuteur la connaissance des environnements pré-construits, mais il faut remarquer qu'il y a une différence essentielle(2) entre les langues naturelles et les "langues formelles". Bien-sûr l'isomorphisme est rassurant mais il ne suffit pas car l'être humain semble ne pas construire totalement son monde référence.(3)

Ceci provoque un mouvement d'auto-limitation générale de l'objet d'étude qui ne permet pas de dépasser les limites des optiques logiques. Pour garder une certaine cohérence de raisonnement on a eu besoin de construire un système de méta-connaissance qui a tendance à restreindre la sémantique. L'aspect plus puissant des logiques d'ordre supérieur butte aussi sur des paradoxes aussi graves que la logique classique en acceptant des prédicats ou des fonctions comme variables.

La problématique générale subsiste donc, plus un système d'analyse est précis dans le déclenchement de ses inférences moins il peut traiter de la sémantique et si on veut

1) R. Montague "The proper treatment of quantification in ordinary English", Hintikka et al. eds, *Approaches to natural language*, Reidel, pp. 221-242, 1973.

- *Formal philosophy : selected papers of richard Montague*, Yale University Press, R Thomason éd., 1974.

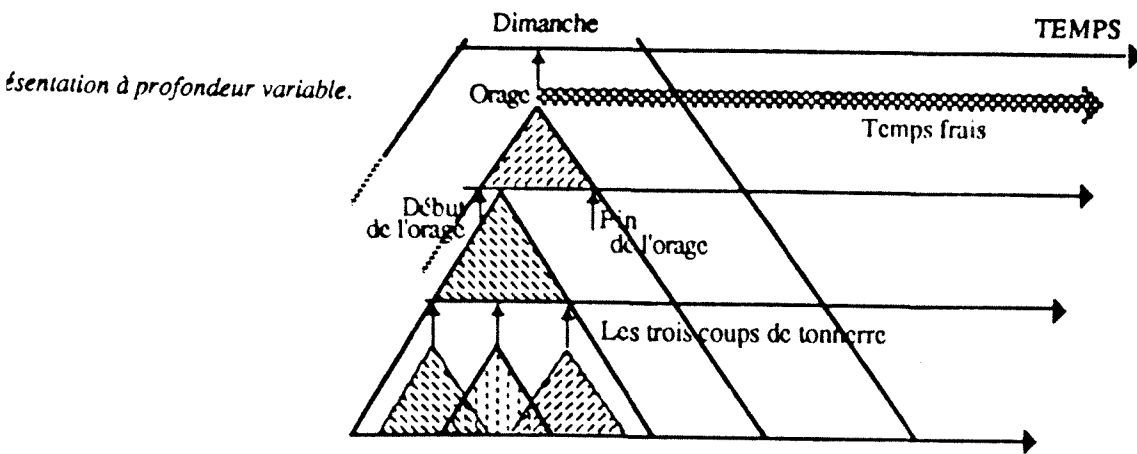
2) dans le sens d'essence, de nature.

3) voir A.Thaysé - *Approche logique de l'IA* - tome 2 pp. 177, 1989.

modéliser le sens correctement on arrive plus à savoir comment et quand utiliser les inférences. Ce passage par les calculs inférentiels est-il obligé ?

La mise en forme du contexte n'est donc guère plus consistante avec les logiques contemporaines.

Une représentation mixte de D. Coulon et D. Kayser(1), avec une logique non monotone et un réseau sémantique a eu une application prometteuse définissant son analyse sur le concept de profondeur variable du sens. Il faut remarquer que l'élément qualitatif de ce système est le souci constant de la cohérence sémantique.



1.6 Déduction - induction ou la nature inductive du sens

"La forme est toujours forme d'un contenu mais le contenu détermine la forme" H. Lefebvre.

Les inférences logiques des calculs formels se font dans un mouvement de déduction afin de décortiquer la forme d'un énoncé (2). Cette démarche fait partie de l'entendement dans le sens où c'est la détermination détaillée des éléments d'un objet qu'on ne peut confondre avec l'analyse. Cette dernière permet la synthèse et le dépassement de l'abstraction qui amène à une explication nouvelle. L'opération déductive qui pourrait s'apparenter au démontage d'un moteur en pièces détachées pour saisir les spécificités et les relations entre elles ne doit pas faire oublier le remontage de

1) - La compréhension : un processus à profondeur variable - Actes du congrès AFCET "informatique", Nancy, pp. 517-527, 1980.

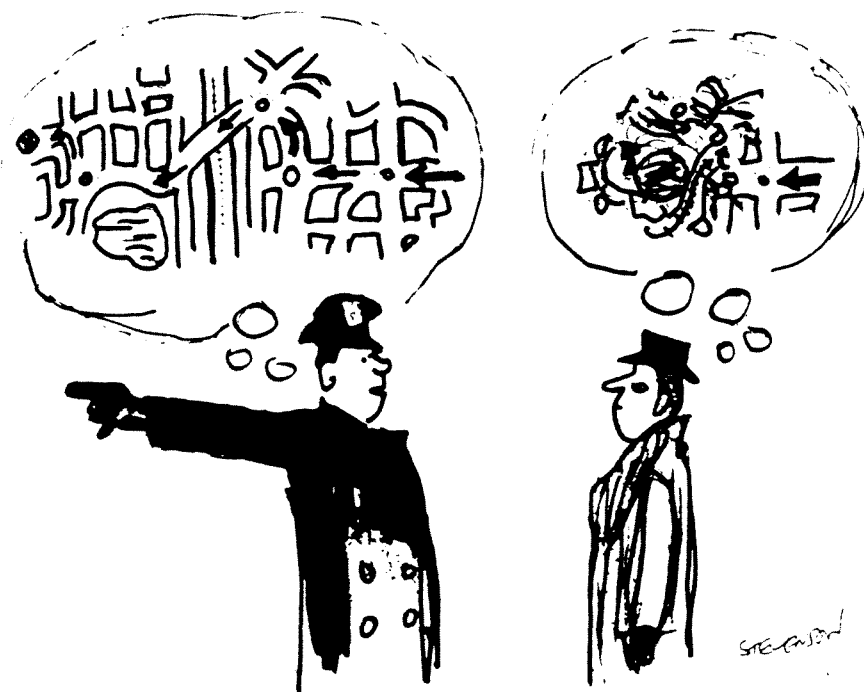
D. Kayser - Le raisonnement à profondeur variable - Actes des journées PRC "intelligence artificielle", Toulouse, 1988.

D. Coulon - Raisonnement et ébauche de raisonnement - Colloque logique naturelle et argumentation, Rayaumont, 1987.

2) déduction : du latin *deductio* = extraire. Aller du général vers le particulier, à une valeur de démonstration, constate mais n'invente rien.

l'engin afin, en le faisant fonctionner, de mieux comprendre la raison du mouvement qu'il provoque. Or, la forme de cette reconstruction passe par l'induction (1) et ce va et vient entre la déduction et l'induction provoque le mouvement de la pensée. Cependant les formes de cette dernière sont mal définies contrairement à celles de la déduction dont on a depuis longtemps dégagé les outils formels permettant le calcul démonstratif (2).

Mais l'allongement exponentiel des démonstrations rigoureuses voulu par les logiciens ne révèle que l'impossibilité de progresser dans la solution des problèmes et tend à paralyser le processus de la pensée par des inférences déductives sans fin.



Drawing by Stevenson, © 1976 The New Yorker Magazine, Inc.

1) induction : du latin *inductus* = conduire. Consiste à tirer des faits particuliers une conclusion générale ou une loi nouvelle.

2) substitution et détachement de variables entre elles ou de variables par des constantes :

- Modus ponens (si p est vrai et si p implique q , alors on déduit q),
- Modus tollens (si q est faux et si p implique q est vrai, alors on déduit *non* p),
- spécialisation universelle (si p est vrai pour tous les x , si a est x , alors p est vrai pour a).

De plus, l'induction n'est pas à réduire à l'analogie simpliste comme le fait G. Sabah (1) qui suit la démarche des philosophes. Il faut distinguer l'induction rigoureuse de celle appelée amplifiante ou transcendante. La première -rigoureuse- qui n'est qu'une extension primaire des cas particuliers (Aristote, Képler), l'autre plus riche apporte une nouvelle combinaison des faits dont la valeur est d'arriver à une explication neuve (Bacon).

La valeur qualitative de l'induction est proportionnelle à son manque de formalisation, ce qui a fait dire à certains (2) que le non dit de ce mouvement de pensée provient d'une puissance supra-physique extérieure à la nature des choses donc relevant de la métaphysique. Minimisée par Aristote, maximalisée par Bacon, l'induction reste riche d'avenir dans sa complémentarité avec la déduction à l'intérieur d'un processus conjugué et contradictoire et non en opposition à celle-ci.

Par ailleurs, l'induction est un élément important dans les sciences de la nature. La régression analytique qu'elle provoque dans son saut des faits aux lois rend possible la progression de la connaissance par la synthèse. Rarement écrite l'induction arrive à des conclusions qu'on ne peut seulement juger selon des critères de cohérence formelle interne mais aussi dans sa collision à la réalité matérielle.

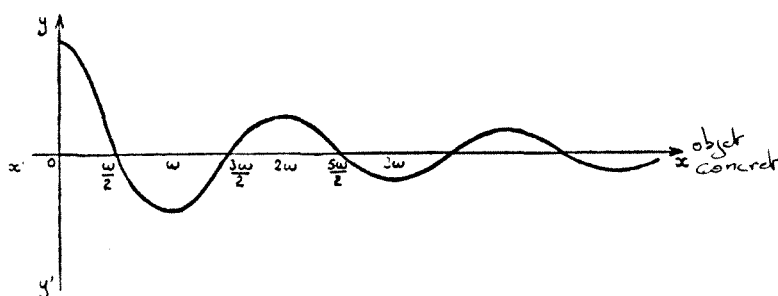
1) - *l'Intelligence Artificielle et le langage* - éd. Hermes, tome 2 pp. 193, 1989.

2) Lachalier *"La possibilité de l'induction repose sur le double principe des causes efficientes et des causes finales"* - *Fondement de l'induction : études sur le syllogisme* - pp.10.

Or la nature ne se propose pas des fins ou des lois absolues imposées par une puissance supérieure.

"L'induction est une espèce de raisonnement qu'on ne peut pas caractériser sans faire référence à son contenu, qu'on ne peut apprécier dans un cas concret, sans prendre en considération la vérité matérielle de son résultat" P. Blanché (1)

Or si l'une des forces de l'induction est de générer des conclusions nouvelles, l'autre est de relativiser les lois considérées universelles par un dépassement qualitatif. Ce rapprochement de la réalité rentre dans un mouvement infini qui fait grossir le champ de connaissance de l'humain. Une loi nouvelle devenant hypothèse à l'épreuve de l'objet à étudier.



"La loi n'est pas dans la nature comme absolue, c'est une façon qu'a l'esprit de déchiffrer la nature, en construisant un langage qui par sa structure et son contenu, permette de s'y reconnaître dans l'incohérence apparente des phénomènes"
P. Blanché.

Une conclusion différente des prémisses reste une induction légitime, prise vis-à-vis de son contenu et non seulement d'après sa forme.

Revenir au sens d'une proposition revient donc à utiliser un processus inductif. Mais le phénomène concret qu'est l'énoncé reste une représentation écrite ou orale dont la sémantique est enfouie dans les méandres du cerveau humain. On peut constater de plus que l'aspect aléatoire du processus inductif rend difficile son traitement automatique par un ordinateur à valeur booléenne dont le critère est un calcul de forme symbolique pré-construite. Enfoui dans l'informel, la sémantique semble trouver sa solution dans un processus inductif.

1) - L'induction scientifique et lois naturelles - éd. PUF, 1975, p. 18. Cette méthodologie matérialiste a toujours été le fondement des sciences de la nature qui se sont développées en opposition à la métaphysique de la pensée.

PARTIE II L'ARCHITECTURE CONNEXIONNISTE

"Le logiciel est-il la réponse à tout ?"

J.C. Mc CLELLAND, D.E. RUMELHART, G.E. HINTON.



1.1 Fondement conceptuel

La modélisation de l'informel est-elle possible ? La démarche connexionniste semble non pas passer par une formalisation logique mais plutôt de réaliser les conditions permettant de traiter de l'informel.

Autrement dit d'avoir une solution inverse à l'intelligence artificielle classique qui part de la logique du haut vers le bas -top/bottom- mais en reproduisant les conditions qui peuvent générer le résultat -bottom/up- un peu à la manière dont on forme de l'eau en faisant la liaison entre deux molécules d'hydrogènes et une d'oxygène.

On peut constater avec J. Perez (1) que cette séparation s'est toujours faite dans les sciences physiques et biologiques avec des résultats complémentaires alors que l'I.A. a toujours privilégié l'option analytique du formel et du symbolique en premier opposant les règles à l'intuition.

Le connexionnisme est la synthèse de trois notions :

- parallélisme massif,
- hasard contrôlé par la thermodynamique,
- émergence statistique de marqueurs actifs.

On utilise pour cela une modélisation par automates totalement interconnectés dont l'évolution dynamique permet de simuler :

-l'apprentissage, la reconnaissance de forme, la compréhension.

Il faut préciser ici ce qu'on appelle par apprentissage. En effet, ce n'est pas dans ce cas compris comme une formalisation de règles explicites dans une perspective calculatoire. Selon Piaget (2) l'apprentissage est moins formel qu'on imagine, son étude des enfants indique que fonctionne au début une logique concrète (inductive) à laquelle se rajoute plus tard (vers 12 ans) une logique abstraite (déductive) bien formalisée par les mathématiques par exemple.

1) - L'intelligence Artificielle - " pluri-disciplinarité, auto-organisation, réseaux neuronaux", éd. Masson, Paris, 1989.

2) Piaget - Six études de psychologie - éd. Denoel, Paris, 1964.

"Nous n'attribuons pas de capacités calculatoire puissantes au mécanisme d'apprentissage. Nous postulons l'existence de mécanismes simples de modulation de force de liaison entre les unités sur la base de l'information localement disponible à l'emplacement de la liaison"
(1)

L'accent est mis chez les connexionnistes sur la représentation locale de l'information et les configurations d'activations qui régissent les unités ainsi que sur les mécanismes dont la finalité est d'apprendre des forces de liaisons adéquates.

L'information est codée dans les connexions qui matérialisent ce qu'on veut traiter via leur position sur le réseau. Chaque configuration a une puissance (un poids) tel qu'elle puisse en induire une autre, il y a donc négation des outils formels que sont les règles de calcul symboliques (2). Ce postulat provient des limitations des systèmes à interprétation symbolique et de l'étude du fonctionnement du cerveau.

De fait il est difficile d'expliquer certains phénomènes une fois dépassé la phase d'apprentissage qui se singularise par une forme d'oubli. Il est périlleux de faire dire à un expert comment il trouve la solution à certains problèmes parce qu'il travaille par analogie inductive.

Les notions même de symbole et d'information ne sont que des outils pour nous permettre de formaliser une explication à des phénomènes, et il ne faut pas les prendre pour la réalité ni vouloir tout expliquer avec.(3)

Le modèle connexionniste postule lui qu'aucune information symbolique ne transite entre deux unités d'un réseau, ce qui remet en cause le présupposé de Kant pour qui *"toute conduite ordonnée est nécessairement régie par des règles"*. L'homme n'opère pas toujours via des règles de calculs pour être cohérent.

La puissance des ordinateurs séquentiels n'est pas niable mais ils ne résolvent pas l'explosion combinatoire qui est provoquée par l'augmentation des variables alors que cette accumulation donne le résultat inverse pour le cerveau humain. Il s'effectuent

1) J. MC Clelland ; D. Rumelhart ; G. Hinton - Par allel distributed processing - MIT Press, 1986. Voir aussi une traduction française du premier chapitre dans la revue débat N°7, Nov-Dec, 1987.

2) D Alkon "memorisation et neurones" in pour la Science , N°143, Sept 1989.

D. Hofstater - Gödel, Escher, Bach - " les brins d'une guirlande éternelle", éd. Inter-Editions, Paris 1985.

3) Lorque Simon et Newell prennent " la manipulation de contre marque -token- d'ordre formel" comme la nature de la pensée ne vont-ils pas trop loin ? - Physical symbol system - in Cognitive Science, N°2, Avril/Juin, 1980 pp.135-183.

d'autres processus qui lui confèrent la puissance qu'un super-calculateur n'a pas. Il est peut-être nécessaire de se rapprocher du cerveau en tant qu'objet matériel et vivant afin de trouver d'autres outils et c'est ce qu'ont fait les artisans de ce modèle.

L'architecture connexionniste mime des processus dont les valeurs explicatives ne se situent qu'au niveau bas (micro-structure) et il n'est pas question de les formuler avec des notions hautes (macro-structure) d'information ou de sémantique, mais curieusement son utilisation permettrait peut-être de se rapprocher du traitement ^{du} sens.

1.2 La métaphore du cerveau humain

De fait, on a cherché à calquer matériellement l'organisation physique des cellules nerveuses. On a constaté que le neurone recevait des influx nerveux (chimique et électrique) par ses dendrites et transmettait par une fibre unique l'axone. Les contacts entre cellules se faisant par les synapses (1).

Suite aux observations faites on a remarqué qu'il existait une multitude de branchements dont la structure est fixe ou modulaire (2). De plus, les "décisions" prises par ce réseau de neurones ont un caractère collectif, les différences de potentiel produisent par réactions un influx nerveux ainsi qu'une possibilité d'autonomie plus ou moins dépendantes des branchements(3).

