

## EDITORIAL

## Comique et fractures

E. Bianco

N'y a-t-il pas vraiment de quoi se tordre de rire? Regardez. Un terroriste patenté décide de faire sa prière à Allah en plein prétoire et un Président attend sagement. Essayez de faire ça, vous un jour qu'on vous aura traîné devant la Justice ! Va-t-on persévérer dans la condamnation de Nakkache ? Ah! les coffres-forts de l'Iran semblent soudain laver plus blanc que ceux de Suisse. Ce n'est pas Luchaire qui nous dira le contraire.

Désormais si vous rencontrez Monsieur Nucci n'hésitez pas à lui serrer la main vous ne vous salirez pas.

L'abominable libéralisme nous avait laissé en cadeau l'heure à la fois nazie et biennuellement variable du Grand Berlin du grand Reich Allemand, et les expulsions administratives. Le socialisme est en train de nous rééditer le coup du fichier national des citoyens avec annotations.

De la même manière, il a été pieusement conservé par tous les Démocrates, le Napoléonien recensement, largement amélioré pour connaître un peu votre niveau de vie, allez savoir pourquoi ... Vous allez pouvoir désormais déclarer en bons citoyens que vous êtes, vos tendances juives, communistes, arabes, anarchistes pédérastiques et autres. Et la Gendarmerie Nationale veillera soigneusement sur le tout en attendant qu'un Le Pen à petite moustache et mèche sur son front national devienne enfin, un jour, Président.

N'est-il pas drôle ce premier ministre, dont on aurait tort de ne pas se souvenir qu'il appartint jadis à ce PSU, alors aile gauche du socialisme. Que fait un grand commis de l'état quand il a fait la preuve la plus éclatante, la plus convaincante de son incapacité totale, qu'il a atteint et largement dépassé son niveau d'incompétence, je vous le donne en mille. Non je ne vous donne rien vous le savez aussi bien que moi: il tonne contre les automobilistes, ces chauffards, ces ivrognes, qui n'attachent même pas leur ceinture mettant ainsi en péril les investissements de nos plus beaux fleurons: les puissantes companies d'assurances.

Je m'en voudrais beaucoup de pratiquer l'humour marteau-pilon, mais il est des juxtapositions à mourir de rire, cette défense acharnée au mépris de la loi des intérêts privés, l'obligation de ceinture n'est pas légale même si elle peut être parfois utile, et notez le passage en souplesse, douceur et profondeur sur les ressources électorales des partis. Glissons comme une muscade d'illusionniste.

Et l'autre mauvais clown, n'est-il pas sinistrement amusant, plus militariste que Messmer soi-même. Enseignant raté peut-être, mais quel comique troupié.

Lorsqu'on fait fondre un métal, ce sont toujours les scories qui remontent à la surface. Nos sociétés modernes sont de même nature, les forces qui amènent les individus au pouvoir drainent les pires éléments, ceux qui sont capables de tout accepter pourvu qu'ils puissent plastronner, ils méprisent en définitive d'autant plus ceux qui les élèvent au pouvoir, qu'eux-mêmes ont dû franchir les fourches caudines les plus basses.

Gilet rayé et habit-à-queue.

De quelles vertus doit-on être doté pour accepter la sélection qui va mener au bout de quel chemin tortueux à jouer les porte-parole des véritables puissances.

Et que nous reste-t-il de dignité, à nous autres les pauvres de nous, pour être encore et toujours à même d'accepter n'importe quelle sélection, le principe même de la sélection. Sélection qui ne peut l'être que sur un principe de bêtise, le meilleur est celui qui récite bien son catéchisme, l'originalité n'est supportable qu'à partir du moment où elle est parfaitement académique.

Les mieux intentionnés tentent l'impossible dans la conciliation des petits intérêts avec les gros intérêts. En général rares ont été de telles expériences et elles n'ont guère duré. Allende n'est plus là pour me contredire.

L'intéressé comprend très vite où se trouve son véritable intérêt personnel. Peu en sont sortis bien propres... au sens bien sur de la morale qu'ils prônent eux-mêmes.

Chacun d'entre nous est d'ailleurs parfaitement capable d'exercer une tyrannie à l'endroit où il nous est possible de disposer d'un pouvoir si infime soit-il. Et peut-être est-ce là une des raisons de la stabilité du système.

D'autres situations sont également d'un parfait comique, à l'heure de Tchernobyl, le contribuable moyen s'est soudain senti environné de silence. Les uns, tenants du système rouge ne pouvaient décemment reconnaître la déficience de la science prolétarienne, quant aux anti, qui auraient dû précisément hurler pour souligner une fois de plus les lacunes du système totalitaire, ils n'ont pu qu'insister sur le côté bénin de l'explosion qui n'était surtout pas un cataclysme et même peut-être un bienfait écologique. Three Miles Island et surrégénérateur obligent.

Depuis, notre ministère de l'écologie a réussi à imposer qu'on mette quelques plantes vertes dans toutes nos centrales atomiques.

L'imagination est au pouvoir, une imagination de comptable, bien entendu. Tous nos problèmes sont résolus à coup de chiffres. La sécurité sociale a besoin de 16 milliards, qu'à cela ne tienne on augmente le budget de l'armée, mais on déplaçonne les cotisations. Le Libéralisme rend payant le courrier social ? se trouve-t-il un socialiste socialisant pour abolir cette mesure ? Depuis longtemps le fonds de solidarité, alimenté par la vignette automobile a été

**LABORATOIRE D'INFORMATIQUE THEORIQUE  
& APPLICATIONS DE MARSEILLE**

**L.I.T.A.M.**

**Faculté des sciences Economiques**

**UNIVERSITE d'AIX-MARSEILLE II**

**ISSN 0291 - 5413**

<b>INFORMATIQUE FONDAMENTALE &amp; APPLICATIONS</b>
<b>Comité de rédaction</b>
<b>E. Bianco R. Cusin P. Isoardi J.P. Lehmann R. Stutzmann</b>
<b>Dépositaire B.U. Sc. Eco. Aix-Mars. II</b>

**SOMMAIRE**

- P1 ... EDITORIAL:**  
**Comique et fractures.**
- P5 ... Machines du modèle:**  
 $\alpha \rightarrow \beta$ ,  $x$  à décalage maximum.
- P21 ... Intelligence artificielle:**  
de la résolution des problèmes,  
à l'ingénierie de la connaissance.
- P51 ... DOZZAUEDIBISAR.**

**Décembre 1989**

**Adresse postale : FACULTÉ DES SCIENCES ECONOMIQUES  
LITAM  
14 rue Puuls de CHADANNES 13001 MARSEILLE  
91 90 13 20 P 420 et 421**



rejeté au compte général de la fabrication et de la vente d'armes, affaires obligent.

Téléthon et petit ballon détecteur d'éthylisme sont les deux mamelles d'une bonne santé publique.

Pour couronner le tout, trois petits voiles islamiques manquèrent de peu de flanquer tout le système par terre. Il est vrai que pendant qu'on parlait de ça Calvet étranglait la grève de chez Peugeot. Et que pendant ce temps-là notre grand sachem de l'éducation nationale nous concoctait une réforme dont même les éléments les plus réactionnaires de la nation n'oseraient pas rêver.

Quand tous ces turlupins auront bien achevé de dévaloriser la classe politique le champ sera libre pour tous les Le Pen et tous les technocrates à base d'informatique.

Dans ce contexte de m'as-tu-vu, il est impossible que ceux qui essaient d'avoir une position quelque peu équilibrée puissent être jamais écoutés encore moins entendus alors tant pis pour les pôvres de nous et que le meilleur gagne.



**MACHINE DU MODELE  $\alpha \rightarrow \beta, x$   
À DECALAGE MAXIMUM**

**(SUITE)**

Omar Kettani

C. R. Subject Classification Informatics D31

**Résumé.**

Dans le cas où la tête de lecture d'une machine du genre des machines de Turing, est capable de chevaucher deux cases à la fois, on est amenés à faire évoluer la proportion de chevauchement des cases. En passant à la limite du possible la tête va lire le maximum du contenu d'une case et le minimum de l'autre. Ce minimum ne peut jamais aller au delà de deux valeurs différentes. D'où l'utilisation du binaire privilégiée pour représenter les contenus de cases. Le minimum commun se limite alors à un seul bit binaire. Cet article montre comment ceci suffit pour faire voyager toute l'information voulue lors des déplacements de la tête de lecture.

**MACHINE DU MODELE  $\alpha \rightarrow \beta, x$   
A DECALAGE MAXIMUM**

(suite)

**2.4 UN EXEMPLE**

Un exemple illustrant cette méthode: Soit M la machine à demi-décalage ayant pour alphabet  $A = \{\Delta\} \cup \{A, B, C\}$  et la configuration suivante à un instant t:

..... $\Delta$  A B A B C A  $\Delta$ .....

Si on suppose que la règle applicable à cet instant soit

A B  $\rightarrow$  C A, d

donc la configuration à l' instant t+1, sera la suivante :

..... $\Delta$  A B C A C A  $\Delta$ .....

On fera le codage binaire suivant pour les éléments de l'alphabet  
 $\Delta=00$ , A=01, B=10 et C=11

Pour les  $e_i$ , on fait le code binaire suivant:

$e=00000$ ,  $e_0=00001$ ,  $e_1=00010$ ,  $e_2=00011$ ,  $e_3=00100$ ,  $e_4=00101$ ,  $e_5=00111$ ,  $e_6=01000$ ,  $e_7=01001$ ,  
 $e_8=01010$

$E_1=01011$ ,  $E_2=01100$ ,  $E_3=01101$ ,  $E_4=01110$ ,  $E_5=01111$ ,  $E_6=10000$ ,  $E_7=10001$ ,  $E_8=10010$

Pour la machine à décalage maximum, qu'on notera  $M'$ , sa configuration correspondante à l' instant t de M sera la suivante à l' instant t':

...00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 10 1 00 00001 01 1 00 00001 10 1 00 00000 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00...

(Les espaces entre les différents bits de cette configuration n'ont aucune fonction syntaxique. Ils servent uniquement au lecteur pour lui permettre de distinguer les codes des symboles de l'alphabet de la machine initiale M, des codes des séquences 0 c  $e_i$  ou 1 c  $e_j$ )

L' emprise du bloc de traitement de M' portera sur 21 bits et les mouvements de celui-ci seront donc dans ce cas particulier  $d=+20$  bits vers la droite ou  $g=-20$  bits vers la gauche.

La configuration de M' à l' instant  $t'+1$ , sera la suivante :

---

...00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 10 1 00 00010 11 1 00 00010 01 1 00 00000 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00...

---

après l'application de la règle  $r_1$ :

1 00 00001 01 1 00 00001 10 1  $\rightarrow$  1 00 00010 11 1 00 00010 01 1, d.

La configuration de M' à l' instant  $t'+2$ , sera la suivante :

---

...00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 10 1 00 00010 11 1 00 00010 01 1 00 00011 11 1 00 00011 01

---

1 00 00000 00 1 00 00000 00 1 00 00000 00 .....

---

après l'application de la règle  $r_2$ :

1 00 00010 11 1 00 00010 01 1  $\rightarrow$  1 00 00011 11 1 00 00011 01 1, d.

On note que dans ce cas particulier, la réitération de la règle  $r_2$  n'a pas lieu parce que la configuration est "limitée" à un symbole à droite

La configuration de M' à l' instant  $t'+3$ , sera la suivante

---

...00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 10 1 00 00010 11 1 00 00010 01 1 00 00011 11 1 00 00011 01 1

---

00 00100 00 1 00 00100 00 1 00 00000 00

---

après l'application de la règle  $r_3$ :

1 00 00000 00 1 00 00000 00 1  $\rightarrow$  1 00 00100 00 1 00 00100 00 1, g.