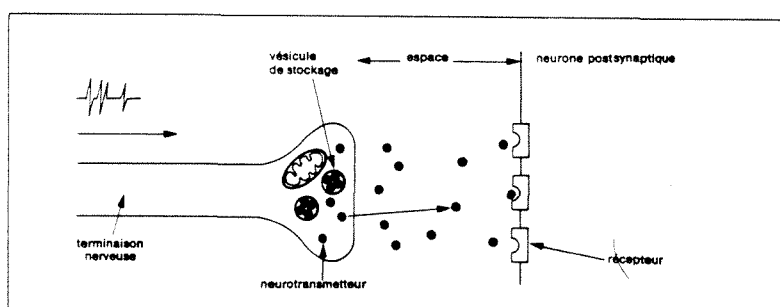
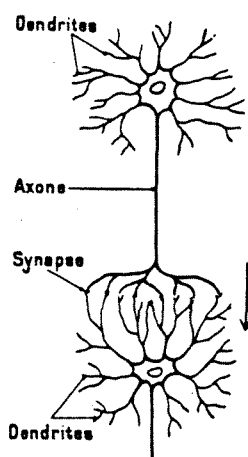
Doit-on aller jusqu'à nier les aspects relationnels de la conception de J. Varela ?(4) Ce neurobiologiste tente avec succès de remettre en ordre les niveaux de description utilisés jusqu'à maintenant en démontrant que les paradoxes de la logique formelle d'incomplétude et d'indécidabilité nécessitent un espace d'analyse différent si on ne veut pas se laisser enfermer dedans.

1) Les analyses électrophysiologiques ont montré qu'une décharge est de l'ordre d'une milliseconde. Deux potentiels d'actions ne peuvent donc être émis dans un temps inférieur à $T_r = 3$ millisecondes. Cette période désignée "réfractaire" permet de mesurer un standard de temps.

2) J.P. Changeux - L'homme neuronal - éd. Fayard, coll. Pluriel, 1983.

3) Les neuro-transmetteurs chimiques libérés de la synapse, modifient le potentiel intra-cellulaire en rendant les tissus perméables ce qui augmente la probabilité que celle-ci donne naissance à un influx nerveux.

4) J. Varela - Autonomie et connaissance - Paris : éd. Seuil, 1989.



Le concept de clôture dégagé apparaît riche de potentiel explicatif mais l'auteur se laisse paradoxalement enfermer dans sa propre abstraction puisqu'il postule l'autonomie du vivant d'une manière on ne peut plus radicale (1), alors qu'il devrait la qualifier d'interne. Mais on peut être d'accord avec le fait que tout système vivant comme le cerveau, le corps humain possède une autonomie interne qui s'auto-organise pour maintenir son équilibre face à l'extérieur compris alors comme un élément perturbateur. On passe donc d'une logique qui doit formaliser tout ce qui se passe à une autre qui impose sa cohérence comme postulat, idée qui est reprise par les connexionnistes. En ce

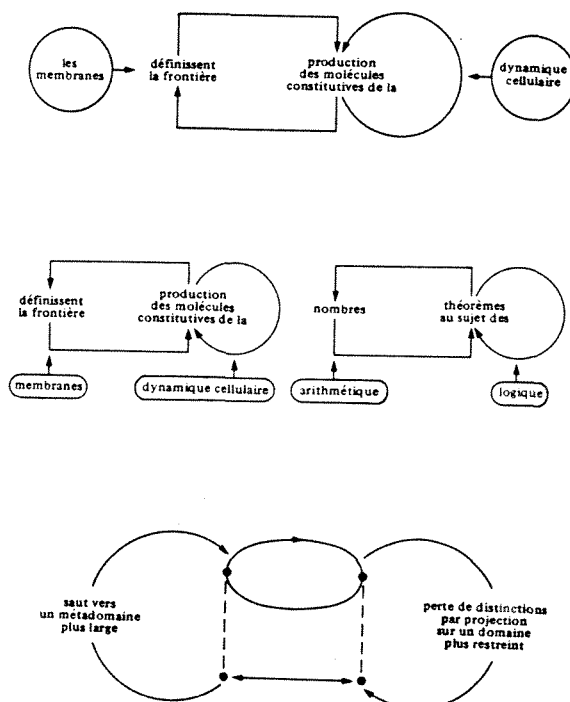
1) A moins que cela soit pour des raisons didactiques à la manière du "jet âpre" de La Mettrie (l'homme machine 1748) pour s'extirper des notions qui finissent par voiler la pensée.

qui concerne le cerveau, c'est à partir de son organisation - les branchements entre neurones - que s'établit un équilibre. Il serait donc plus pertinent de parler comme le fait J. Varela d'un système de présentation plutôt que de représentation face à l'extérieur.

La recherche doit-elle s'intéresser à savoir comment le système nerveux produit des formes stables pour rester vivant ?

Il y a de fait une recherche de correspondance mimétique dans ce qu'on constate du cerveau et la construction du réseau connexionniste qui seraient tout deux (le cerveau humain à échelle n fois plus puissant) des systèmes auto-organisés à la recherche d'un équilibre face aux entrées.(1)

On a donc réalisé des systèmes artificiels qui reproduisent les éléments observés soit pour chaque neurone un processeur simple (2), une connectivité entre eux qui entraîne un traitement coopératif et parallèle massif des flux.



1) Il faut préciser ici que beaucoup usent et abusent de la terminologie relative au monde neurobiologique dans la description de leur modèle, j'essaierai pour ma part de ne pas le faire afin de ne pas faire régner la confusion entre les niveaux de description (biologique, linguistique, informatique), ce qui évite aussi la prolifération de guillemets dans le texte. D'autre part j'estime que le qualificatif de connexionniste correspond le mieux au modèle présenté du fait de l'importance primordiale des connexions entre unité de base.

2) soit un un circuit logique avec une petite mémoire, une machine de Turing, un micro-processeur ou un amplificateur couplé avec un circuit de rétroaction composé lui même d'une résistance et d'un condensateur.

Automates cellulaires

Un automate cellulaire est défini par :
 - un espace X (par exemple \mathbb{Z} , automates cellulaires à 1 dimension, ou \mathbb{Z}^2 automates cellulaires à 2 dimensions) ;
 - un espace d'états fini E (par exemple $E = \{0,1\}$) ;
 - un voisinage fini $V \subset X$ de 0 ;
 - une règle de transition d'états $f : X^{\text{card}(V)} \rightarrow X$.
 Alors la cellule $x \in X$ changera d'état à la date t selon la règle :
 $x(t+1) = f[(x+V)(t)]$
 ou $(x+V)(t)$ représente le vecteur des états à la date t des cellules voisines de x .

La figure 1 représente deux voisinages classiques quand $X = \mathbb{Z}^2$.
 Dans la figure 2, on donne la règle de transition f dite du « jeu de la Vie ».
 Dans la figure 3-1, on donne une règle de transition pour $X = \mathbb{Z}$.

Automates booléens

Un réseau d'automates booléens est défini par une application $f : \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^n$.
 n s'appelle la taille du réseau : c'est le nombre d'automates qui le constituent.

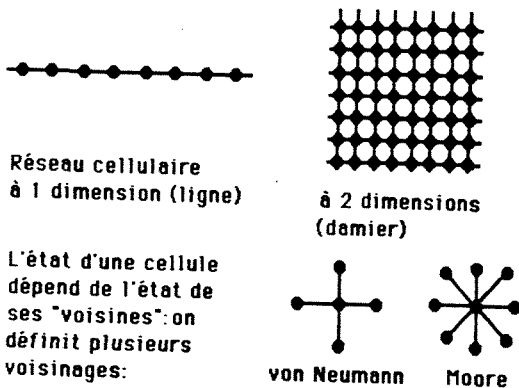
La fonction f a des composantes f_i qui sont des fonctions booléennes : par exemple, $f : \{0,1\}^3 \rightarrow \{0,1\}^3$ avec $f_1 = \text{ET}$, $f_2 = \text{OU}$, $f_3 = \text{NON}$.
 Les connexions sont alors définies, pour l'automate i , par les variables x_j dont dépend la fonction f_i .

Automates à seuil

On appelle automate à seuil un automate booléen $f : \{0,1\}^n \rightarrow \{0,1\}^n$ tel que, pour tout i , f_i soit une fonction à seuil :

$$i.e. \exists a_{ij}, b_i : \forall x \in \{0,1\}^n, f_i(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } \sum_j a_{ij}x_j \geq b_i \\ 0 & \text{si } \sum_j a_{ij}x_j < b_i \end{cases}$$

a_{ij} s'appelle le poids synaptique de la connexion $i - j$ et b_i s'appelle le seuil de i .



Automates cellulaires.

Dans les années 1940 V. Neumann et McCulloch et Pitts (1) ont mis en place les premiers concepts qui mettaient en parallèle l'organisation du cerveau et des machines en se posant la question :

Peut-on concevoir une machine capable, comme le cerveau, d'auto-reproduire son organisation ?

V. Neumann a proposé l'utilisation d'un réseau d'automates cellulaire dans lequel chacun est susceptible de changer d'état en fonction de celui des unités voisines. Cette évolution a été formalisée par un algorithme décrivant le processus d'auto-reproduction.

1) J. V. Neumann - Theory of self reproduction automata - éd. A.W. Burks, Uni. Illinois Press, 1966.
 Mc Culloch ; W. Pitts - A logical calculus of ideas immanent in nervous activity - Bull. Math. Biophys. N°5, pp. 115-133, 1943.

Un réseau d'automate est une abstraction commode pour modéliser des systèmes complexes et il a été utilisé pour la simulation des phénomènes de physique pure.

Ce type de modèle est caractérisé par une évolution dynamique qui a été difficile à maîtriser. En 1949, le réseau de F. Rosenblatt (1) composé de matrice de 400 photo-récepteurs tente de reconnaître des formes simples.

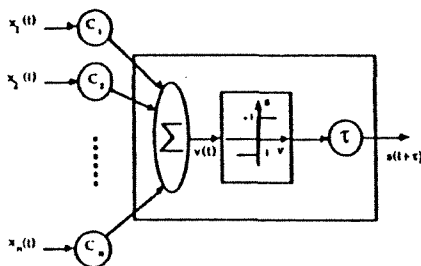
En 1959, le réseau Adaline conçu par B. Widrow met en action des filtres adaptatifs pour mesurer l'évolution. Cette architecture informatique ne se programme pas avec un logiciel mais garde une trace des exemples qu'on lui présente.

- L'apprentissage supervisé

Le principe est d'éliminer les différences entre les entrées et les sorties et par "apprentissages" successifs stabiliser les états collectifs de toutes les unités du réseau en calculant le degré d'influence mutuelle entre chaque élément. On donne par exemple en entrée l'image d'un chiffre et à la sortie son code binaire correspondant.

Chaque processeur simple fonctionne comme un additionneur, il calcul son potentiel (v) en faisant la somme pondéré de ses entrées x_j ; les coefficients de pondération sont (C_j), son état de sortie est une fonction non linéaire du potentiel appelée fonction de transfert $s = f(v)$.

On peut employer un état de sortie à valeur binaire comme état discret de sortie (échelon de heaviside) qui est calculé collectivement d'après les unités voisines pendant un temps donné. soit :



Neurone de Mc Culloch-Pitts.

$$V(t) = \sum_j C_j x_j(t)$$

$$s(t + \tau) = + 1 \text{ si } v(t) > 0 ;$$

$$s(t + \tau) = - 1 \text{ si } v(t) \leq 0.$$

1) F. Rosenblatt - Principles of perceptrons - éd. USA Spartan, Washington DL, 1962.

Cependant, ces machines souffraient à l'époque d'un manque de quantification mathématique qui aurait permis de maîtriser leur évolution, ce qui fait que la recherche principalement américaine dans ce domaine s'est tournée vers la manipulation symbolique et ce qui s'est auto-désignée "l'Intelligence Artificielle".

Or en 1974, Widrow-Hoff conçoivent une méthode appelée "rétropropagation de gradient" qui rend calculable les coefficients de pondération en fonction des entrées et des sorties.

L'algorithme:

- Présenter un exemple x^k
- Propager les états: $x_i = f(A_i)$
- Comparer: la sortie calculée s^k la sortie désirée y^k
- En déduire l'erreur: $e_i^k = (s_i^k - y_i^k)$
- Rétro-propager l'erreur: $f_i = 2 e_i^k f'(A_i) \quad i = \text{couche N}$ $f_i = [\sum_{\lambda} W_{\lambda i}(k) f_{\lambda}] f'(A_i) \quad i = \text{couche N}$
- Modifier les poids: $W_{ih}(k) = W_{ih}(k-1) - e(k) \cdot f_i \cdot x_h$

1.3 L'utilisation qualitative du bruit et du hasard

- Le bruit

Alors que l'on cherche généralement à éliminer le bruit dans les théories de la communication, les connexionnistes ont valorisé son rôle dans les réseaux d'automates connectés.

Partant d'une extension de la théorie de Shannon, H. Atlan (1) a proposé la mesure d'un phénomène d'auto-organisation par le bruit. Il oppose la notion de complexité à celle de compliqué (2) et théorise un niveau supérieur aux formules de Asby et de Shannon concernant l'information dans un système.

Les théories de la communication sont prises comme niveau de mesure de la complexité qui par emboîtement introduisent une contrainte à chaque nouvelle étape apportant une certaine connaissance en terme de résultat.

La première formule de Asby n'a pas de contrainte :

$$H = \log N$$

H est la variété et n le nombre d'élément différent.

La deuxième de Shannon introduit une possibilité relative à chaque variable et mesure le désordre et l'homogénéité statique en y ajoutant une probabilité d'émergence de chaque cas, cette formule peut être réduite à la première si on a égalité dans les probabilités.

$$H = \sum p \log p$$

La formule proposé par Atlan introduit une notion de redondance donc l'expression de contraintes connue sur le système.

$$H = H_{\max} (1-R)$$

1) - Auto-organisation fonctionnelle et création de signification - Forum COGNITIVA, JUIN 1985.

2)* complexité : qui représente une grande variété synonyme de hasard parce que construit d'une manière aléatoire (ex : un système expert devant les problèmes de cohérence et de complétude).

* compliqué : présente une complexité apparente mais en fait est de nature déterministe (ex : un programme informatique encapsulé, l'un se déduisant de l'autre etc).

H est toujours la complexité sans contraintes et mesure l'information aléatoire (existant par ignorance) que l'on cherche à quantifier.

H_{max} mesure la complexité qu'aurait un système. Avec une redondance nulle, la formule se réduit à celle de Shannon.

La notion de redondance R est introduite par Atlan dans un esprit de complémentarité. Il tente par ce biais d'introduire la mesure de l'auto-organisation ou de l'équilibre dynamique dans un système d'information. Le bruit peut enrichir l'organisation d'un système à un niveau plus englobant par le fait qu'il provoque une forme d'organisation micro-structurale via la redondance (1). Atlan appelle "la signification" cette redondance R absente dans la formule de Shannon.

On peut donc avec cette formule mesurer l'état de l'organisation d'un système dont l'évolution est dynamique en opposant l'action des deux termes de la formule soit H la complexité effet perturbateur du bruit et R la redondance, effet organisateur du bruit (2) et déjouer les fausses stabilisations dans un réseau d'automate comme celui de Conway dans lequel il y a une oscillation régulière qui n'a que l'apparence de l'organisation.

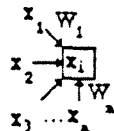
1) la répétition du bruit par le fait même de sa fréquence régulière d'apparition induit une forme d'organisation si on regarde un système à une autre échelle.

2) formule de H. Atlan :

$$\frac{dH}{dr} = -H_{max} \frac{dR}{dr} + (1-R) \frac{dH_{max}}{dr}$$

- Le hasard

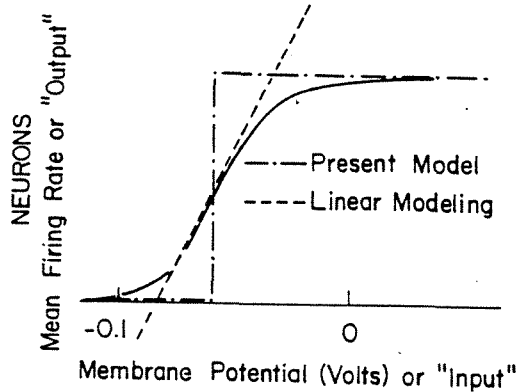
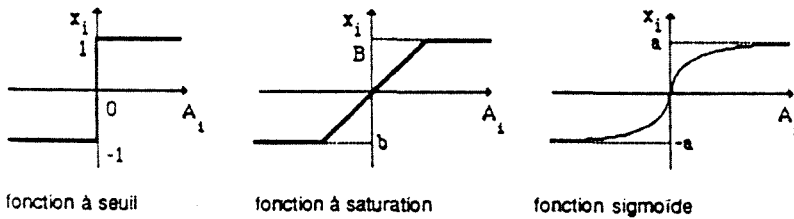
La Boltzmann machine (1) réalisée en simulation est un réseau ou chaque processeurs est à état binaire calculant son nouvel état sous une forme probabiliste -à la manière de l'évolution cinétique des gaz-. Afin d'être sûr que le réseau se stabilise selon une valeur minimale oscillante (facteur d'équilibre), Kirpatrick (2) a proposé d'introduire des cycles aléatoires supplémentaires après la première stabilisation, ces cycles ayant pour effet de "secouer" le réseau pour être certain que l'on est bien arrivé au bon minimum. Appliqué au phénomène "chaleur (3) , on a simulé sur un réseau (simulant l'air) les capacités d'auto-organisation, d'apprentissage et d'organisation face à une perturbation extérieure (simulant la chaleur).