La configuration de M' à l' instant  $t'+4$ , sera la suivante :

---

...00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 10 1 00 00010 11 1 00 00010 01 1 00 00101 11 1 00 00101 1 0

---

---

```
1 00 00100 00 1 00 00100 00 1 00 00000 00
```

---

après l'application de la règle  $r_4$ :

1 00 00011 11 1 00 00011 01 1 → 1 00 00101 11 1 00 00101 1 01, d.

La configuration de  $M'$  à l'instant  $t'+5$ , sera la suivante :

---

```
..00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 10 1 00 00010 11 1 00 00010 01 1 00 00101 11 1 00 00101 1 0 1
```

---



---

```
00 00100 10 1 01 00100 00 1 00 00000 00
```

---

après l'application de la règle  $r_5$ :

1 00 00100 00 1 00 00100 00 1 → 1 00 00100 10 1 01 00100 00 1, g.

La configuration de  $M'$  à l'instant  $t'+6$ , sera la suivante :

---

```
00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 10 1 00 00010 11 1 00 00010 01 1 01 00101 11 1 00 00101 1 0
```

---



---

```
0 00 00100 10 1 01 00100 00 1 00 00000 00
```

---

après l'application de la règle  $r_{5,1}$ :

1 00 00101 11 1 00 00101 1 01 → 1 01 00101 11 1 00 00101 1 00, d.

La configuration de  $M'$  à l'instant  $t'+6$ , sera la suivante :

---

```
00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 10 1 01 00010 11 1 00 00010 01 1 01 00101 11 1 00 00101 1 01
```

---



---

```
00 00100 01 1 11 00100 00 1 00 00000 00
```

---

après l'application de la règle  $r_{6,2}$ :

0 00 00100 10 1 01 00100 00 1 → 1 00 00100 01 1 11 00100 00 1, g.

La configuration de  $M'$  à l'instant  $t'+7$ , sera la suivante :

---

...00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 10 1 00 00010 11 1 00 00010 01

---

1 11 00101 11 1 00 00101 1 0 0 00 00100 01 1 11 00100 00 1 00 00000 00...

---

après l'application de la règle r<sub>7</sub>:

1 01 00101 11 1 00 00101 1 01 → 1 11 00101 11 1 00 00101 1 00, d.

La configuration de M' à l' instant t'+8, sera la suivante :

---

...00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 101 00 00010 11 1 00 00010 01

---

1 11 00101 11 1 00 00101 1 0 0 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00...

---

après l'application de la règle r<sub>8</sub>:

0 00 00100 01 1 11 00100 00 1 → 0 00 00000 01 1 00 00000 00 1, g.

La configuration de M' à l' instant t'+9, sera la suivante :

---

...00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 10 1 00 00010 11 1 00 00010 01 1

---

00 00100 00 1 00 00100 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00..

---

après l'application de la règle r<sub>9</sub>:

1 11 00101 11 1 00 00101 10 0 → 1 00 00100 00 1 00 00100 11 1, g.

La configuration de M' à l' instant t'+10, sera la suivante :

---

...00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 101 00 00110 11 1 01 00110 1 0

---

1 00 00100 00 1 00 00100 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00...

---

après l'application de la règle  $r_{10}$ :

$1\ 00\ 00010\ 11\ 1\ 00\ 00010\ 01\ 1 \rightarrow 1\ 00\ 00110\ 11\ 1\ 01\ 00110\ 1\ 01, d.$

La configuration de  $M'$  à l'instant  $t'+11$ , sera la suivante :

...00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 10 1 00 00110 11 1 01 00110 1 01

00 00100 10 1 01 00100 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00...

après l'application de la règle  $r_5$ :

$1\ 00\ 00100\ 00\ 1\ 00\ 00100\ 11\ 1 \rightarrow 1\ 00\ 00100\ 10\ 1\ 01\ 00100\ 11\ 1, g.$

La configuration de  $M'$  à l'instant  $t'+12$ , sera la suivante :

...00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 10 1 00 00110 11 1 11 00110 1 0

0 00 00100 10 1 01 00100 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00...

après l'application de la règle  $r'_{5,1}$ :

$1\ 00\ 00110\ 11\ 1\ 01\ 00110\ 1\ 01 \rightarrow 1\ 00\ 00110\ 11\ 1\ 11\ 00110\ 1\ 00, d.$

La configuration de  $M'$  à l'instant  $t'+13$ , sera la suivante :

...00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 10 1 00 00110 11 1 11 00110 1 01

00 00100 01 1 11 00100 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00...

après l'application de la règle  $r'_{5,1}$ :

$1\ 00\ 00110\ 11\ 1\ 01\ 00110\ 1\ 01 \rightarrow 1\ 00\ 00100\ 01\ 1\ 11\ 00100\ 11\ 1, g.$

La configuration de  $M'$  à l'instant  $t'+14$ , sera la suivante :

...00 0 00 00000 01 0 0 00 0000 10 1 00 00110 11 1 11 00110 1 0

1 00 00100 11 1 11 00100 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00...

après l'application de la règle r<sub>7</sub>:

1 00 00110 11 1 11 00110 1 01 → 1 00 00110 11 1 11 00110 1 01, d .

La configuration de M' à l' instant t'+15, sera la suivante :

...00 0 00 00000 01 0 0 00 00000 01 1 00 00110 11 1 11 00110 1 01

00 00001 01 1 00 00001 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00...

après l'application de la règle r<sub>8</sub>:

1 00 00110 11 1 11 00110 1 01 → 1 00 00001 01 1 00 00001 11 1, g .

La configuration de M' à l' instant t'+16, sera la suivante :

...00 0 00 00000 01 0 00 00000 00 1 00 00111 00 0 00 00111 11 0

00 00001 01 1 00 00001 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00.....

après l'application de la règle r<sub>9</sub>:

1 00 00110 11 1 11 00110 1 01 → 1 00 00111 00 0 00 00111 11 0, g .

La configuration de M' à l' instant t'+17, sera la suivante :

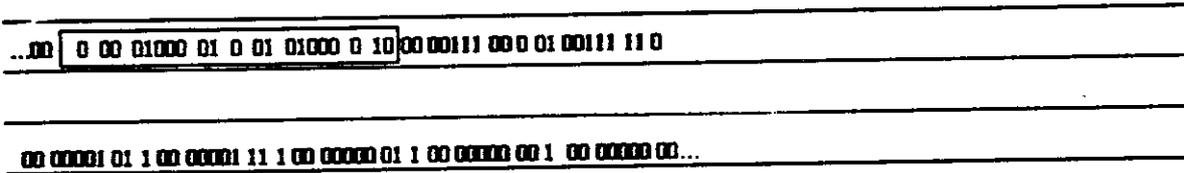
...00 0 00 01000 01 0 01 01000 0 1 0 00 00111 00 0 00 00111 11 0

00 00001 01 1 00 00001 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00...

après l'application de la règle  $r^4$ :

0 00 00000 01 0 00 00000 10 1 → 0 00 01000 01 0 01 01000 1 10, d.

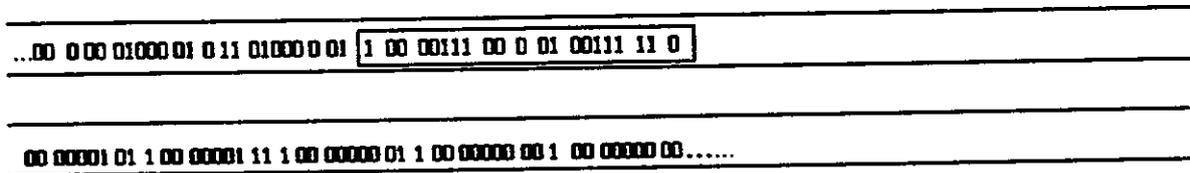
La configuration de  $M'$  à l'instant  $t+18$ , sera la suivante :



après l'application de la règle  $r^5$ :

0 00 00111 00 0 00 00111 11 0 → 0 00 00111 00 0 01 00111 11 0, g.

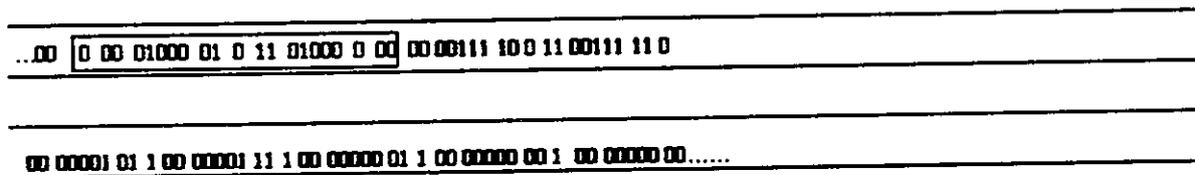
La configuration de  $M'$  à l'instant  $t+19$ , sera la suivante :



après l'application de la règle  $r^5_2$ :

0 00 01000 01 0 01 01000 1 10 → 0 00 01000 01 0 11 01000 1 01, g.

La configuration de  $M'$  à l'instant  $t+20$ , sera la suivante :



après l'application de la règle  $r^6_2$ :

1 00 00111 00 0 01 00111 11 0 → 0 00 00111 10 0 11 00111 11 0, g.

La configuration de  $M'$  à l'instant  $t+21$ , sera la suivante :



---

00 00001 01 1 00 00001 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00...

---

après l'application de la règle  $r^7$ :

0 00 01000 01 0 11 01000 00 0 → 0 00 01000 01 0 11 01000 00 0, d.

La configuration de  $M'$  à l'instant  $t'+22$ , sera la suivante :

---

..00 0 00 01000 01 0 11 01000 0 01 00 01001 10 0 00 01001 11 0

---



---

00 00001 01 1 00 00001 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00...

---

après l'application de la règle  $r^8$ :

0 00 00111 10 0 11 00111 11 0 → 1 00 01001 10 0 00 01001 11 0, g.

La configuration de  $M'$  à l'instant  $t'+23$ , sera la suivante :

---

..00 00 00000 00 0 00 00000 00 1 00 00111 00 0 00 00111 01 0

---



---

00 01001 10 0 00 01001 11 0 00 00001 01 1 00 00001 11 100 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00...

---

après l'application de la règle  $r^{10}$ :

0 00 01000 01 0 11 01000 0 01 → 1 00 00111 00 0 00 00111 01 0, g.

après décalage, la configuration de  $M'$  à l'instant  $t'+29$ , sera la suivante :

---

..00 00 00000 00 0 00 00000 00 0 1 00 00111 00 0 00 00111 01 0

---



---

00 01001 10 0 00 01001 11 0 00 00001 01 1 00 00001 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00...

---

après l'application de la règle  $r_{11}$ :

0 00 00000 00 0 11 00000 00 0 → 0 00 00000 00 0 00 00000 00 0, d.

La configuration de  $M'$  à l'instant  $t'+30$ , sera la suivante :

..00 00 0000 00 0 00 0000 00 0 1 00 00111 00 0 00 00111 01 0

00 01001 10 0 00 01001 11 0 00 00001 01 1 00 00001 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00...

après l'application de la règle  $r_{11}$ :

0 00 00000 00 0 11 00000 00 0  $\rightarrow$  0 00 00000 00 0 00 00000 00 0, d .

La configuration de  $M'$  à l' instant  $t'+30$ , sera la suivante :

..00 00 00000 00 0 00 00000 00 0 0 00 00000 00 0 00 00000 01

0 00 01001 10 0 00 01001 11 0 00 00001 01 1 00 00001 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00...

après l'application de la règle  $r_{12}$ :

1 00 00111 00 0 00 00111 01 0  $\rightarrow$  0 00 00000 00 0 00 00000 01 0, d .