$x_i = f(A_i)$ avec $A_i = \sum_{k=1, \dots, n} W_{ik} x_k$

FIGURE 2: automate quasi-linéaire

avec différentes fonctions f: fonctions à seuil, à saturation ou sigmoïde (fig.3):



1) S. Falhmann ; G. Hinton ; J. Sejnowsky , 1985.

Cette machine porte le nom de Boltzmann , physicien autrichien du 19eme qui a étudié la thermodynamique selon un approche statistique . Il est cité par V. Neumann en 1949 :*"L'ordinateur du futur sera peut-être issu de la thermodynamique loin de l'équilibre, telle que Boltzmann l'entendait"*

Il faut remettre dans son contexte le terme équilibre qui est là une oscillation régulière évoluant dynamiquement donc opposé aux aspects statiques de la logique formelle de l'époque.

2) "Optimizing by simulated annealing" revue Science N° 220, N.Y., 1983.

3) Par lequel on a constaté une répartition non régulière des températures de l'air au dessus d'une plaque chauffante.

De plus, il faut remarquer que ce système thermodynamique a des convergences avec la théorie des systèmes dynamiques et chaotiques du mathématicien H. Poincaré. Ce hasard dénommé "chaos" est composé d'éléments totalement organisés apportant une solution pour expliquer les réactions d'un système perturbé. (1).

Le modèle de Boltzmann serait cohérent pour simuler la lente et progressive baisse d'énergie des hautes vers les basses températures (méthode du "recuit simulé") montrant le fonctionnement global du phénomène d'attraction vers un minimum dans un réseau(2).

L'auto-référence et l'unicité des formes utilisées indépendamment des systèmes et des échelles se conjuguent pour aider les connexionnistes à construire leurs outils de simulation.

J. Hopfield (3) a trouvé une équation précise permettant de maîtriser la dynamique déterministe de réseaux totalement interconnectés. Le calcul provient des principes physiques des systèmes magnétiques désordonnés. La mécanique statistique permet en effet d'expliquer les propriétés d'ensembles constitués d'un nombre important de systèmes identiques.

C'est à partir du calcul des moments magnétiques élémentaires des aimants (4) que J.J.Hopfield a proposé une méthode pour calculer les régularités des interactions entre unités. En effet, l'évolution dynamique des états tend comme les moments magnétiques à se stabiliser selon un cycle discret. Ceci a permis de calculer les sorties de chaque élément du réseau avec des valeurs continues réelles comprises entre deux limites de saturation (fonctions sigmoïde). Son caractère linéaire permet donc sa mesure analogique.

1) Etudié selon différents points de vue par :

I. Prigogine - Physique, temps et devenir - Paris, éd. Masson, 1982.

R. Thom - Paraboles et catastrophes - Paris : éd. Flammarion, 1983.

B. Mandelbrot - The fractal geometry of nature - W. Freeman éd., SAn Francisco, USA, 1982.

2) On cherche à minimiser une fonction de coût assimilée à une énergie E , soit pour chaque nouvel état discret une descente des températures par pas égaux et uniforme.

3) J.J. Hopfield - Neural and physical systems with emergent collective computational abilities - éd. USA : Proc. Nath. Sci., vol. N°79, pp. 2554-2558, April 1982.

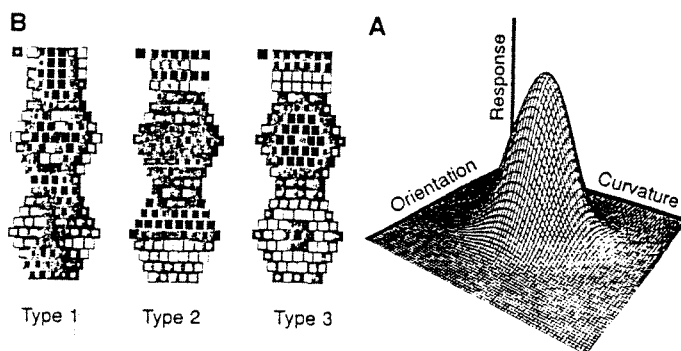
J.J.Hopfield and D.W. Tank - Neural computation of decisions in optimization problems - USA : Biol. Cyber. , N°52, pp. 141-152, 1985.

4) D.J. Gross, M. Mezard - the simplest spinglass - Nud. Phys. FSB240, pp. 431-452, 1984.

P. Peretto, "Mécanique statistique et réseau de neurones formels", Cahier STS, éd. Paris : CNRS, N°9-10, pp. 97-106, 1986.

Ces mémoires associatives permettent de fournir une réponse plausible à des clefs non apprises ou bruitées, ce qui est impossible avec des mémoires classiques.

On peut décrire un état stable de ce type comme un minimum énergétique qualifié "d'attracteur". Cela revient à provoquer des "trous" aux bons endroits dans le paysage électrique du réseau.



Les réseaux d'Hopfield n'ont pas d'apprentissage à proprement parlé mais une détermination à priori des poids de connexions d'après les contraintes du problème à résoudre. Cet aspect est tendancieux car si le problème est mal posé les poids aussi et la solution optimum s'en trouve faussée.

- Parallélisme massif et marqueurs actifs.

La rapidité de réaction est due au caractère collectif des calculs. On a constaté que pour un réseau à N éléments la dynamique est de \sqrt{N} et pas 2^N états comme on l'imaginait, le nombre limite de cycles est donc infime (500 pour un réseau de 1 million d'éléments) (1). Cet aspect a permis à J.J.Hopfield de résoudre un problème d'optimisation (NP-complets) avec ce réseau sans explosion combinatoire.(2)

1) G. Weisbuch "Systèmes désordonnés et comportement générique", Cahiers STS N°9 pp. 80, 1986.

2) "The traveling Salesman problem" : un voyageur de commerce doit faire une tournée en passant par n villes ; il doit trouver le trajet le plus court en passant qu'une seule fois par ville.

A noter que B. Angéniol a utilisé le principe des cartes topologiques de Kohonen pour optimiser les solutions à ce problème via un algorithme linéaire du nombre de ville, ce qui donne un apprentissage très rapide (quelques heures sur une station de travail pour un problème avec 1000 villes).

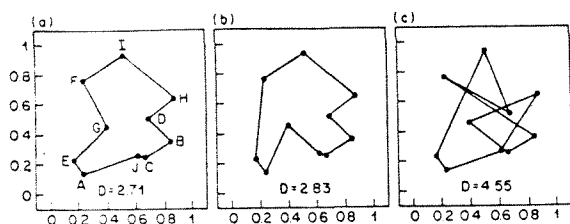


Fig. 3a-c. a, b Paths found by the analog convergence on 10 random cities. The example in a is also the shortest path. The city names A ... J used in Fig. 2 are indicated. c A typical path found using a two-state network instead of a continuous one

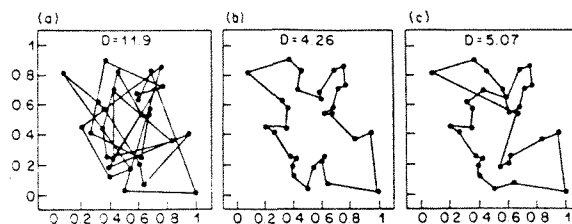


Fig. 4a-c. a A random tour for 30 random cities. b The Lin-Kernighan tour. c A typical tour obtained from the analog network by slowly increasing the gain

L'importance de ce type de réseau est sa capacité d'auto-organisation. Celle-ci se modélise assez bien en utilisant un réseau d'automates booléens dans lequel chaque élément peut avoir deux états (0 ou 1 par exemple). Son état interne est le résultat d'une fonction booléenne de deux variables d'entrée. Chaque unité reçoit un nombre de fonctions booléennes possibles (16). Elle reçoit donc deux entrées en provenance de ses voisins et envoie son état interne à ses deux autres voisins.

Si on construit un réseau fait d'une matrice de connexions 16×16 refermée sur elle-même de façon à ce que toutes les unités soient connectées entre-elles (un tore). On y distribue les différentes fonctions booléennes possibles selon des conditions aléatoires.

L'entropie d'un automate probabiliste de matrice de transition A est :

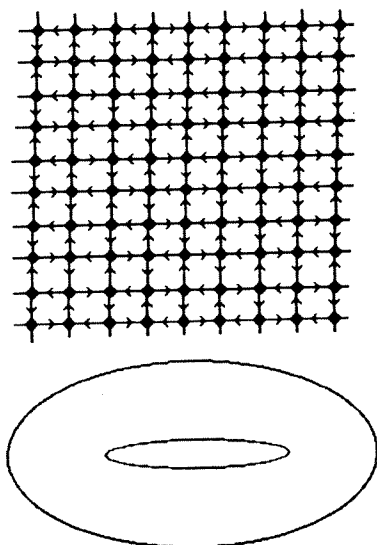
$$H(A) = - \sum_{ij} a_{ij} \log a_{ij}$$

La capacité d'un automate probabiliste dont les matrices de transition associées aux signaux d'entrée y_i sont $A(y_i)$ est définie par :

$$C(A) = \sup_p \sum H[p(y_i) A(y_i)] - \sum p(y_i) H[A(y_i)]$$

où la borne supérieure est prise par rapport à toutes les distributions de probabilité p sur l'ensemble des signaux d'entrée $Y = \{y_i\}$.

Ce mélange de procédure probabiliste et déterministe provoque une structuration en sous réseaux oscillants séparés d'éléments stables.



Soit pour 150 conditions aléatoires où les 150 sont des automates oscillants et les 0 stables.

0	0	49	49	49	150	0	0	148	148	148	150	150	150	150	150
146	0	49	49	150	150	0	0	149	148	148	150	150	150	150	150
146	150	150	49	150	150	64	150	148	148	128	150	150	150	150	150
146	150	150	150	150	150	150	150	149	149	138	149	149	150	150	146
20	56	78	82	150	150	150	150	150	149	138	134	149	150	132	132
132	71	85	74	58	150	150	150	150	150	150	138	150	150	122	133
133	17	84	84	84	150	150	71	71	41	33	150	150	118	133	131
14	16	97	84	81	0	0	70	70	69	33	142	142	130	130	130
11	68	93	91	78	69	0	0	70	69	70	94	141	125	128	9
60	58	71	85	61	63	132	17	70	69	140	140	51	53	130	62
64	8	93	91	83	69	132	132	0	0	140	140	132	144		62
63	8	97	84	81	60	132	134	0	0	142	142	144	144	67	59
150	150	73	91	70	81	148	148	145	150	150	0	144	144	61	60
150	150	78	57	75	77	148	148	145	150	150	0	116	60	60	150
49	49	0	0	0	0	148	148	148	150	150	150	131	150	150	150
0	49	49	49	0	0	0	0	148	148	148	150	150	150	150	0

Une analyse plus fine permet de mieux comprendre les réactions asymptotiques de ce type de réseau en provoquant une séquence aléatoire de 0 et 1 pendant un intervalle supérieur à deux périodes qui fait alors office de bruit.

- * endroit où a été présenté du bruit (2.1.)
- 0 endroit où l'élément s'est stabilisé (1.16.)

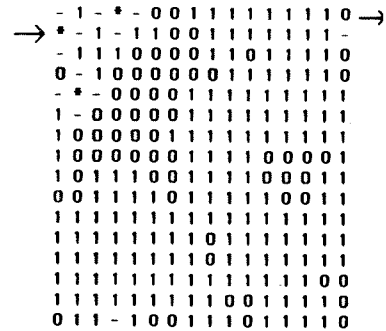
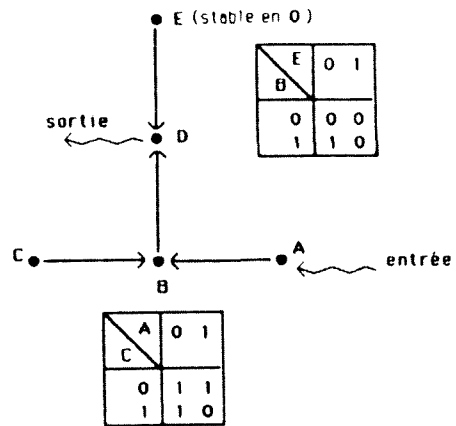


Figure 6-b La figure représente la structure du pseudo cycle limite, après qu'on ait inséré du bruit simultanément aux noeuds (1,4),(2,1) et (5,2) * Une valeur 0 signifie que l'élément a été stable pendant le cycle limite, 1 qu'il a oscillé - représente les points voisins des points d'insertion du bruit

Ce qui fait dire à H. Atlan que l'élément qui a changé d'état selon une certaine séquence a "reconnu" celle-ci.

En effet, selon une analyse détaillée ne concernant que cette étape, D est un élément de sortie (1,16), A d'entrée (2,1), B.C.E. les unités connectées à D responsables de son état. Le passage à 1 de C est dû à la réception d'un 0 à son entrée provenant de E, or il faut selon sa fonction booléenne qu'il reçoive un 1 de B dont la fonction est NON-ET. B doit pour rester oscillant ne jamais avoir d'entrée oscillante en même temps, vu l'oscillation de C, il suffit d'envoyer à A un message composé de 0 annulant les 1 de C pour stabiliser D.

C oscille avec une période 8 et répète la séquence d'états
0 1 0 1 0 1 1 0



Une classe de séquence pseudo-aléatoire est donc reconnue par ce système. Ce modèle peut donc reconnaître deux sortes de message celui qui aurait ou pas un "sens".

1.4 Modélisation actuelle

Il s'agit ici de reconnaître les filiations qui existent entre le modèle présenté et les machines réalisées. Les éléments qui composent un système connexionniste sont :

a) trois composantes matérielles

- un graphe complet (un réseau totalement connecté),
- un réseau complet de mémorisation (utilisation de la propriété de délocalisation de l'information),
- des commutateurs non linéaires (l'unité qui transite permet d'associer une sortie bistable à des entrées analogiques selon des lois non linéaires).

b) trois composantes dynamiques :

- maintien du signal d'entrée par boucle auto-référentielle (théorie cybernétique du "feed back"),
- propagation de voisinage de proche en proche (rythmée par un voisinage topologique selon la nature ondulatoire de l'émission),
- situation périodique du réseau par auto-organisation.

Implémenter un réseau c'est modéliser un ensemble d'unité de base - automates connectés entre eux - , définir une architecture générale - couche entrée/sortie - et préciser les paramètres de fonctionnement :

- la fonction de seuil,
- les sources d'information,
- les règles d'apprentissage qui décrivent l'évolution des coefficients de connexion en fonction du temps.

Nous avons alors le choix au niveau matériel entre les simulateurs des laboratoires de recherche :

Société	Produit	Description	Prix
PDP Carnegie Mellon Stanford	Explorations in Parallel Distributed Processing	Livre + 2 disquettes Essentiellement didactique	30\$ (01/89)
ROCHESTER University	Rochester Connectionist Simulator	2 versions 1 - Multiprocesseur BNN 2 - VAX ou SUN	150\$ (08/88)
BROWN Un. of Colorado at Boulder	Brain State in a Box		n/c ..
UCLA	SPHINX Machine Vision Labs	En cours pour diffusion	n/c

Société	Produit	Description	Prix
Neural systems Vancouver	Awareness	Logiciel de simulation sur IBM PC 4 types de réseaux	275\$ (1988)
Neuronics Cambridge (MA)	Mac Brain	Logiciel de simulation pour Macintosh 200 éléments - 40000 connexions	250\$ (1988)
Nestor Providence (RI)	Nestor Writer	3 Logiciels pour SUN - Apollo - PC AT Saisie de texte manuscrit	1295\$ (1988)
	Nestor MDS	Développement d'applications en reconnaissance de formes	25000\$
	Nestor AES	Prediction de risques par système expert adaptatif	(1988)
Martingale rsh. Houston (TYX)	Syspro	Simulateur PC AT 5000 connexions Reconnaissance de signaux	n/c
AI Ware Cleveland (OH)	Neural Works	Simulateur de réseaux 5000 connexions	400\$ (1989)
	Explorer	PC AT-XT PS2	
	Professional II	425000 connexions PC/AT Sun3, Sun4	
			2000\$ (1989)
			5000\$ (1989)

Produit	Description
Mark III, IV	Systèmes de simulation de réseaux de neurones Contrôle de trafic aérien Reconnaissance d'avions
Plato/Aristotle	Processeur réseaux de neurones Système expert de traduction de langues naturelles Compacq 286 et 386
	Système de gestion des réservations aériennes
	Evaluation de risques financiers

Les produits sur ordinateurs classiques avec cartes spéciales :

Produits "matériel + logiciel"

Société	Produit	Description
Human Devices New York (NY)	Carte Parallon	Environnement de développement PC et Accélérateur - Compilateur dévermineur - Carte d'accélération 8 Processeurs NEC jusqu'à 8 cartes par PC
AI Ware Cleveland (OH)	AINET	Environnement de développement PC + Accélérateur - logiciel d'application - carte d'accélération
HNC Neurocomputer San Diego (CA)	ANZA	Environnement de développement PC + Accélérateur - Compilateur + dévermineur - carte d'accélération (68020)
SAIC Tucson (AZ)	SIGMA1	Environnement de développement PC + accélérateur
Texas Instrument Dallas (TX)	Odyssey	Carte processeur pour Station explorer Reconnaissance de la parole
TIRF Grenoble	Crazy	Architecture multiprocesseur reconfigurable

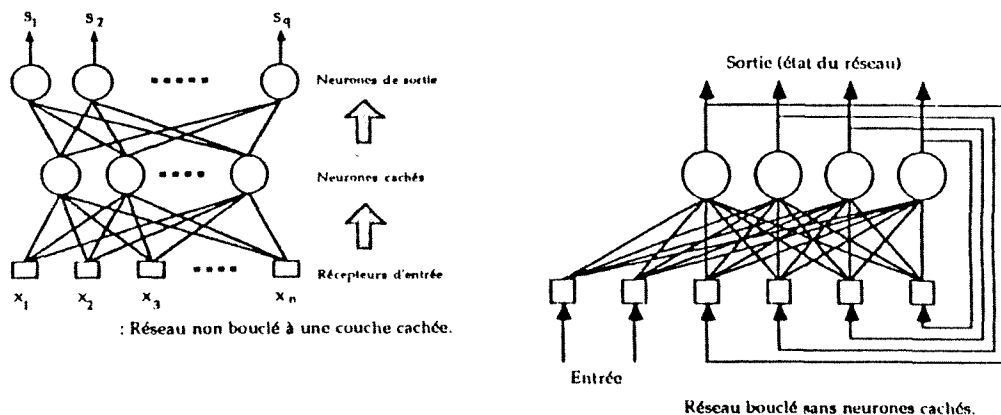
Mais ces systèmes simulent sur des machine classiques et ne permettent pas de bénéficier des avantages du modèle qui sont :

- un traitement réellement parallèle,
- une grande rapidité de réaction,
- une insensibilité au bruit ,

- une résistance aux pannes due à la redondance des unités.

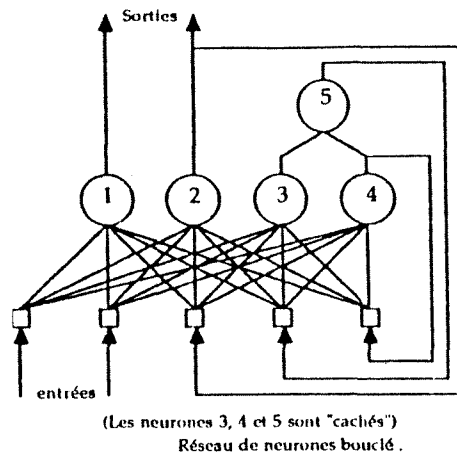
L'implémentation exploitant la technologie VLSI (Very Large Scale Integration) est une voie plus intéressante mais la diversité des possibilités oblige à définir et cibler le type de problème à résoudre et de concevoir un système dédié à celui-ci. Les choix doivent aussi se faire à propos de la structure du réseau : mono-couche/multi-couche, bouclée ou non.

Les architectures non bouclées sont qualifiées de statiques parce que la sortie est obtenue après l'application du signal d'entrée ; elles servent principalement au signal - classificateur, filtre, prédicteur - mais leur apprentissage reste très lent, ce qui fait que l'on rentre souvent le prototype en même temps qu'en phase d'utilisation.



Les réseaux bouclés sont dynamiques parce que leurs sorties tiennent compte des données d'entrées et des données internes.

On peut réaliser des mémoires associatives comme celles d'Hopfield, qui mémorise une trace prototype que l'on retrouve lors de l'utilisation même si on entre des versions incomplètes ou déformées.



Des réseaux bouclés plus complexes ont été étudiés (1) dans lesquels l'apprentissage ne concerne pas tout le réseau et où des couches "cachées" calculent sans que l'on contrôle leurs états.

Par ailleurs, un réseau réagit selon la nature des éléments qui le composent (processeur, VLSI, résistance) et de la façon dont on réalise l'apprentissage.

De plus, on peut choisir le type de représentation des données : analogique ou numérique.

L'analogique semble actuellement plus utilisé pour la sommation des données et les fonctions non linéaires. Le numérique est une bonne solution pour réaliser les éléments de mémoire (mémorisation des coefficients) (2).

On peut choisir enfin le rôle du réseau, ses capacités à réaliser l'apprentissage et la reconnaissance, un système pouvant aussi bien apprendre sans reconnaître, la réciproque n'est pas vérifiée. On ne saurait dire quelle sera l'implémentation idéale car il est actuellement difficile de faire la connexion matérielle entre toutes les unités.

Un calculateur parallèle comme la connection machine de "Thinking Machine Corp." peut être un outil de simulation intéressant mais elle n'est en fait qu'un calculateur surpuissant dont on se demande après coup à quoi il peut servir. Hinton et d'autres ont eu la démarche inverse qui est de partir du problème afin de définir une architecture de machine adéquate.

Une implémentation intéressante a été réalisée sur une machine composée de "transputers". C'est une puce construite avec une ou plusieurs unités de calcul d'une

1) A. J. Robinson ; F. Fallside - Neural networks from models to applications - eds IDSET, Paris, 1989, pp. 541.

2) F. Blayo "Tour d'horizon sur les implémentations de réseaux de neurones" Université d'été CIRILLE, LYON I, INSA LYON, Juillet 1989, pp. VII-3.

mémoire interne ainsi que des liens d'interconnexions. Elle a été conçue pour exécuter directement du code machine que l'on programme comme un ordinateur normal avec des langages symboliques(1). Chaque "transputer" est relié à quatre autres autorisant un calcul parallèle limité dans le sens où chaque unité ne calcule qu'avec les informations de l'environnement immédiat. Ces machines sont malgré tout de bons calculateurs matriciels et simulent assez bien les réseaux d'automates (2).

Une autre solution est d'utiliser le parallélisme des systèmes optiques en exploitant les particularités des hologrammes (3) pour la représentation des connaissances donc la mémoire. L'implémentation la plus proche du modèle est en étude dans les laboratoires Bell de ATT depuis 1986, les calculs sont effectués sur les valeurs électriques de résistances. Selon BELL les comportements semblent insensibles aux défauts de connexions, ce qui fournit une résistance aux pannes et au bruit de bonne qualité.

L'engouement outre-atlantique pour ce type de réseau(4) ne doit pas gommer les problèmes qui résistent, même si des personnalités comme G. Lurch, C. Mead ou F. Fagin ont constitué un "start up" en 1986 sur cette architecture, beaucoup de choses n'en sont qu'au stade de la recherche expérimentale. L'apprentissage dans le cas de réseaux bouclés avec des éléments cachés n'est pas encore maîtrisé.

On peut suivre G. Hinton quand il rappelle les limites des systèmes connexionnistes :

- Y a-t-il toujours convergence ?
- la stabilisation est-elle toujours la bonne ?
- comment calculer le bon poids des connexions ?

auxquelles je rajouterai comme remarque :

- peut-on implémenter un réseau avec des aspects généralistes ?

dans la négative, on est limité au spécifique.

1) Le langage conçu pour ces unités est Occam, mais on peut l'utiliser en C, Pascal, Fortran, Lisp, Prolog, Ada, suivant la construction des compilateurs. Occam est un langage issu du modèle CSP (Communicating Sequential Processes) développé à Oxford par l'équipe CAR de Hoare. Ce nom Occam reflète une manière de programmer et la philosophie d'un franciscain Guillaume d'Ockham (1270-1349) plus connu pour son principe du rasoir par lequel il ne faut pas multiplier les entités au delà de ce qui est nécessaire "*Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem*".

2) Ces machines sont utilisées à l'ESPCI de Paris et au CENG ainsi qu'à l'IMAG de Grenoble.

3) L'ESPCI de Paris et le GESSY de Toulon ont un projet commun de calculateur opto-électronique depuis 1987.

4) L'augmentation des entreprises fabriquant des systèmes matriciels a presque été multipliée par 8 depuis 1985, selon Micro-système d'Octobre 1987.

ORDINATEURS CONVENTIONNELS

NUMERIQUE/TEMPS DISCRET

Traite des informations codées en 0 et 1 pour la précision par commutation de portes logiques synchronisées par les pulsations d'une horloge.

CALCUL SEQUENTIEL

Un seul processeur traite séquentiellement quelques bits de données de la zone mémoire.

MEMOIRE LOCALISEE

Enregistre l'information dans une zone dédiée à la mémoire. L'adresse physique permet de retrouver facilement chaque donnée.

LOGIQUE BOOLEENNE

Prend des décisions OUI/NON basées sur des fonctions logiques.

RESULTAT EXACT

Trouve des réponses précises à un problème dans des délais parfois prohibitifs.

PROGRAMMABLE
PAR INSTRUCTIONS

Manipule les données de manière structurée. Les opérations sont toujours sous contrôle et les résultats prévisibles. Adapté à l'exécution de tâches séquentielles. Dur à programmer par expérience.

SENSIBLE AUX PANNES
MATERIELLES

La défaillance d'un seul composant de la machine peut avoir des conséquences catastrophiques.

NEURO-ORDINATEURS

ANALOGIQUE/TEMPS CONTINU

Traite des informations codées par des signaux analogiques continus, de basse précision, par transmission dans un réseau de processeurs, en temps réel.

CALCUL MASSIVEMENT PARALLELE

Les unités de traitement interconnectées traitent toutes les données en même temps.

MEMOIRE ASSOCIATIVE
DISTRIBUEE SUR LE RESEAU

Enregistre l'information de manière répartie, par la modification des poids des connexions du réseau. Chaque donnée rappelle automatiquement les informations qui lui sont reliées.

LOGIQUE FLOUE

Prend des décisions pondérées à partir de données floues, incomplètes ou contradictoires.

RESULTAT APPROCHE

Trouve rapidement de bonnes solutions approchées pour des problèmes très complexes.

PROGRAMMABLE
PAR L'EXPERIENCE

Formule de manière spontanée ses propres méthodes de traitement de l'information par auto-organisation lors de l'adaptation des connexions. Mal adapté à la programmation séquentielle, car les récursions et les boucles sont dures à implémenter en termes de réseaux.

TOLERANT VIS-A-VIS DES PANNES
MATERIELLES

Les performances se dégradent graduellement en fonction des défaillances des composants, car l'information et le traitement sont distribués sur plusieurs unités.

	Intelligence Artificielle symbolique	Connexionnisme
Représentation et règles de transformation : - granularité - nature des informations circulant dans le système	de haut niveau élevée complexe	de bas niveau faible surtout numérique
Transparence : - pouvoir explicatif - utilisation de la théorie du domaine	élevés potentiellement bon naturelle	quasi nulle très limité très difficile
Souplesse : - exploitation de données "corrompues" - adaptation au contexte - résistance aux "fautes"	faible difficile limitée mauvaise	bonne excellente naturelle bonne

- comment peut-on faire fonctionner d'une manière complémentaire un réseau connexionniste et un ordinateur classique ?
- devons nous comparer les possibilités des deux architectures en utilisant les mêmes critères ?

Leurs modèles conceptuels semblent s'opposer et il est plus sérieux d'associer les traitements au modèle le plus adéquat et d'essayer un couplage complémentaire dans les applications qui le nécessitent.

Si on prend en exemple un problème d'optimisation combinatoire, on arrive à un temps d'application équivalent pour les deux systèmes :

Avec un ordinateur classique la conception est relativement rapide - algorithme de Branch & Bound - mais le calcul est très long et risque l'explosion combinatoire. Par contre un réseau connexionniste est très qualitatif dans son temps de calcul arrivant à une solution optimum très rapidement, mais il perd son gain dans la conception spécifique et obligatoirement dédiée de son architecture matérielle.

Conclusion : le temps est globalement le même mais certains aspects se révèlent puissants et dignes d'intérêts si on les applique bien en relation aux problèmes posés.

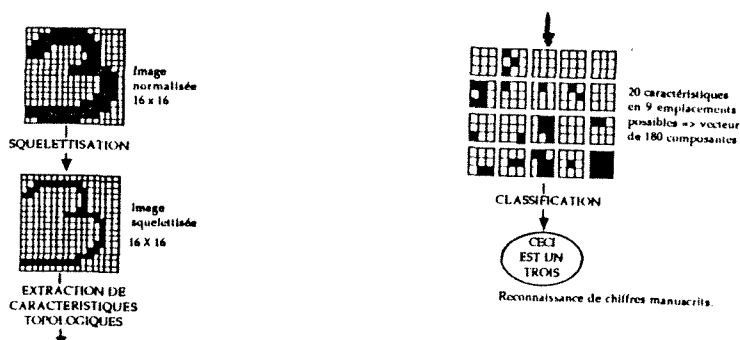
1.5 Applications linguistiques

L'originalité des réseaux connexionnistes serait la capacité à **former** des concepts en grande quantité et une gestion parallèle de ceux-ci. Ils peuvent compacter des données floues, bruitées, ambiguës et en extraire des représentations pour le niveau symbolique qui seraient traités par des réseaux sémantiques.

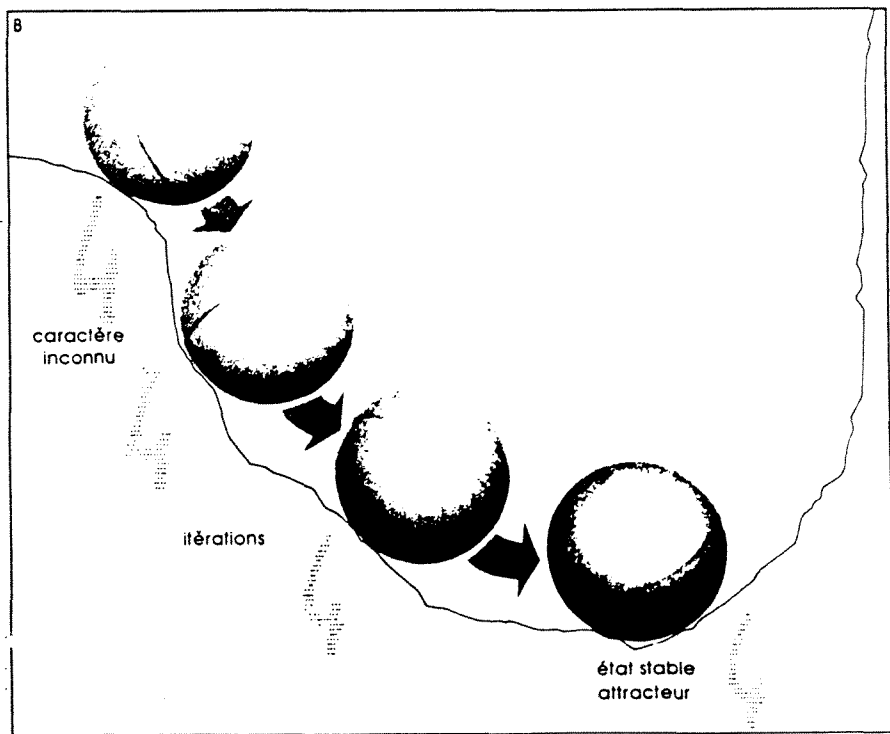
Cette orientation permet d'apporter une solution élégante aux problèmes des processus inductifs et associatifs utilisés par les experts par exemple. Elle permettrait aussi de gérer une forme de contexte d'un point de vue dynamique.

Déjà des chercheurs ont utilisé cet outil pour réaliser des études touchant à la reconnaissance de la parole et des formes.

Les laboratoires BELL de ATT ont fait un système de lecture de code postaux manuscrits à l'aide d'un réseau composé en VLSI mixte analogique-numérique qui donne une caractéristique topologique des chiffre communiqués à un classificateur servant ensuite de trace à la reconnaissance. Les performances sont comparables aux méthodes habituelles de classification (1).



Exemple de reconnaissance d'un quatre manuscrit non inscrit lors de l'apprentissage. Le fond du fossé symbolise l'état stable du réseau lors de l'acceptation de ce chiffre dans le réseau. De plus, la machine va mémoriser ce nouvel élément dans ses mémoires.