La configuration de  $M'$  à l' instant  $t'+31$ , sera la suivante :

..00 00 00000 00 0 00 00000 00 0 0 00 00000 00 0 00 00000 01

0 00 00000 10 0 00 00000 11 0 0 00 00001 01 1 00 00001 11 1 00 00000 01 1 00 00000 00 1 00 00000 00

après l'application de la règle  $r_{14}$ :

0 00 01001 10 0 00 01001 11 0  $\rightarrow$  0 00 00000 10 0 00 00000 11 0 , d .

qui correspond à la configuration à l' instant  $t$  de  $M$ :

.....A A B C A C A  $\Delta$ .....

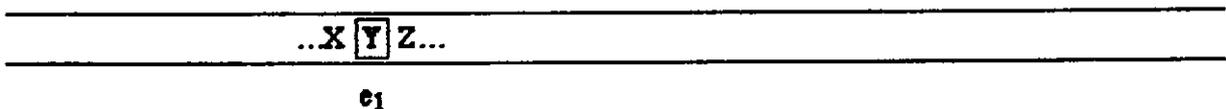
On entre alors dans une nouvelle phase de calcul.

On va maintenant présenter la démonstration montrant l'équivalence entre les machines de Turing et le modèle  $\alpha \rightarrow \beta, x$  à décalage maximum.

### 3 DEMONSTRATION D'EQUIVALENC E ENTRE LES MACHINES DE TURING ET LE MODELE $\alpha \rightarrow \beta, x$ A DECALAGE MAXIMUM.

Elle consiste à simuler dans le modèle  $\alpha \rightarrow \beta, x$  à décalage maximum, une machine de Turing à 2 états et donc une machine de Turing quelconque d'après un résultat de Shannon [3]. D'autre part, il a déjà été établi dans [2] que toute machine du modèle  $\alpha \rightarrow \beta, x$  pouvait être compilée par une machine de Turing.

Soit une machine de Turing à 2 états,  $e_0$  et  $e_1$ , utilisant un alphabet  $A$  à  $k$  symboles, et dont la configuration courante à un instant donné est la suivante:



D'abord on effectue un codage binaire de l'alphabet  $A$ , ce qui détermine la valeur  $n = \inf\{2^i \geq k\}$ .

On représente alors  $X$  par la suite à  $n$  bits  $x_1, \dots, x_n$ , de même  $Y$  par  $y_1, \dots, y_n$  et  $Z$  par  $z_1, \dots, z_n$ .

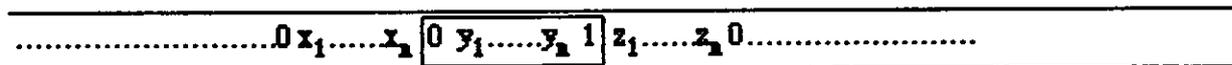
Dans la machine du modèle  $\alpha \rightarrow \beta, x$  à décalage maximum qui reçoit le code, on dépose successivement les suites de bits  $x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_n, z_1, \dots, z_n$ , celles-ci étant intercalées d'un bit mis à zéro partout sauf en ce qui concerne le code du symbole observé; pour celui-ci on va procéder ainsi:

A sa gauche et à sa droite les bits extrêmes  $b_1$  et  $b_2$  seront mis à zéro si l'état est  $e_0$ .

A sa gauche et à sa droite les bits extrêmes  $b_1$  et  $b_2$  seront mis à zéro et à un respectivement si l'état est  $e_1$ .

L'emprise du bloc de traitement de la machine du modèle  $\alpha \rightarrow \beta, x$  à décalage maximum sera de  $n+2$  bits, à savoir  $n$  bits du code du symbole et les deux bits  $b_1$  et  $b_2$  situés à son extrémité. Le mouvement du bloc de traitement de la machine à décalage maximum sera donc  $d=n+1$  bits à droite ou  $g=-(n+1)$  bits à gauche.

On obtient ainsi un état initial de la configuration:



Supposons alors que la règle de la machine de Turing à appliquer soit

$$Ye_1 \rightarrow Y'e_1 D$$

On définit alors pour le modèle la règle suivante:

$$b_1 y_1 \dots y_n b_2 \rightarrow 0 y'_1 \dots y'_n 1, d \quad \text{si } b_1 \text{ ou } b_2 = 1.$$

De même on définit pour:

$$Ye_1 \rightarrow Y'e_1 D$$

La règle:

$$b_1 y_1 \dots y_n b_2 \rightarrow 1 y'_1 \dots y'_n 0, g \quad \text{si } b_1 \text{ ou } b_2 = 1.$$

De même on définit pour:

$$Ye_1 \rightarrow Y'e_0 D$$

La règle

$$b_1 y_1 \dots y_n b_2 \rightarrow 0 y'_1 \dots y'_n 0, d \quad \text{si } b_1 \text{ ou } b_2 = 1.$$

De même on définit pour:

$$Ye_1 \rightarrow Y'e_0 G$$

La règle

$$b_1 y_1 \dots y_n b_2 \rightarrow 0 y'_1 \dots y'_n 0, g \quad \text{si } b_1 \text{ ou } b_2 = 1.$$

De manière analogue, on associe des règles similaires pour les situations correspondant à  $Ye_0$ , c'est à dire telles que ( $b_1$  et  $b_2=0$ ):

Supposons alors que la règle de la machine de Turing à appliquer soit:

$$Ye_0 \rightarrow Y'e_1 D$$

On lui associe alors, pour le modèle, la règle suivante:

$$0 y_1 \dots y_n 0 \rightarrow 0 y'_1 \dots y'_n 1, d \quad (b_1 \text{ et } b_2 = 0).$$

De même si la règle applicable était :

$$Ye_0 \rightarrow Y'e_1 G$$

On lui associe alors pour le modèle la règle suivante:

$$0 y_1 \dots y_n 0 \rightarrow 1 y'_1 \dots y'_n 0, g \quad (b_1 \text{ et } b_2 = 0).$$

De même si la règle applicable était :

$$Ye_0 \rightarrow Y'e_0 G$$

On lui associe alors pour le modèle la règle suivante:

$$0 y_1 \dots y_n 0 \rightarrow 0 y'_1 \dots y'_n 0, g \quad (b_1 \text{ et } b_2=0).$$

Enfin si la règle applicable était :

$$Ye_0 \rightarrow Y'e_0 D$$

On lui associe alors pour le modèle la règle suivante:

$$0 y_1 \dots y_n 0 \rightarrow 0 y'_1 \dots y'_n 0, d \quad (b_1 \text{ et } b_2=0).$$

Ce qui achève la démonstration.