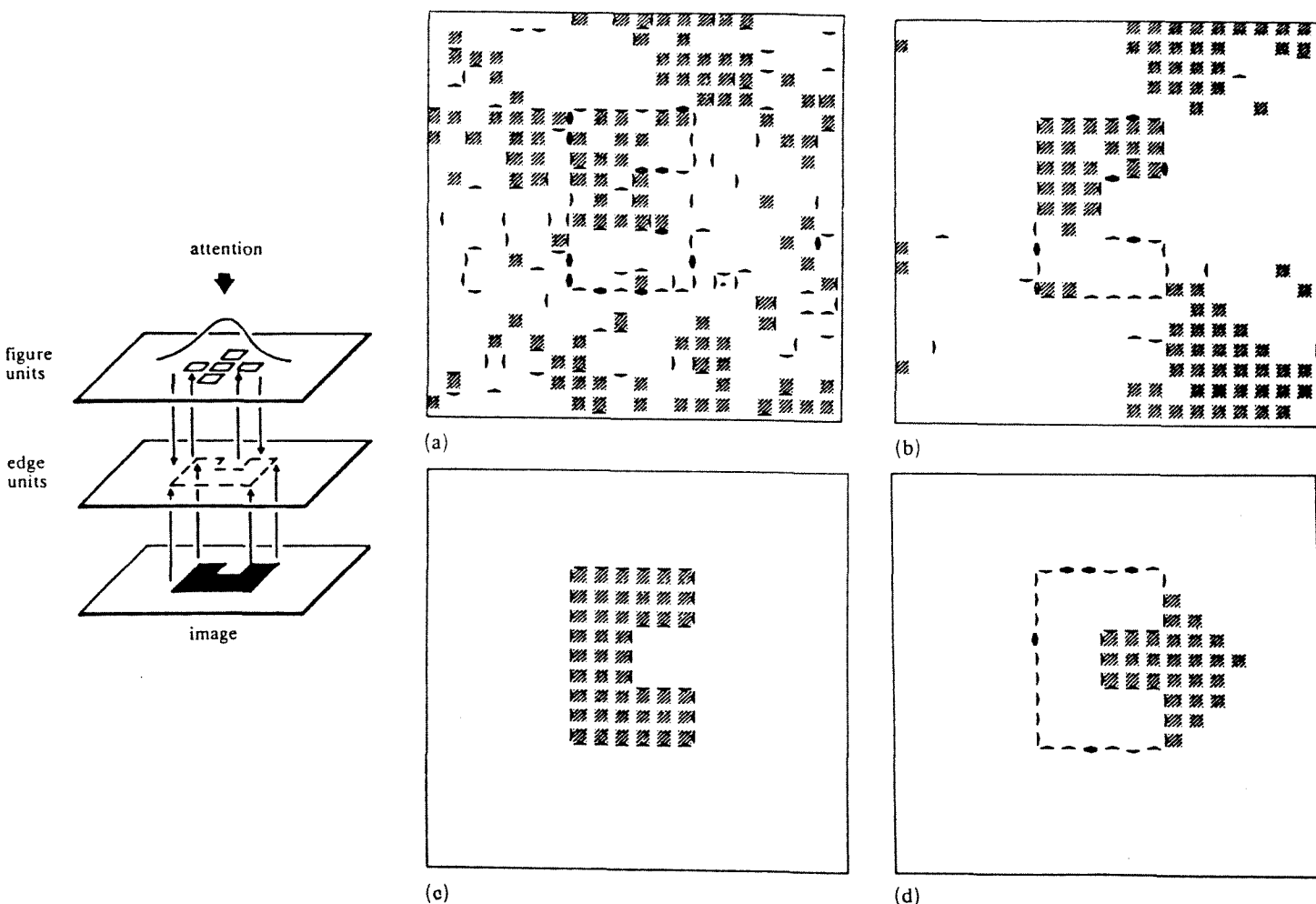


On a réalisé ce type de classification en utilisant un groupe de réseaux connexionnistes multicouches traitant directement les représentations en pixel. Or celui-ci obtenait 12%

1) H.P. Graf ; W. Hubbard - Neural networks from models to application - in Personnaz, Dreyfus eds, IDSET, Paris 1989, pp.725.

de rejet et 1% d'erreur à partir d'une base de données de plusieurs millions de caractères (1).

Ce type de réseau a servi à préciser les phénomènes de perception visuel ainsi que les relations du cerveau avec les yeux. On a fait recevoir des informations concernant les bords d'une figure et à un deuxième niveau concernant le centre focal de l'attention. L'interconnexion entre le centre d'attention et les bords a rendu possible la reconnaissance.(2)



De plus, il semble que la similitude des réactions du réseau et de ce qui se passerait dans le cerveau ne soit pas absurde. L'évidence linéaire additive serait une propriété

1) L. Guyon ; Poujault ; L. Personnaz ; G. Dreyfus ; J. Denker et Y. Lecon, international joint conference on neural networks, in Proceeding of the IEEE, Whashington, 1989.

2) Kienker ; J. Sejnowski ; E. Hinton ; L. Schumacher

- Separating figure from ground with a parallel network - Perception N° 15, pp. 197-216, 1986.

générale du système de perception (1). Ce réseau connexionniste est plus efficace et plus robuste au bruit qu'un système à chute de gradient (2).

Concernant la reconnaissance de la parole Kohonen (3) a utilisé des cartes topologiques avec un réseau connexionniste. Il a construit un réseau avec apprentissage en compétition dont le principe est l'inhibition latérale, son fonctionnement dynamique tend vers une excitation par îlots sensibles à des motifs. L'apprentissage renforce la spécialisation des liens par exclusion mutuelle en découvrant des proximités et des recouvrements partiels entre classes de motifs.

L'algorithme:

- Présenter un exemple $x^k = (x_1^k, \dots, x_n^k)$
 - Déterminer la cellule $i(k)$ la plus "sensible":

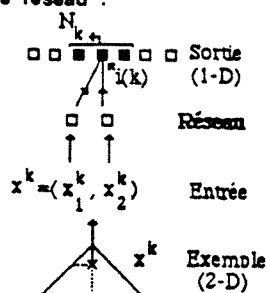
$$\|x^k - W_{i(k)}\| = \text{Min}_i \|x^k - W_i\|$$

 - Modifier les poids des cellules du voisinage N_k de la cellule $i(k)$:

$$\Delta W_i(k+1) = c(k) [x^k - W_i(k)] \quad \text{si } i \in N_k$$

$$0 \quad \text{si } i \notin N_k$$

Le réseau :



Une unité après stimulation va avoir une action inhibitrice sur les cellules voisines, l'une d'entre elles sera plus stimulée que les autres, elle va donc renforcer son poids et exiter ses voisines à la baisse. Il faut remarquer que ce réseau ne fonctionne bien que sur les sons qui ont de l'énergie donc principalement les voyelles.

Par ailleurs, une expérience intéressante s'est faite à l'université J. Hopkins (Maryland, USA) avec T Sejnowski et C. Rosenberg, ils ont utilisé un réseau connexionniste pour convertir du texte en son équivalent oral (4). L'apprentissage du réseau s'est fait en réglant les coefficients entre éléments pour faire correspondre la chaîne de caractère d'entrée et les phonèmes correspondant en sortie. La couche d'entrée examine 7 caractères d'un texte à la fois ce qui donne avec le nombre d'unité du réseau 18 629

1) G. Sperlig - Image processing in perception and cognition " in Physical and Biological Processing of images, eds J. Braddick, A.C. Sleight, Berlin Springer, pp.359-378. A noter que l'on retrouve aussi la même analyse chez Pillsbury en 1897 à propos de la perception visuelle des mots.

2) Ballard ; G. Hinton ; Sejnowski " Parallel visual computation" in Nature N°306, pp. 21-26, London, 1983.

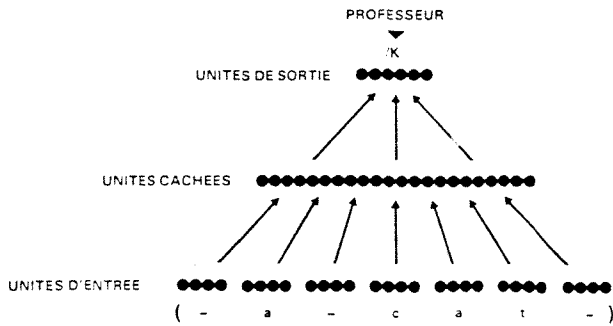
3) T. Kohonen - Représentation de l'information sensorielle par cartes auto-organisatrices - colloque COGNITIVA, CESTA, Paris, Juin 1985.

4) " Netalk", Micro-système , Octobre 1987, Ils ont utilisé un système composé de 309 éléments interconnectés et organisés en trois couches.

connexions variables. L'apprentissage d'un dictionnaire de 20 000 mots a nécessité une semaine de calcul. Avec l'aide d'un synthétiseur de parole en sortie, la machine rendait une version orale assez surprenante.

Cette étude a mis en valeur les processus d'auto-organisation des couches cachées qui opèrent une classification des règles de prononciation de chaque groupe de lettres, isolant les exceptions.

Mais précise Sejnowski le réseau ne comprend pas le texte.



FELDMAN AND BALLARD

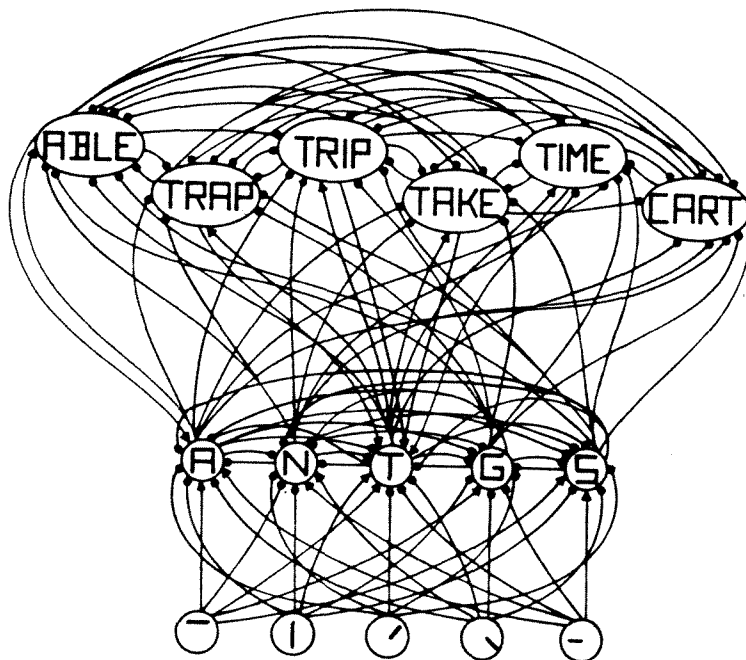


Figure 1. A few of the neighbors of the node for the letter "t" in the first position in a word and their interconnections (McClelland & Rumelhart, 1981).

D'autres chercheurs comme Lippman ou Waibel (1) ont réalisé des systèmes de reconnaissance de lettres à l'aide d'un réseau non bouclé possédant deux couches d'éléments cachées qui donne pour la reconnaissance des "B", "D", "G" des résultats avec des taux d'erreurs de 1,5% pour 1200 exemples (600 pour l'apprentissage, 600 pour le test), alors qu'avec un système utilisant une chaîne de Markov il y a 6% d'erreur.

Il existe des contraintes mutuelles dans la reconnaissance des lettres qui modifient l'analyse d'un mot vis-à-vis d'un autre et lorsqu'il y a ambiguïté nous explorons simultanément toutes les solutions jusqu'à ce que toutes les contraintes aient été prises en compte, alors l'équilibre énergétique correspond à ce qu'on appelle la bonne solution.

Pour traiter la reconnaissance des mots, il a été réalisé un réseau dont chaque unité a des interactions excitatoires et inhibitrices représentant différentes hypothèses d'entrée à différents niveaux d'analyse (2).

Postulant que deux hypothèses compatibles se soutiennent (la lettre T et le mot tracteur) et qu'à l'inverse deux solutions incompatibles s'affaiblissent (T avec le mot champs), on arrive à une seule solution de la lecture d'un mot incomplètement représenté.

Par ailleurs, l'étude du traitement sémantique de la langue naturelle a été commencée avec cette architecture. Malgré le rôle central donné à la sémantique Waltz et B. Pollack (3) ont mis l'accent sur le fait que la capacité de l'être humain à résoudre l'ambiguïté du langage n'est pas ou peu différente des facultés de reconnaissance des

1) R.P. Lippman, *Neural Computation*, 1989.

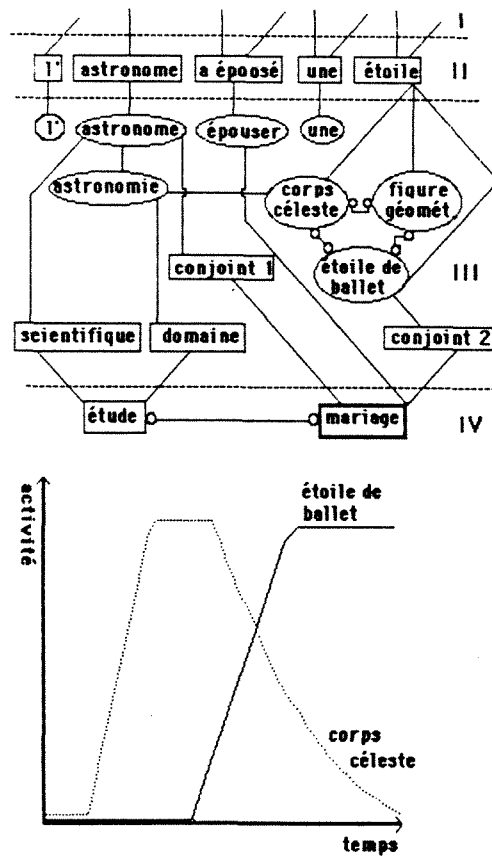
A. Waibel, T. Hanazana ; G. Hinton ; K. Shikan et KLang, *Trans. Acoust. ,IEEE, Speech Sinal Processig.1990.*

2) J. L. MC Clelland ; D.E.Rumelhart ; G. E. Hinton - par *allel distributed processing : explorations in microstructure of cognition* - MIT Press, Bradford Books, 1986.

Les auteurs ont appelé leur machine " traitement parallèle réparti" afin de se distinguer de l'approche de J. Felman et Ballard et sans doute pour éviter la métaphore biologique.

3) D.L. Waltz ; J.B. Pollack - *A strongly interactive model of natural language interpretation* - *Cognitive Science* N° 9, pp. 51-74, 1985.

formes. Ainsi au lieu d'utiliser un réseau de transition augmenté (ATN) de Woods ou un analyseur déterministe de Marcus, ils ont couplé un réseau sémantique avec un réseau connexionniste. Ce dernier traite simultanément les différents sens des mots d'une phrase jusqu'à ce que les associations collectives arrivent à une position stable.



D.L. Waltz ; J.B. Pollack - A strongly interactive model of natural language interpretation

CONCLUSION

1.1 De la spécificité du langage

L. Wittgenstein est obligé dans sa réflexion (1) de soumettre la combinaison d'objets mentaux que forme la proposition logique à l'épreuve du réel pour savoir si elle est vraie ou fautive, donc de comparer une sensation avec le percept primaire tracé dans le cerveau.

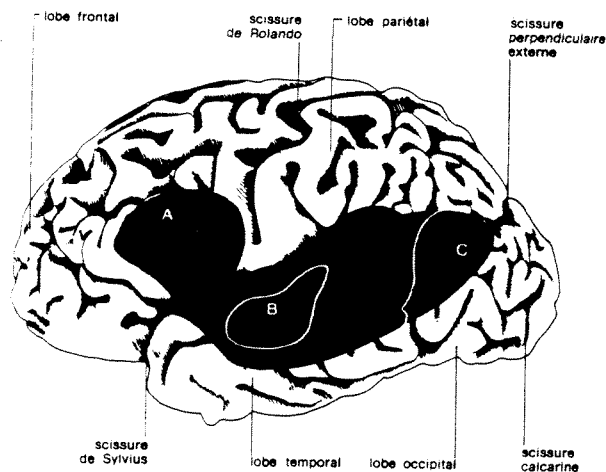
Il est important ici d'essayer de percevoir à quoi correspond le langage dans le cerveau et nous nous baserons sur les observations et les mesures physiques des sciences neuro-physiologiques et biologiques. Le langage se matérialise en fait dans l'activation de différentes couches de neurones du cerveau humain. Celles-ci sont soit les aires sensorielles primaires et secondaires, s'il s'agit de choses matérielles, soit le cortex frontal s'il s'agit de concepts abstraits.

Le langage sert à traduire les stimuli en notion interne, le cerveau en réaction cherche un état viable -donc stable- qui correspond à une nouvelle notion que le langage peut retraduire en processus externe.

L'opération génératrice "d'idées nouvelles" ou hypothétiques -de l'ordre de l'imaginaire- proviendrait du caractère dynamique des combinaisons que peuvent faire les neurones oscillateurs entre eux. Tout se fait dans une action sélective de comparaison qui fait rentrer les associations neuronales en résonance ou en dissonance avec ce qui est perçu de l'extérieur dans le cas de choses matérielles et motrices ou par la comparaison des assemblées de neurones dans le cas de concepts.

1) Tractatus logico-philosophicus (1921) éd. Paris : Gallimard.

L'activité du cerveau serait donc le résultat de couplage dynamique sur des matrices déjà connectées. Ces branchements s'effectuent à des échelles de temps différentes (1). Ce qui nous apparaît inné ne serait en fait que le résultat de l'adaptation sur un espace de temps très long, tout dans le cerveau ne serait que branchement de neurones dynamiques, et ceci relativise la contreverse de l'inné et de l'adaptationnisme (2).



1) Les interconnexions rapides sont contraintes par un mode de câblage pré-existant qui de fait impose " sa grammaire " ou sa trame, mais ces branchements résultent eux-mêmes d'un long processus de va et vient entre l'extérieur et l'intérieur de tout l'organisme vivant même animal. Bien qu'il soit transmis par l'ADN et qu'il nous paraisse fixé ce câblage s'est fait d'une manière dynamique sur une échelle de temps incommensurable avec notre perception et continue sans doute à se modifier.

R. Kalil " La formation des synapses dans le cerveau " in Pour la Science N°148, Février 1990.

2) J. P. Changeux ; A. Danchin - selective stabilization of developing synapses as a mechanism for the specification of neuronal networks - Nature, N°264, pp. 705-712, 1976.

La codification langagière semble bien pauvre face à la qualité des images mentales réalisées d'où l'expression concernant "l'arbitraire des signes"(1) mais l'activité de la langue naturelle reste un bon interface avec le cerveau afin de tenter de comprendre son fonctionnement.

- l'oral

l'orale peut avoir une caractéristique qualitative. selon A. Danchin (2) il existe des structures liées au support du sens mais dont l'organisation est indépendante de ce dernier.

C'est l'apparition ou la disparition sélective d'une classe de connectivité entre neurones au niveau des axones/synapses qui donne à l'humain la capacité du langage évolué. Ces modifications spécialisent une topologie permettant l'adaptation à un langage complexe. Le principe de connexion/déconnexion pouvant s'assimiler aux structures indépendantes du sens (la syntaxe) sur lequel s'ajoute une stabilisation sélective dont l'équilibre face à l'extérieur provoque du sens.

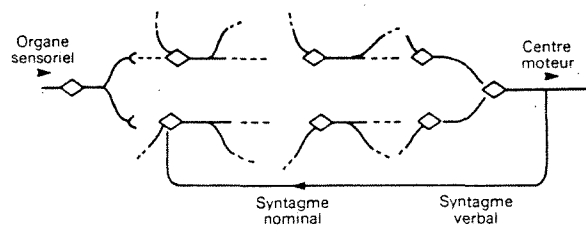
Les chemins afférents représenteraient les syntagmes nominaux et les échanges entre cellules le syntagme verbal. Le cerveau, à l'image d'un homéostat semble donc rechercher par un principe d'économie une activation entre neurone à l'aide d'un balayage permanent des couplages entre dendrites. Ce sont ces comparaisons entre différents chemins qui forment cette voix interne caractéristique lorsqu'on lit un texte.

L'hypothèse du langage organe de Chomsky semble confirmée par les recherches neuro-biologiques.(3)

1) L'expression est connue de F de Saussure (1915) mais on peut la retrouver dans "L'homme machine" de La Mettrie en 1748 , (éd. Denoel, 1981) *"Rien de simple, comme on le voit que la mécanique de notre éducation ! tout se réduit à des sons ou à des mots, qui de la bouche de l'un passent par l'oreille de l'autre dans le cerveau, qui reçoit en même temps par les yeux la figure des corps dont ces mots sont les signes arbitraires"*

2) - Les bases cérébrales du langage -, Débat, N°47, Paris : éd. Gallimard, Nov. 1987, pp. 158-170.

3) Nous ne sommes pas loin d'un système qui élude les conditions constructivistes de Piaget avec les hypothèses sélectivistes de Chomsky.



Or ce système de génération interne de l'oral permettrait de simuler l'aspect phonétique et phonologique d'un texte écrit qui pourrait aider d'une manière qualitative la reconnaissance sémantique.

- l'écrit

L'écrit est historiquement un moyen de transmettre un langage qui a été oral et cette synthèse graphique est restée très longtemps dépendante de la phonétique. Devenant de plus en plus un moyen de communiquer des idées à travers le temps, l'écrit s'est condensé jusqu'à devenir outil d'abstraction remplaçant l'acte.

L'idéographie développée par l'écriture scientifique s'est d'ailleurs dictée ses propres règles et se dégage par ce biais de l'oralité, d'où la violence faite aux textes de ce type quand ils sont lus à haute voix.

La comparaison avec un système idéographique comme l'algèbre montre bien les différences faces aux langues indo-européennes qui privilégient la forme nominale ou verbale.

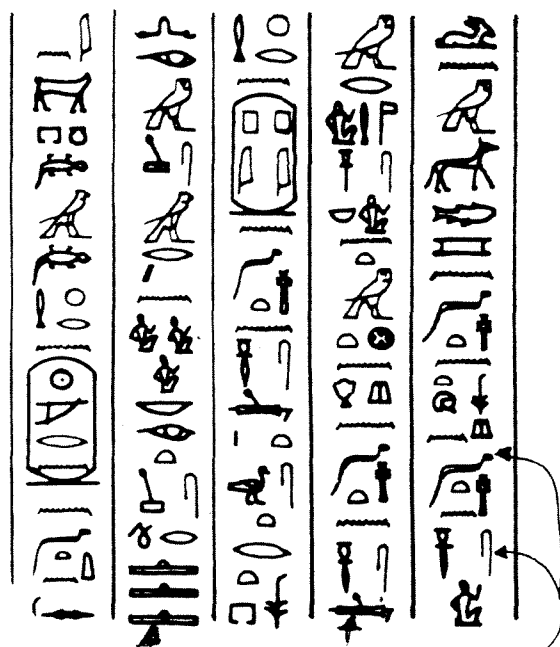
Dans ces langues les signes/choses sont devenus des pictogrammes et par stylisation des signes/mots (idéogramme se figeant dans un alphabet qui associe les sons).

L'écriture des scribes lient alors un sens à plusieurs signes et par "stabilisations sélectives" font disparaître les idéogrammes au profit des signes alphabétiques (1).

1) A. Leickman, C. Ziegler - Naissance de l'écriture cunéiforme et hiéroglyphes - Paris : éd. Réunion des musées nationaux, 1982.

Cette recherche de la cohérence dans une optique sélectionniste tend à dépasser les explications constructivistes, le processus d'économie par spécialisation des outils se rapproche aisément des phénomènes biologiques vivants.

Au niveau du cerveau , il y aurait eu une fixation lente et évolutive d'images et de concepts plus aisés à faire par spécialisation des branchements entre les neurones. Les images mentales ont donc une durée de conception beaucoup plus longue que les quelques fractions de secondes nécessaires au cerveau pour les reproduire.



- Mélange de signes alphabétiques (en gris) et d'idéogrammes (en noir) sur une inscription égyptienne de la VI^e dynastie (vers 2300 avant notre ère). Dans les systèmes d'écriture occidentaux, seul l'alphabet a persisté (d'après Ziegler dans André-Leicknam et Ziegler, 1982).

Un lien entre les processus du modèle connexionniste et l'induction semble effectif. La notion d'équilibre interne modifie les perspectives et apporte une solution nouvelle à l'analyse sémantique de la langue naturelle. Chaque niveau du réseau induit par ses branchements successifs et parallèles une valeur des niveaux inférieurs pour arriver à une caractérisation du contenu en rapport avec le contexte.

L'écrit est enfoui sous toute cette organisation et il serait nécessaire de le considérer si on ne veut pas bruler les étapes dans la reconnaissance automatique.

1.2 Base de données et interrogation

Les bases de données scientifiques classiquement interrogeables par thésaurus posent des problèmes d'interrogation du fait de la non-connaissance de ce que recherche l'utilisateur. Cela provoque l'appel d'informations incomplètes à l'intérieur d'un domaine qui induit des stratégies transversales. On est obligé d'utiliser des mécanismes d'association pour passer d'un domaine à l'autre, et les relations de synonymie n'arrive pas à en rendre compte complètement(1).

La mise en place de réseaux enchevêtrés rend complexe l'analyse d'un point de vue qui en plus oscille selon les mots clés. On doit recourir à des algorithmes adaptables en séparant les règles d'interrogation des connaissances de la base.

1) J.P. Courtial ; J. Ponian - Un système à base de logique des associations - Documentaliste, N°24, Janvier/février 1987.

Si on prend le modèle connexionniste, on peut comparer la base de données à un ensemble cohérent et la question d'un usager à une perturbation. L'interrogation peut être considérée avec la logique intentionnelle et comme forme imprécise à mettre en relation avec un mode de référence composé d'un ou plusieurs domaines.

L'optimisation peut se faire en rajoutant une couche sur un SGBD relationnel permettant de gérer un thésaurus d'une manière dynamique. On utilise des mots clés ou/et une gestion via un hypertexte. Cette couche peut être construite comme une mémoire associative bidirectionnelle. Une expérience c'est faite à Rennes (1) où a été utilisé un réseau connexionniste avec la théorie de l'harmonie de Smolensky (2) dont les fondements sont analogues à la machine de Boltzmann.

1) Y. Cochet ; G. Paget - Réseaux neuronaux pour base d'images - Neuro_nimes ,1988.

2) P. Smolensky - information processing in dynamical systems : foundations of harmony theory - Parallel distributed processing, chap. 6, MIT Press, 1987.

Entrée = motif initial sur couche A
(perception incomplète, bruitée...)

Stabilisation du réseau en un état associé
au terme d'un certain nombre de
cycles

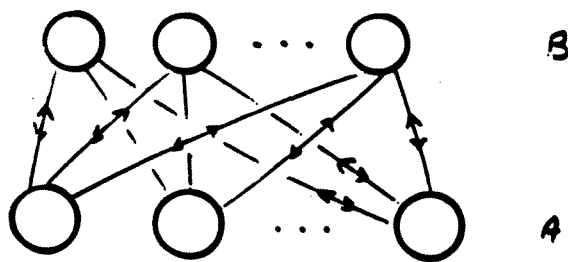


car il existe des attracteurs à
énergie minimale

Sortie = motif final sur couche B

Auto-associateur si: $\vec{y} = \vec{x}$ dans les états
d'équilibre

Hétéro-associateur sinon



On tend vers la cohérence entre les x et les y dans le cadre des connaissances incarnées par les poids entre les unités du réseau. Ceci permet d'associer les entrées A aux mots clés et le niveau B aux documents. Les poids de connexions entre un mot-clé et un document se modifient selon l'usage des usagers de la base. On réussit là une forme de câblage optimisant les questions aux réponses qui changent selon les points de vue ou les habitudes des utilisateurs.

Cette indexation dynamique via le réseau permet une recherche inductive en faisant fonctionner le système à l'envers, c'est-à-dire en activant les mots-clés par les documents; ce qui peut compléter le choix d'un interrogateur en lui proposant des documents auxquels il n'aurait peut-être pas pensé par association d'idées. On évite ainsi trop de silence ou de bruit par le principe de cohérence interne du réseau en ne retrouvant pas systématiquement les unités les plus activées.

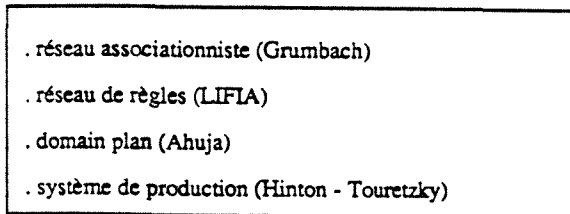
Il est important de maintenir les aspects modulaires d'un analyseur afin de garantir l'évolution. On doit garder les modules morpho-syntaxiques et sémantiques en cherchant à lier entre-eux une forme de va-et-vient.

On pourra y rajouter des modules connexionnistes dont les tâches sont de décrypter les informations floues et ambiguës afin d'optimiser le travail des modules symboliques dont le travail porte sur la morphologie, la syntaxe et la sémantique et la pragmatique.

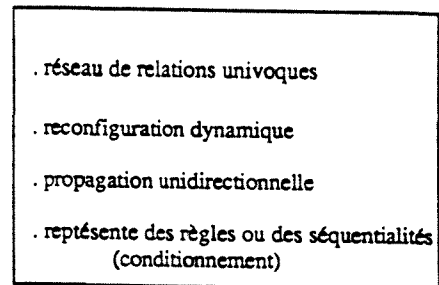
Concevoir l'architecture d'un analyseur avec un réseau connexionniste revient d'une part à résoudre les problèmes concernant les liens entre machines séquentielles et réseaux à calcul parallèle massif et d'associer les démarches de ces deux systèmes d'une manière complémentaire - l'induction et la déduction réunies sur une même machine -.

Les aspects matériels sont trop long à réaliser pour ce type de simulation : la plupart du temps est consacré à implémenter la machine, à analyser les réactions lors de l'apprentissage et à calculer les coefficients de connexions.

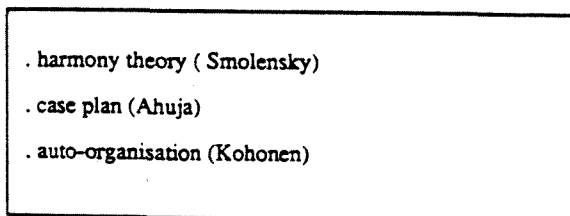
On se limitera dans ce mémoire à conceptualiser le type de réseau et son (ou) ses rôles en relation avec les modules gérant le symbolique en générale. Le système connexionniste est puissant pour les analyse bruitées et floues, on peut lui faire gérer les aspects de reconnaissance de caractères et phonologiques en cas d'entrée orale. Celui-ci pourrait à un autre niveau générer une version orale d'un texte écrit en cas d'ambiguïté morphologique ou syntaxique et ainsi donner la possibilité d'analyser des langues peu marquées à l'écrit.



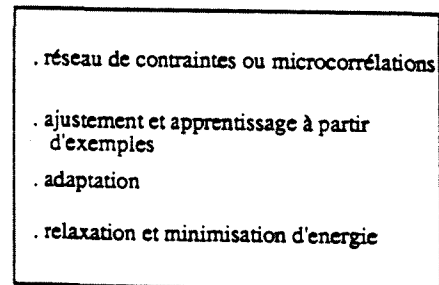
NIVEAU LOGIQUE



NIVEAU LOGIQUE



NIVEAU ASSOCIATIF

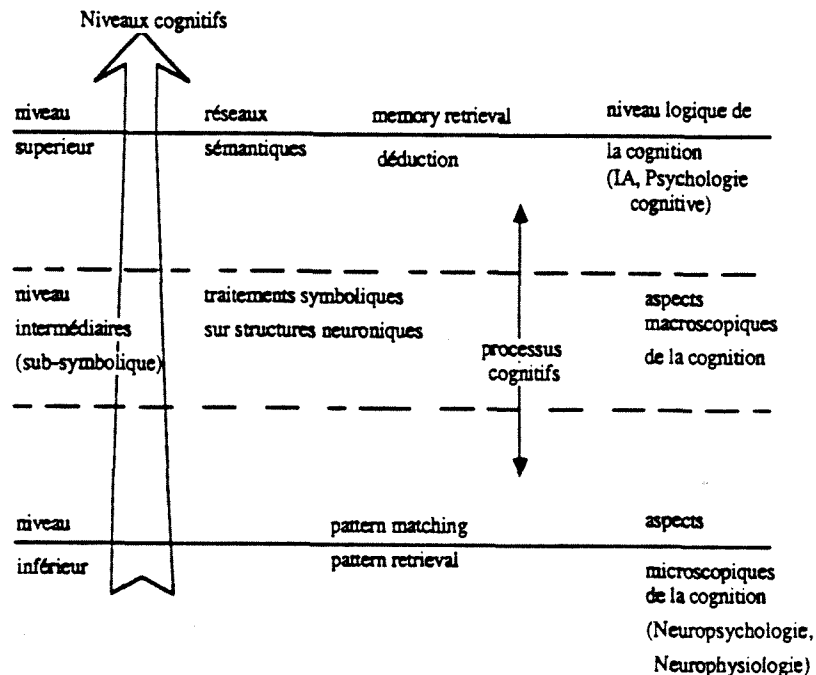


NIVEAU ASSOCIATIF

Description sommaire des mécanismes internes.

On peut imaginer le module d'analyse sémantique composé d'un réseau sémantique couplé à un réseau connexionniste dont le rôle serait de gérer dynamiquement des liens entre les "frames".

En effet, le but principal du réseau connexionniste serait de traiter les niveaux bas - dit microscopique - de la cognition qui associés aux traitements de hauts niveaux - dit symboliques- du réseau sémantique réalisent le processus de cognition dans sa globalité.



On pourrait alors se libérer des barrières quantitatives et qualitatives des ambiguïtés et des vides syntaxiques ou d'un contexte fermé du type monde clos.

Le réseau connexionniste ne voit pas pas le contexte mais peut le générer au fur et à mesure de l'analyse d'un texte en créant des liens dynamiques entre concepts -frames-. L'auto-organisation permet une adaptation naturelle et l'émergence de concepts appliqués à un domaine à partir des données brutes provenant du module morpho-syntaxique.

On peut implémenter ce réseau de manière distribuée ou localisé, à savoir répartir l'évocation d'un concept sur plusieurs unités ou la concentrer dans une. Dans le deuxième cas les liens représentent le degré de parenté entre concepts. Les fonctions de poids gèrent la probabilité d'exclusion ou non.

Le système de Waltz et Pollack (1) a utilisé en partie cette logique à partir d'un apport unique d'information, ce qui évacue le caractère temporel de la reconnaissance d'un énoncé.

Or il est plus valable de faire marcher ce modèle avec un apport continu d'information. La représentation de la connaissance via des concepts locaux de haut niveau peut se faire par l'intégration dans chaque "frame". Dans un réseau sémantique dont les liens se créent dynamiquement à l'aide d'interactions locales et autonomes peut se former une topologie de liens entre concepts qui peut évoluer dans le temps selon la suite de la phrase.

Ce modèle est donc hybride, connexionniste dans son fonctionnement et symbolique dans son mode de représentation.(2)

Les liens sont chargés d'un coefficient caractérisant leur stabilité. On peut définir les différentes contraintes pour le changement des liens qui intègre le type (événement, être humain, opérateur), des contraintes liées aux domaines d'applications choisis, ainsi qu'une notion d'influence qui est fonction du nombre de liens pointant sur un "frame" mais aussi des "frames" déjà connectés sur lui.

Lors de l'analyse d'un texte les liens sont remis en cause suivant leurs coefficients ($k < 1$),

les liens non engagés cherchent eux activement une cible. Le système pourrait peut-être traiter les propositions relatives en faisant évoluer le niveau d'interprétation sur une phrase voire les liens anaphoriques par association de paquets de liens.