#### 4 DEMONSTRATION D'EQUIVALENCE ENTRE LE MODELE $\alpha \rightarrow \beta, X$ À DECALAGE MINIMUM ET LE MODELE $\alpha \rightarrow \beta, X$ À DECALAGE MAXIMUM.

Une autre voie qu'on peut suggérer pour établir la calculabilité du modèle  $\alpha \rightarrow \beta, X$  à décalage maximum est la suivante: on montre l'équivalence de ce modèle avec le modèle  $\alpha \rightarrow \beta, X$  à décalage minimum, dont on sait déjà [1] qu'il possède la puissance du calculable, en passant par l'intermédiaire du modèle  $\alpha \rightarrow \beta$  parallèle.

Plus précisément, on montre que toute machine du modèle  $\alpha \rightarrow \beta, X$  à décalage minimum peut être compilée par une machine du modèle  $\alpha \rightarrow \beta$  parallèle, équivalente (d'après la proposition suivante) à une autre machine du modèle  $\alpha \rightarrow \beta$  parallèle qui elle même peut être représentée par une machine du modèle  $\alpha \rightarrow \beta, X$  à décalage maximum.

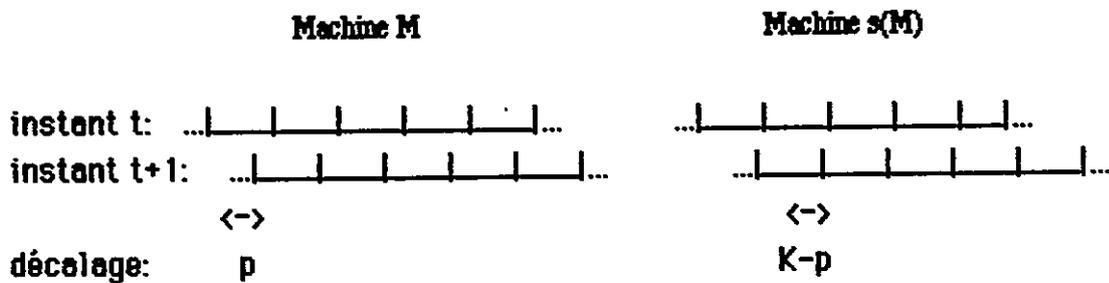
##### 4.1 PROPOSITION

Toute machine  $M$  du modèle  $\alpha \rightarrow \beta$  parallèle définie par deux grilles de calcul décalées de  $p$  bits l'une par rapport à l'autre ( $1 \leq p < K$  où  $K$  est l'emprise de chaque organe de calcul) est équivalente à une machine  $s(M)$  du modèle  $\alpha \rightarrow \beta$  parallèle définie par deux grilles de calcul décalées de  $K-p$  bits l'une par rapport à l'autre.

En effet: soit  $s$  la bijection qui, à toute suite de bits  $b = b_1 b_2 \dots b_{m-1} b_m$  associe son "symétrique" définie par  $s(b) = b_m b_{m-1} \dots b_2 b_1$ .  
Alors si  $C(M, t)$  est la configuration à l'instant  $t$  de  $M$ , on pose:  $s(C(M, t)) = C(s(M), t)$  la configuration à l'instant  $t$  de  $s(M)$  et pour toute règle  $\alpha \rightarrow \beta$  de  $M$ , on construit la règle  $s(\alpha) \rightarrow s(\beta)$  pour  $s(M)$ .

Alors, il est immédiat que tout calcul effectué par  $M$  est équivalent à celui effectué par  $M'$ , par l'intermédiaire de la bijection  $s$ , puisqu'à chaque instant ultérieur  $t'$  on a :  $s(C(M,t')) = C(s(M),t')$ . Ceci étant valable dans le cas particulier où  $p$  (le décalage des deux grilles de calcul de  $M$ ) vaut 1.

Le schéma ci-dessous sert à montrer le décalage des deux grilles de calcul de  $M$  et  $M'$  à deux instants consécutifs représentées par  $\dots| \quad | \quad | \quad | \quad | \quad \dots$ , où chaque intervalle désigne l'emprise des organes de calcul qui vaut  $K$  bits:



Les calculs effectués par  $M$  sont exactement "symétriques" de ceux effectués par  $M'$ . Ceci permet d'établir la proposition.

## 4.2 CONCLUSION

Il reste à démontrer d'une part, que toute machine du modèle  $\alpha \rightarrow \beta, X$  à décalage minimum peut être compilée par une machine du modèle  $\alpha \rightarrow \beta$  parallèle, définie par deux grilles de calcul décalées de  $K-1$  bits l'une par rapport à l'autre (où  $K$  est l'emprise de chaque organe de calcul), d'autre part que toute machine du modèle  $\alpha \rightarrow \beta$  parallèle définie par deux grilles de calcul décalées de  $x$  bits l'une par rapport à l'autre ( $1 \leq x \leq K-1$  où  $K$  est l'emprise de chaque organe de calcul) peut elle-même être compilée par une machine  $M'$  du modèle  $\alpha \rightarrow \beta, X$ . En particulier, on aura alors prouvé que la machine  $s(M)$  définie en 2) où  $x$  vaut  $K-1$ , peut être représentée par une machine  $M'$  du modèle  $\alpha \rightarrow \beta, X$  à décalage maximum. Ce travail est à l'étude.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Lehmann J.Ph., *Machines et calculabilité*, Thèse de 3ème cycle, Université Aix-Marseille II Luminy (1984).

[2] Lehmann J.Ph. , *Machines sans changement d'état*, Thèse de doctorat d'état, Université Aix-MarseilleII Luminy (1987).