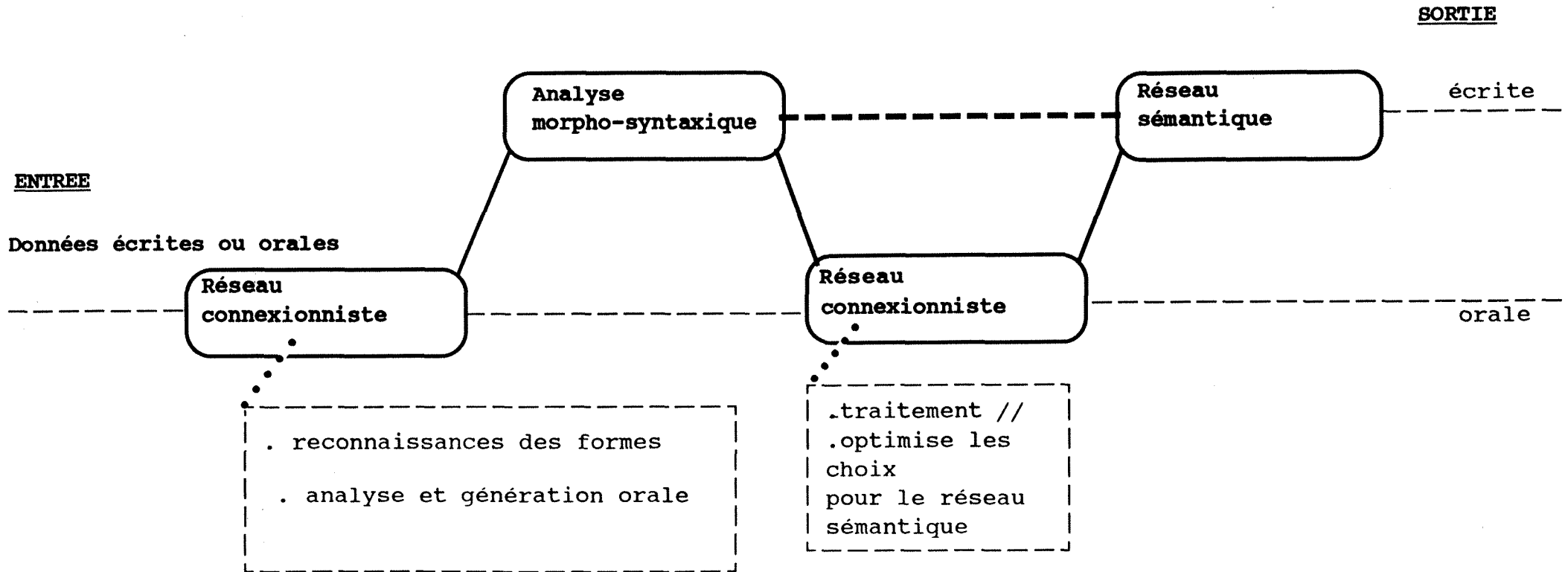
L'auto-organisation peut-elle gérer une forme de cohérence contextuelle qui manque tant aux systèmes classiques ?

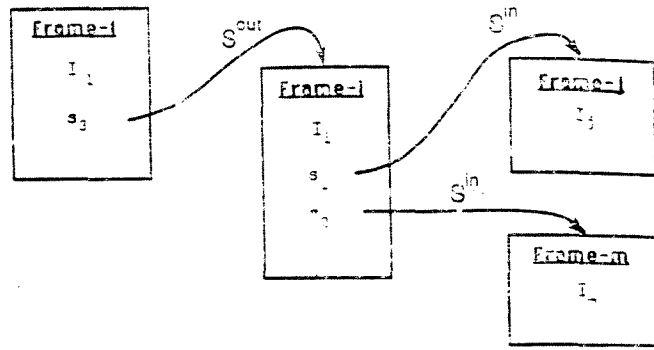
Les opérations de gestion de cohérence impliquent de maintenir deux mémoires distinctes, une pour l'arborescence de tous les choix et une autre qui vérifie la cohérence logique au fur et à mesure de l'évolution de l'analyse.

1) D. Waltz ; J. Pollack - A strongly interactive model of natural language interpretation - in *Cognitive Science*, N°9, 1985.

2) A. Cornejuols - Connexionnisme et représentation de haut niveau -, Actes université d'été, Juillet 1989, Université Lyon I, Insa Lyon.

ARCHITECTURE D'UN ANALYSEUR





Dans la situation présentée ici, l'influence du frame-i serait:

$$I_i = I_{i0} + (S_{s1}^{in} \cdot I_j + S_{s2}^{in} \cdot I_m) + S_{s3}^{out} \cdot I_1$$

Elle peut dans le cas d'incohérence logique trop importante redévelopper l'arbre des décisions à partir d'un nouveau choix par un retour arrière ("backtracking") mais ceci comporte des risques d'explosion combinatoire au niveau physique et logique de part le mélange hétérogène entre les aspects syntaxiques, sémantiques et conceptuels.

Si on se limite à une situation pendant un temps T aléatoire, on ne gère plus ces aspects mais on augmente les calculs et on fait baisser les probabilités de cohérence de l'analyse. Malgré la puissance du traitement parallèle et dynamique du modèle connexionniste, il est actuellement obligatoire de faire apprendre au réseau des concepts du domaine concerné par le texte auquel on applique l'analyse, ce qui limite les points de référence (sauf à imaginer des mémoires de concepts organisées en bases de connaissances en quantité infinie via un réseau téléinformatique). Les problèmes de mémoire sont actuellement réglés au niveau quantitatif, seul, l'accès aux "frames" est un goulot d'étranglement aux performances d'un tel système.

Le refus conceptuel des notions symboliques faites par les concepteurs du modèle connexionniste n'empêche pas l'utilisation en toute complémentarité avec les systèmes symboliques, ce postulat épistémologique a eu l'effet positif de clarifier les choses concernant la sémantique et peut-être de permettre une avancée conceptuelle qualitative dans l'analyse de la langue naturelle.

*

* *

BIBLIOGRAPHIE - PARTIE I

- AHO A. ; JEFFREY U., The theory of parsing, translation and compiling, volume 1, Englewood Cliffs : ed. Prentice Hall, 1972.
- ALLEN J., "An interval - based representation of temporal knowledge", Actes du 7^{ème} IJCAI, Vancouver, 1981, pp. 221-226.
- ALLEN J. ; PERRAULT R., "Analizing intention in utterances", Artificial intelligence, n°15, 1980, pp. 143-178.
- ATLAN H., A tort et à raison, intercritique de la science et du mythe, Paris : ed. seuil, 1986.
- BACHELARD G., La formation de l'esprit scientifique, Paris : ed. Vrin J, 1965.
- BENTHEM J., The logic of time, Reidel ed., 1983.
- BLANCHE R., L'induction scientifique et les lois naturelles, Paris : P.U.F., 1975.
- BLANCHE R., Introduction à la logique contemporaine, Paris : Armand Colin, 1968.
- BLANCHE R., La logique et son historique, d'Aristote à Russel, Paris : Collin/Coll U, 1970.
- BOBROW D., "Natural language input for a computer problem solving system", Semantic information processing, Cambridge : Minsky ed. MIT Press, 1968.
- BOCHVAR D., "On three-valued logical calculus and its applications to the analysis of contradictions", Matematichesk sbornik, n°4, 1932, pp. 353-369.
- BOOLE G. , The mathematical Analysis of logic, New York : philosophical Library, 1948.
- BRACHMAN R., "What's in a concept : structural foundations for semantic networks", International journal of man-machine studies, n°9, 1977, pp. 127-152.
- BREMOND C., Logique du récit, Paris : ed. seuil, 1973.
- CARNAP R., Le problème de la logique de la science ; science formelle et science du réel, éd. Herman et Cie, 1935.
- CHARNIAK E., "Passing markers : a theory of contextual influence in language comprehension", Cognitive Science, n°7, 1983, pp. 171-190.
- CORNU P., Une logique de l'instable, La Villette : Actes Mari, 1987.
- COULON D., "Raisonnement et ébauche de raisonnement", Colloque logique naturelle et argumentation, Royaumont, 1987.
- DESCLES J.P., "A propos de la mathématisation de la linguistique", sémantique et logique, Paris : ed. Pottier, coll. Univers sémiotiques, 1976.
- DEWEZE A., Réseaux sémantiques : essai de modélisation, application à l'indexation et à la recherche de l'information documentaire, Université LYON I : thèse d'université.

- DIDEROT D., Le rêve d'Alembert, Paris : ed. Garnier, 1965.
- DUPONT P.L., Eléments logico-sémantiques pour une analyse du français, Université LYON II : Thèse d'état, 1983.
- FAUCONNIER G., La coréférence : syyntaxe ou sémantique ?, Paris : éd. Seuil, 1974.
- FREGE ; GOTTLOB Ecrits logiques et philosophiques - Traduction française de C. Imbert, Paris : éd. Seuil, 1971.
- FROIDEVAUX C. "ISA Hierarchie with exceptions, Proc.", 5^{ème} Congrès AFCET Reconnaissance des Formes et intelligence artificielle, Grenoble, 1985, pp. 1127-1138.
- GABBAY D.M., "Theoretical foundations for non-monotonic reasoning Expert systems, research report, London : Department of computing, Imperial College, 1984.
- GOCHET P., "Théorie des modèles et compétence pragmatique", Le langage en contexte, Amsterdam : éd. H. Parrek, 1980, pp. 319-388.
- GOCHET P., "La sémantique réursive de Davidson et de Montague", Penser les mathématiques, Paris : ed. Seuil 1982.
- GOCHET P., "L'originalité de la sémantique de Montague", Etudes philosophiques, vol 2, 1982, pp. 149-173.
- GÖDEL K., "An undecidable propositions of formal mathematic systems" The undecidable, Princeton : Davis ed., 1934.
- GÖDEL K., "On formally undecidable propositions of principia Mathematic and related systems" in Van Heigenoork - 1967, pp. 592-617.
- GRICE H.P., "A utterer's meaning, sentence meaning and work meaning", Foundations of language, n°4, pp. 225-242.
- GRIZE J.B., "Logique naturelle et vraisemblance", Actes du colloque logique naturelle et argumentation, Royaumont, 1986.
- HAACK S., Philosophy of logics, Cambridge university press, 1978.
- HEGEL, Grande logique et Phénoménologie de l'esprit, ed. Lasson.
- HENDRIX G., "Encoding knowledge in partitioned networks, Associative networks : representation and use of knowledge by computers, New York : Findler, Academic press, 1979, pp. 51-92.
- HERBRAND J., Recherche sur la théorie de la démonstration, Varsovie : Société des sciences et des lettres, ed. Ecrits logiques, Paris : PUF, 1968.
- HEYTING A., Intuitionism, an introduction, North Holland 1956.
- HILBERT, "Sur l'infini", Acte mathematica, tome XLVIII, pp. 101-121.
- HOFSTADTER, Gödel, Escher, Bach. Les brins d'une guirlande éternelle, Trad. Française, Paris : Inter-édition 1985.
- KAMP H., "A theory of truth and semantic representation", Truth, interpretation and information, Groningue : Groenendijk ed., 1984.

- KATZ J., Semantic theory, New York : Harper and Row ed., 1972.
- KAYSER D., "Representation des connaissances en intelligence artificielle", Actes de l'école d'été de l'ARC, 1986.
- KAYSER D., "Le raisonnement à profondeur variable", Actes des journées nationales du PRC intelligence artificielle, Toulon, 1988.
- KAYSER D., "What kind of thing is a concept ?", computational Intelligence, 1988.
- KLEENE S., Introduction of mathematics, Van Nostrand, 1952.
- KRIPKE S., Naming and necessity, Oxford : Basil Blackwell ed., 1972 - traduction française, La logique des noms propres, Paris : ed. Minuit, 1980.
- LACHELIER, Fondement de l'induction.
- LALANDE A., Théories de l'induction et de l'expérimentation, éd. Boivin, 1929.
- LEFEBVRE H., Logique formelle, Logique dialectique, Paris : ed. Anthropos, 1969.
- LE GUERN M., Sémantique de la métaphore et de la métonymie, Paris : éd. Larousse, coll. Langue et langage, 1973.
- LEWIS, "Implication and the algebra of logic", Mind, vol 21, 1912, pp. 522-531.
- LEWIS et LANGFORD, Symbolic logic, Dover publications, 1932.
- LUKASIEWICZ J., On three value logic, Oxford : Mc Call ed., 1967.
- LUKASIEWICZ J., Many-valued systems of propositional logic, Oxford : Mc Call ed., 1967.
- MARTIN R., Pour une logique du sens, Paris : ed. P.U.F., Coll Linguistique nouvelle, 1983.
- Mc DERMOTT D., "A temporal logic for reasoning about plans and actions", Cognitive Science, n°6, 1982, pp. 101-155.
- Mc DERMOTT D. et Jon D., "Non monotonic logic I", Artificial intelligence, n°13, 1980, pp. 41-70.
- Mc DERMOTT D., "Non monotonic logic II - Non monotonic modal theories", Journal of the ACM, N° 1, 1982, PP. 33-57.
- MILL J.S., Systeme de logique déductive et inductive, Paris : ed. Alcan, 1989.
- MONTAGUE R., "The proper treatment of quantification in ordinal English", Formal philosophy, London : Yale University Press, 1974, pp. 188-221.
- MOORE R., "A formal theory of knowledge and action", Formal theories of the common sense word, Ablex publishing corporation, 1984.
- MOORE R., "Semantical considerations on non-monotonic logic", Artificial Intelligence, vol. 25, n°1, 1985, pp. 75-94.
- NAGEL E. et NEWMAN J., Gödel's proof, New York : University Press, 1965.

- PIERREL J.M., Dialogue oral homme-machine, Paris : ed. Hermès, 1987.
- PONASSE D., Logique mathématique, Paris : OCDL, 1967.
- QUILLIAN R., "Semantic memory", Semantic information processing, Cambridge : Mass ed., Minsky : MIT press, 1968, pp. 227-270.
- QUINE W.V., Méthodes de logique, Paris : ed. Armand Colin, 1972.
- QUINE W.V., Philosophie de la logique, Paris : ed. Montaigne 1975.
- RASTIER F., "Sur la sémantique des réseaux", Quaderni di semantica, n°8-1, 1987, pp. 115-131.
- REITER R., "A logic for default reasoning", Artificial intelligence, n°13, 1980, pp. 81-131.
- RESCHER N., Many valued logic, Mac Graw-hill ed. 1969.
- RESCHER N., A theory of possibility, Oxford : Blackwell ed. 1975.
- RICHE J., "Logique et théorie de la signification", Encyclopédie philosophique universelle, Paris : PUF, 1989.
- RUSSELL B., On denoting, *Mind*, vol 14, 1905, pp. 479-493, "Contemporary Reading", Logical Theory, New York : Mac Millan.
- SABAH G., L'intelligence artificielle et le langage, Paris : ed. Hermès, tome 1 et 2, 1989.
- SCHANK R., "Reminding and memory organisation : an introduction to MOP", Strategies for natural language processing, N.J. : Lehnart & Ringle, Laurence Erlbaum, 1982.
- SELIGMAN L., Integration de la syntaxe, de la sémantique et de la pragmatique dans un analyseur de textes, Application à l'avionique, Paris : thèse université Pierre et Marie Curie, 1985.
- SHAPIRO S., "What do semantic network nodes represent ?" *Teim - Rep* n°7, Dept of computer sciences University of New York, 1981.
- SIMMONS R., "Semantic networks : their computation and use for understanding English sentences", Computer models of thought and language, San Francisco : Schank & Colby, Freeman, 1973, pp. 63-113.
- SOWA J., Conceptual structures : information processing in mind and machine, Reading, M.A., U.S.A., Addison Wesley publishing company, 1984.
- TARSKI A., Logique, sémantique, métamathématiques, Paris : ed. Colin, 1972.
- THAYSE A. et co-auteurs, Approche logique de l'intelligence artificielle, Paris : ed. Dunod, Tome 1 et 2, 1989.
- ULLMAN J., Principles of database systems, London : Putman ed., 1982.
- VERONIS J., Contribution à l'étude de l'erreur dans le dialogue homme-machine en langage naturel, Marseille : thèse de l'université Aix-Marseille III, 1988.

VIDALENC I. ; LAINE S. ; LAROUK O., "Systèmes d'informations textuelles : l'apport des logiques intentionnelles et extensionnelle", Grenoble : congrès ACM/SI GIR, 1988.

WHITEHEAD A.N. et RUSSEL B., Principia mathematics Cambridge University, vol 1, 2 et 3, 1910-1913.

WITTGENSTEIN L., Tractatus logico-philosophicus, Paris : ed. Gallimard, 1961.

WOODS W., "Transition networks grammars for natural language analysis", CACM, n°10, 1970, pp. 591-606.

WOODS W. "What's in a link : foundations for semantic Network", New York : Bodrow/Collins ed., 1975, pp. 35-82.

ZADEH L., "Fuzzy logic and approximate reasoning synthese, n°30, 1975, pp. 407-428.

BIBLIOGRAPHIE PARTIE II

- ARBIB M.A., "Perceptual structures and distributed motor control", Computer and Information Science, University of Massachusetts : center for systèmes Neuro science, June 1979.
- AIPLE F ; KRUGER J., "The brain is an input driven neural network", in connectivity analysis of monkey visual cortex by cross correlating spike train.*
- ALKON D., "Memorisation et neurones", Pour la science, n°143, Septembre 1989, pp. 38-46.
- ALMEIDA B., Proc. of the first IEEE international conference on Neural Networks, San diego : IEEE, 1987 pp. 11-609.
- ANDERSON J.R., The architecture of cognition, U.S.A., Cambridge : Harvard university Press, 1983.
- ANGENIOL B., LE TEXIER J.Y., MATEU J.B., "SLOGAN : an objet-oriented language for neural network specification".
- AMY B. ; DECAMP E. ; GUEZ S., Réseaux d'automates : panorama des recherches, Grenoble : Rapport I.M.A.G., 1987.
- ARBIB M.A., "Perceptual structures and distributed motor control", Computer and Information science, University of Massachusetts : Center for systems neuroscience, June 1979.
- ARBIB M.A. ; CAPLAN D. "Neurolinguistics must be computational, the Brain and Behavioral, Sciences, n°2, 1979 pp. 449-483.
- ATLAN H., "Creation de signification dans des réseaux d'automate", in cahier S.T.S., n°9-10 Paris : ed C.N.R.S., 1986 pp. 65-79.
- ATLAN H. ; FOGELMAN - SOULIER ; SALOMON S., WEISBUCH G., "Randon boolean networks", cybernetic and system, n°12, 1981, pp. 103-121.
- ATLAN H., Entre le cristal et la fumée, Paris : ed. Seuil 1979.
- BALLARD D.H., "Cortical connections and parallel processing : structure and function", Behavior Brain Science, 1985.
- BALLARD D.H. ; HINTON G.E., SEJNOWSKI, "Parallel visual computation", Nature, n°306, London, 1983, pp. 21-26.
- BALLARD O.H., "Parameter Networks : towards a theory of low level vision", Vancouver ; 1981.
- BANQUET J.P. ; SMITH M. ; SPINAKIS A., EL OUARDIRHI, "Probability learning and memory : a connectionist approach *.
- BAVER H., GEISEL T., "Dynamical analysis of temporal sequence in information processing networks" *.
- BEHREND K., DONICHT M., "Neuronal organisation of motor activity in the electric fish" *.

- BERWICK R.C., "Transformational grammar and artificial intelligence : a contemporary view", Cognition and Brain theory, n°6, pp. 383-416.
- BEST J., MALLOT H., KRUGER K., DINSE H., "Dynamics of visual information processing in cortical systems" *.
- BERRENDONNER A., Eléments de pragmatique linguistique Paris : ed de Minuit, 1981.
- BIENENSTOCK E. ; DOURSAT R. ; "Elastic Matching and Pattern recognition in Neural networks". *
- BLAYO F. ; HURAT P., "A systolic architecture dedicated to neural Networks". *
- BOURRET P. ; GASPIN C. "scheduling space operations by a Boltzmann machine". *
- CANNING A. "Self organization of cellular automata with distance dependant connectivity". *
- CASTI J.L., Real brains, Artificial Minds, North Holland : A. Karlquist ed, 1987.
- CHAMPOST E. "Linear clasification with binary connection in neural network". *
- CHANGEUX J.P., L'homme neuronal, Paris : ed Fayard / coll pluriel, 1983.
- CHANGEUX J.P. ; DANGHIN A, "Apprendre par stabilisation sélective de synapses en cours de développement", in l'Unité de l'homme, Paris : le seuil, 1974, pp. 320-357.
- CHARNIAK E. "Passing markers : A theory of contextual influence in language comprehension", Cognitive science, n°7, 1983, pp. 171-190.
- CHEVALIER R.C. ; SIRAT G.Y. ; MARVANIA D., "Optical implementation by Frequency multiplexed raster of neural networks". *
- CHOL P., MUNTEAN T., "NEURA : towards an OCCAM extension for neuro computers". *
- CIRILLE, "Réseaux connexionnistes en informatique, méthodes et applications", Actes, 3^{ème} université d'été, 3-7 juillet 1989, ed. Université LYON I - Insa de LYON.
- COHEN M.A., GROSSBERG S., "Neural dynamics of brightness perception : Feature, boundaries, diffusion and resonance", Perception and Psychophysics, n°31, 1984, pp. 428-456.
- COTTRELL, "Analysis of simplified model ot the cerebellar cortex". *
- COURTIAL J.P. ; POMIANS "Un système à base des logiques des associations pour l'interrogation des bases de données". Documentaliste, Vol. 24, n°1, Janvier-Février 1987.
- CRUSE H., "The control of path and joint angles in a human arm". *
- DANCHIN A., "Les bases cérébrales du langage", in Débat, n°47, Novembre-Décembre 1987, ed. Gallimard, pp. 158-170.
- DEHENHAM R. ; GARTH R., "Investigations into the effect of numerical resolution and the performance of back propagation" *

- DELOBEL CL. ; ADIBA M. "Bases de données et systèmes relationnels", Paris : DUNOD, 1982.
- DREYFUS G. ; ZIPPELIUS A., "Graph recognition by neural networks". *
- DOBSON V., "Decrementing associative network". *
- DORFFNER G. ; "Cascaded associative networks for complex learning tasks". *
- DURAND C., "Recherche : vers le neuro-ordinateur". Micro systemes, Octobre 1987 pp. 85-95.
- DURANTON M. ; GOBERT J. ; MAUDIT N., "A digital V.L.S.I. Module for neural networks". *
- EKEBERG O. ; LANSNER A., "Automatic generation of internal representations in a probabilistic artificial neural network". *
- FAHLMAN S.E. ; HINTON G.E. ; SEJNOWSKI T.J., "Massively-parallel architectures for A.I. : NETL THISTLE and Boltzmann Machines" in Proceedings of the National conference on artificial intelligence, washington DC : W Kauffman ed, 1983 pp. 109-113.
- FAHLMAN S.E., NETL : A system for representing and using real-word knowledge, Cambridge M.A. : MIT Press - I - 1979.
- FARGUES J., "Des graphes pour coder le sens des phrases", Pour la science, n°137, Mars 1989 pp. 52-60.
- FAURE B., MAZARE G. "a V.L.S.I. asynchronous cellular architecture dedicated to multilayered neural networks". *
- FELDMAN J.A., BALLARD H., "Connectionist models and their properties", Cognitive science, n°6, 1982, pp. 205-254.
- FODOR J., The modularity of mind, Cambridge MA. : MIT Press, 1982.
- FOGELMAN-SOULIE F., Contribution à une théorie du calcul sur réseaux, Thèse d'état, Grenoble 1985.
- GELPERIN A.E. ; HOPFIELD J.J. ; TANK, "the logic of LIMAX", in Model neural networks and behavior, New York : Plenum Press, 1985.
- GIELEN C.C., COOLEN A.M., "Self organisation in neural networks underlying the coordination of movement". *
- GOULD S., Ontogeny and phylogeny, Cambridge MA. : Harvard university Press, 1977.
- GRAF H.P. ; HUBBARD W., "Neural networks from models to applications". *
- GROSS D.J. ; MEZARD M., "The simplest spinglass", Nucl. Phys., FS B n°240, 1984 pp. 431-452.
- GROSSBERG, The adaptative brain, 2 vol, North Holland, 1987.

GUIVARCH M., "Réseaux : techniques de base et apprentissage, actes 3^{ème} Université d'été, Réseaux connexionnistes en informatique Méthodes et applications, 3-7 Juillet 1989, Université LYON I - Insa de LYON - pp. II 1- II 30.

HARTMANN G., "A neural Network architecture intergrating multiple representations of visual information".*

HEBB D.D., The organization of behavior, New York : wiley ed, 1949.

HERZ A. ; SULZER B. ; KUHN R., V. Hemner, "Hebbian learning : a canonical way of representing static and dynamic objects in an associative neural network". *

HINTON G.E. ; SEJNOWSKI J.T., "Optimal perceptual inference" in Proceeding or the IEEE, Washington DC : IEEE Computer Society Press, 1983, pp. 448-453.

HINTON G.E. Implementing semantic networks in parallel hardware, Hillsdale : erlbam in HINTON/ANDERSON eds, 1981.

HOFSTADTER D. "Cognition, subcognition : sortir du rêve de boole", le débat, n°47, Nov-dec 1987 pp. 26-44.

HOPFIELD J.J. ; TANK D.W., "Neural" computation of decisions in optimization problems". Biol. cyber n°52, 1985, pp. 141-152.

HOPFIELD J.J., "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities", Proc. Nath. Acad. Science., USA, vol 79, April 1982, pp. 2554-2558.

HOUK JC. ; KEIFER J., "Micro electrode stadies using the isolated turtle Brainstem - cerbellum". *

HUDAK M.J. "Application of a spatio temporal recognition network to phonetic discrimination". *

JOSIN G. ; CHARNEY D. ; WHITE D., "A neural representation of an unknown inverse kinematic transformation". *

KATZ B., "A connectionist model of chronic pain". *

KAUFFMAN S., "Behavior of randomly constructed genetic nets" in Towards a theoretical biology, washington : Edingburgh university Press, vol 3, 1970 pp. 13-37.

KIENKER P.K. ; SEJNOWSKI T.J. ; HINTON G.E., SCHUMACHER E, "Separating figure from ground with a parallel network", Perception, vol 15 1986, pp. 197-216.

KIRKPATRICK S. ; GELLATT D., VECCHI M.P., "Optimization by simulated annealing" in Science, n°220, 1983, pp. 671-680.

KOHRING G., "Dynamics of learning in symmetric and asymmetric neural networks".*

KRAUTH ; MEZARD M., NADAL P.P., "Relevant Paremeters for the dynamics of neural networks". *

KRISTAN W.B., Information processing in the Nervous system, N.Y. : Pinsker eds, 1980.

KROGH A. ; HERTZ J., "Hierarchical associative networks". *

- MACKIE S., "Implementations of neural network models in silicon", Neural computer, Eckmiller/Malsburg eds springer, 1987.
- MALLOT H.A. ; SCHULZE E. ; STORJOHANN K., "Neural network strategies for robot navigation". *
- Mc CULLOCH W.S. ; PITTS W.H., "A logical calculus of ideas immanent in nervous activity", Bulletin of mathematical biophysics, n°5, 1943, pp. 115-133.
- MEIDAN M. ; AMIT D.J. ; GUTFREUND H., SOMPOLINSKY H., "Electronic analog neural network with noise and time delays". *
- MICHEL C., "Réseaux de processeurs", Cahier STS, ed CNRS, n°9-10, 1986, pp. 25-54.
- MILGRAM M., "Barycentric entropy of Markov systems", Cyber. and syst., n°12, 1981, pp. 141-178.
- MILGRAM M. ; ATLAN H., "Probabilistic automata as a model for epigenesis of cellular networks", S. Theor. Biol., n°103, 1983, pp.523-547
- MINSKY M. ; PAPERT S., Perceptrons : an introduction to computational geometry, Cambridge MA : MIT Press, 1969. réédité 1988.
- MINSKY M., Plain talk about neuro developmental epistemologic, Cambridge MA : M.I.T. Press, 1977, pp. 1083-1092.
- LALANNE P. ; CHAVE P. ; TABOURY J., "One channel optical implementation of optical inner product associative memory with opto-electronic feedback". *
- LAMETTRIE, L'homme machine, Paris : éd Denoël/Gauthier, 1981.
- LEBRETON G. ; JOHANNET A. ; PERSONNAZL ; DREYFUS G., "Design of an experimental opto-electronic neural network simulation". *
- LELU A., ROSENBLATT P., "A neural network model for information retrieval". *
- LEVY J. ; STENNIGN K., "A.P.D.P. simulation of recall processes in human memory".*
- LIPPMANN R.P., "An introduction to computing with neural nets" I.E.E.E., A.S.S.P. magazine, n°4, 1987.
- MINSKY M., "K-lines : a theory of memory", Cognitive Science, n°4, 1980, pp. 117-133.
- NEUMANN J.V., Theory of self reproducing automata, Illinois : Aw Burks ed, university Illinois press, 1966.
- NEUMANN J.V., The computer and the brain, London : Yale University press, 1958.
- NOEST A., "Continuous and Discrete - state phasor neural networks". *
- OPPER M. ; DIEDERICH S. ; ANLAUF J.K., "Statistical mechanics of learning algorithms for neural networks". *

- PERETTO P., "Mécanique statistique et réseaux de neurones formels", Cahier STS, ed CNRS, n°9 - 10, 1986, PP. 97-106.
- PERSONNAZ L. ; DREYFUS G., "Les réseaux de neurones, situation et perspectives", colloque GRETSI, Paris, 1989.
- PHILLIPS W.A., "Human cognition and neural computation". *
- POLLACK J.B. ; LWALTZ D., "Massively Parallel parsing : a strongly interactive model of natural language interpretation", Cognitive science, n°9, 1985, pp. 51-74.
- POPPEL G. ; KREY U. ; "Learning of structural patterns and the generation of context in spin-glass models". *
- RENAL S. ; ROHWER R., "Training recurrent networks". *
- REILLY R., "Building a connectionist model of reading". *
- ROBINSON A.J. et FULLSIDE F., Neural information processing systems, USA : Anderson DZ ed, American institute of physics, 1987.
- ROSENBLATT F. Principles of perceptions spartan, Washington DL, 1962.
- RUMELHART D. ; Mc CLELLAND J.L., Parallel distributed processing, M.I.T. Press, 2 vol, 1986. Traduction remaniée du premier chap, La revue débat, éd Gallimard, n°47, 1987, pp. 45-64.
- SANSONNET J.P., "L'architecture des ordinateurs", La recherche, n°204, vol 19, 1988, pp. 1300-1330.
- SCHRETER Z. ; PFEITER R., "Short-term memory/Long-term memory interactions in connectionist simulations of psychological experiments on list learning". *
- SEELLEN V. ; MALLOT H., "Parallelism in neural Nets-structure and implications". *
- SEJNOWSKI T.J., "Open questions about computation in cerebral cortex", Parallel Distributed Processing, Cambridge MA : M.I.T. Press, Mc Clelland - Rumelnart eds, 1986, pp. 372-389.
- SEJNOWSKI T.J. ; KOCH C. ; CHURCHLAND P.S., "Computational neuro-science", Science, vol 241, 1988, pp. 1299-1306.
- SHAPIRO J.L., "A solvable model in hard learning". *
- SHEPHERD G.M., "Microcircuits in the nervous system" Sci. Am, n°238, 1978, pp. 92-103.
- SMITH L.S., "Formalizing neural networks". *
- SOLLA S., "Learning and generalization in lagered neural networks : the contiguity problem". *
- STEIN D., "Les verres de spin", Pour la science, n°143, sept 1989, pp. 30-37.
- TCHUENTE M., Contribution à l'étude des méthodes de calcul pour des systèmes de type coopératif, Grenoble : thèse d'état, 1982.

TESAURO G., "Learning of human expert preferences by comparison training in "Neural" Networks". *

THOULESS P. ; ANDERSON P. ; PALMER G., "Solution of solvable model of a spin glass", Phil. Mag, n° 35, 1977, pp. 593-607.

ULLMAN S., "Relaxation and constrained optimization by local processes", Computer graphics and image processing, n°10, 1979, pp. 115-125.

ULLMAN S., "Sisual routines", Cognition, n°18, 1984, pp. 97-159.

VARELA F.J., "Autonomie et connaissance", Paris : ed. seuil, 1989.

WANG S. ; YE h. ; ROBERT F., "A PCMN neural network for word recognition". *

WEISBUCH G., "Systèmes désordonnés et comportement générique", Cahier STS, ed CNRS, n°9-10, 1986, pp. 81-89.

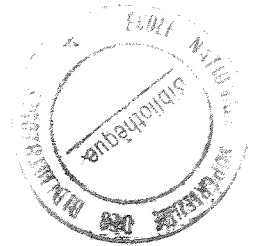
WEISBUCH G., "Des réseaux électriques à la physique du solide", cahier STS, ed CNRS, n°9-10, 1986, pp. 107-114.

* Neural Networks from models to applications, Paris : Personnaz L., Dreyfus G. eds, I.D.S.E.T. 1989.

(Recueil de 87 articles).

S ources schèmes :

- Couverture : Jean MARTIN-BONTOUX, gravure - illustration pour "Ubu-Roi" d'Alfred Jarry.
- BLANCHE R., Introduction à la logique contemporaine pp. 87, 114.
- SABAH G., l'intelligence artificielle et le langage, tome 1, pp. 170, 176, 177, 180, 186, 187, 204 ; tome 2 pp. 199.
- THAYSE et Co Auteurs, Approche logique de l'Intelligence Artificielle pp. 2, 132, 143, 147, 219.
- HAACK S., Philosophy of logic, pp. 40, 53.
- Hopfield JJ., "Neural computation of decisions in optimization problems", pp. 148
- Hopfield JJ., "Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities" pp. 2555.
- Cahier STS, Jeux de réseaux, pp. 14, 20, 23, 47, 73, 74, 75, 76, 77, 79.
- Le débat n° 47 p 166.
- BARBE, cinemas et d'autres choses, Paris : éd. Jailu BD 1987 pp. 57.
- FRANQUIN, Idées Noires, Paris : éd. Fluide Glacial, 1985 p. 16.
- La Recherche en Neurobiologie, Paris : éd. Seuil 1988 pp. 299.
- SEJNOWSKI T.J., "Computational neuro-science" p. 1305.
- Personnaz, "les réseaux de neurones, situation et perspectives" colloque GRETSI 1989.
- Personnaz, "La recherche" vol 19, pp. 1366.
- KIENKE, "separating figure from ground with a parallel network" pp. 199, 200, 206.
- FELMAN . BALLARD, "Connectionist models and their properties", pp. 208.
- CORNUEJOLS A., "Connexionnisme et représentation de Haut niveau" LYON I pp. XIII-2.



BIBLIOTHEQUE DE L'ENSISB



802379D