[3] Shannon C.E. , *A universal Turing Machine with two internal states*, Annals of mathematic studies, 34, Princeton University Press, (1956)

## **Intelligence artificielle : de la résolution de problèmes à l'ingénierie de la connaissance**

par Roland GUEYE

**Résumé** : Cet article rend compte, à travers un cheminement historique, des différentes conceptions de l'intelligence artificielle ainsi que des divers objectifs de cette discipline. La première partie est plus particulièrement consacrée aux liens unissant l'intelligence artificielle à la résolution de problèmes, la seconde fait le point sur les recherches, plus récentes, menées sur la représentation des connaissances.

**NB** : La première partie de cet article constitue le 'fil d'ariane' d'un travail consacré à l'évolution du couple intelligence artificielle - résolution de problèmes ("intelligence artificielle et résolution de problèmes", rapport de D.E.A., département de philosophie, Université d'Aix-Marseille I, 1989).

## **Intelligence artificielle : de la résolution de problèmes à l'ingénierie de la connaissance**

### **Introduction**

La date de naissance de l'intelligence artificielle<sup>1</sup> est fixée en août 1956. C'est lors d'un séminaire d'été, tenu à Dartmouth college, et réunissant à peine une dizaine de chercheurs, que ce terme proposé par J.Mc Carthy est adopté. La discipline naissante se donne alors pour objectif, **la compréhension et la simulation de l'intelligence humaine à travers l'ordinateur.**

Pourquoi associer l'ordinateur : cet ensemble de circuits électriques, à un projet de compréhension et de simulation de l'intelligence ? L'ordinateur est né pour digérer de longues séries d'instructions et les exécuter passivement. L'ordinateur est par définition froid, sans vie, sans intelligence ! Alors, pour quelles raisons l'ordinateur peut-il mieux nous faire comprendre l'intelligence humaine que ne le font les travaux des psychologues ?

Mais s'agit-il uniquement de comprendre l'intelligence humaine ? La réalisation d'un homme artificiel n'est-elle pas la seconde ambition de cette discipline, et les chercheurs de nouveaux Vaucanson, qui attribuent à l'ordinateur les vertus des rouages mécaniques d'hier ? Dans cette perspective, qu'elle est la place réelle des informaticiens dans les travaux d'IA ?

Qu'il s'agisse d'expliquer l'intelligence humaine ou de concevoir un homme artificiel, il convient aussi de se demander ce que recouvre réellement pour les chercheurs la notion même d'intelligence ? Au-delà de toutes définitions, l'intelligence apparaît aussi indéfinissable que l'homme lui-même. Quelle activité l'intelligence artificielle veut-elle comprendre et simuler, et quels outils conceptuels va-t-elle utiliser ?

---

<sup>1</sup> Dans la suite de l'article, intelligence artificielle = IA

Cet article se propose à travers un cheminement historique d'apporter certains éléments de réponses aux questions précédentes. Il nous permettra, entre autre, de constater la radicale évolution des conceptions et objectifs de cette discipline.

## *Première partie*

### **Deux conceptions au service d'une même ambition**

#### **1) L'IA : une science cognitive**

Le désir de comprendre le fonctionnement de l'intelligence humaine est l'une des principales raisons qui a motivé les travaux d'IA. D'autres sciences ont bien-sûr les mêmes ambitions : neurosciences, psychologie, philosophie... Toutefois, l'IA va se distinguer de ces disciplines, par la place centrale accordée à l'ordinateur dans les recherches. En effet, les chercheurs ne vont pas se contenter d'échafauder des théories, ils vont aussi se préoccuper de les expérimenter, et c'est l'ordinateur qui va fournir sous certaines hypothèses, matière à une telle expérimentation.

Charniak définit l'IA de la manière suivante :

*"L'IA est l'étude des facultés mentales à travers l'utilisation de modèles calculatoires(...)",*

et repose sur le fait que

*"(...) ce que fait le cerveau peut être considéré à un certain niveau comme une activité calculatoire" [FARRENY et GHALLAB 87]*

Cette définition permet de concevoir l'IA sur deux niveaux différents :

- d'une part, elle va se comprendre comme une tentative d'explication du fonctionnement de notre esprit, et donc s'affirmer en tant que doctrine épistémologique;<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Le terme épistémologie est employé ici dans son sens anglo-saxon, c'est-à-dire comme théorie de la connaissance.

- d'autre part, elle entend mener à bien à travers l'ordinateur l'expérimentation de ses théories, et de ce fait, s'impose en tant que science expérimentale à part entière.

Ces deux niveaux sont bien entendu complémentaires, et de cette complémentarité doit venir le succès de l'entreprise.

### **1.1) L'hypothèse computo-symbolique de l'esprit**

Sur son versant épistémologique, l'IA s'enracine dans un courant de pensées plus large, que l'on définit souvent, par l'appellation de thèse cognitiviste, ou de cognitivisme. Ce terme sert à désigner l'orientation qui a motivé, depuis quelques années, les principales recherches dans des domaines tels que l'aide à la décision, la linguistique, et bien-sûr l'IA. En fait, bien que ce terme soit postérieur à celui d'IA, il faut voir dans les concepts véhiculés par celle-ci, une filiation directe avec les idées cognitivistes.

La profession de foi du cognitivisme est la suivante :

Pour rendre compte de l'activité intelligente, nous devons postuler que la cognition consiste à agir, sur la base de représentations symboliques, dans un cerveau ou dans une machine.

Pour les cognitivistes :

- un système intelligent contient des représentations sous forme de symboles ;
- les symboles sont des objets matériels, porteurs d'informations sur le monde;
- et penser, consiste à manipuler ces symboles à l'aide de règles internes de fonctionnement, sensibles uniquement à la forme des symboles.

En d'autres termes, penser revient à faire de la computation symbolique, et de ce fait, peut être assimilé au fonctionnement d'un ordinateur. C'est cette conception du fonctionnement de l'esprit qui va s'imposer dans les années 50,

---

sous l'impulsion de gens comme Herbert Simon, Noam Chomsky, ou Marvin Minsky.

L'hypothèse d'une représentation interne symbolique n'est pas vraiment une nouveauté en phénoménologie de l'esprit. Descartes avait déjà envisagé une telle explication, pour rendre compte de nos idées. La nouveauté du discours cognitiviste réside essentiellement dans l'affirmation du caractère irréductible de ce niveau symbolique. Pour les cognitivistes, le niveau pertinent d'explication pour rendre compte de notre activité mentale se situe, non pas au niveau atomique de la physique ou neuronal de la neurobiologie, mais à un niveau bien supérieur : celui des symboles.

Les cognitivistes ne prétendent pas, bien-entendu, découvrir dans notre cerveau, des symboles en cours de manipulation. Un symbole porteur d'information sur le monde, c'est-à-dire ayant une réalité physique, pourrait très bien correspondre à un schéma global d'activité cérébrale. En fait, les symboles se conçoivent plus comme la dernière couche d'une architecture (logicielle) stratifiée. Chaque couche intermédiaire n'aurait pas une interprétation directe avec la réalité, mais serait néanmoins indispensable pour interpréter les couches supérieures. Les divers niveaux (matériels et logiciels) sur lesquels s'appuie une application informatique pourraient nous donner un exemple très précis d'une telle architecture.

Les chercheurs vont admettre d'autant plus facilement l'existence d'un niveau symbolique, qu'il leur permet d'évacuer la physique et la biologie de toute explication du comportement intelligent. Ils peuvent donc affirmer leur discipline, en tant que nouvelle science totalement indépendante. Si la physique et la biologie rendent compte de l'aspect physique, électro-chimique, ou physiologique dans l'exercice de nos facultés mentales, c'est l'IA qui va découvrir et modéliser les mécanismes abstraits, mis en jeu dans ces facultés

D'autre part, comme nous le verrons plus loin, la communauté informatique va prendre une importance croissante dans la recherche en IA, et certains concepts informatiques vont s'appliquer presque naturellement, à une explication computo-symbolique de l'esprit.

En effet :

- il est naturel pour un informaticien d'interpréter le déroulement d'un programme, non pas comme les différents changements d'états dans la mémoire de l'ordinateur, mais comme le déroulement d'un algorithme décrit dans un langage symbolique ;

- c'est aussi sur l'aspect multi-niveau de l'architecture des ordinateurs qu'est basé tout le développement de l'industrie du logiciel.

La prédominance des informaticiens en IA a, sans aucun doute, fortement influencé une explication de l'esprit, à la fois symbolique et multi-niveau.

Si l'hypothèse de la représentation interne est couramment admise par notre tradition scientifique et philosophique, elle soulève néanmoins une question importante : comment les symboles, dont notre esprit est supposé habité, sont-ils pertinents par rapport aux diverses situations de la vie courante ? C'est-à-dire, comment peuvent-ils être porteur d'un sens ?

C'est la notion de système formel qui permet aux cognitivistes de répondre à cette question. Un système formel a la particularité de fonctionner sur deux niveaux différents, un niveau sémantique, par l'intermédiaire d'un isomorphisme avec tout ou partie de la réalité, et un niveau purement syntaxique où ne s'opère que des manipulations sur la forme des symboles. L'intérêt des cognitivistes pour les systèmes formels réside dans le parallélisme qui s'opère entre les deux niveaux. En effet, le niveau syntaxique reflète fidèlement le niveau sémantique.

Penser revient alors à manipuler les règles d'un tel système formel. Tout comme un ordinateur, l'être humain ne manipule que la forme des symboles, mais de part le parallélisme entre le niveau syntaxique et le niveau sémantique, de cette manipulation émerge alors un sens.

Si cette interprétation de la pensée paraît acceptable, elle pose aussi le problème de l'adéquation avec la réalité. Comment rendre compte de l'isomorphisme qui s'opère entre les différents aspects du monde et le système formel ? En un mot, comment un système intelligent lorsqu'il manipule un système formel se rapporte-t-il à différents aspects du monde ?

Pour les cognitivistes c'est la notion d'information au sens défini par C. Shannon qui doit rendre compte de cet isomorphisme. Pourtant, n'existe-t-il pas une différence fondamentale entre le message "Mr X vient de se marier", suivant que Mr X m'est inconnu (nous parlerons ici, seulement d'acquisition d'information), ou que Mr X fait partie de ma famille ?

Dans le second cas, il est évident que le message acquiert un sens qui n'existe pas dans le premier. Peut-on résolument assimiler les deux notions ?

En fait, si dans le cas de l'utilisation de l'ordinateur, c'est bien le programmeur qui est chargé d'établir ce lien entre la réalité et le système informatique qu'il construit, rien n'explique, dans le cas d'un système intelligent d'où provient cet isomorphisme !

## **1.2) Une science avant tout expérimentale**

Comme nous l'avons précisé, l'IA va aussi se préoccuper de vérifier expérimentalement sa théorie du fonctionnement de l'esprit. Toutefois, elle ne tentera pas, comme la psychologie, l'expérimentation sur des sujets humains. L'outil d'investigation fondamental de l'IA est l'ordinateur, car celui-ci partage avec l'homme une faculté essentielle, celle de pouvoir traiter de l'information sur la base d'une computation de représentations symboliques.

L'ordinateur se présente donc aux yeux des chercheurs, comme le parfait outil d'investigation du fonctionnement cognitif humain. En effet, les psychologues n'ont jamais accès à l'intérieur de leur machine. Ils ne peuvent donc déduire leurs théories qu'à partir de seuls comportements observés. Au contraire, en partageant avec les humains, la faculté de manipuler des symboles, l'ordinateur semble permettre pour la première fois, d'accéder au coeur de la machine humaine ! Il suffira de sélectionner des tâches réputées intelligentes, et de réaliser des programmes se comportant d'une manière analogue à l'humain, pour qu'ils constituent l'explication de son fonctionnement.

---

L'ordinateur nous permet enfin, de nous percevoir autrement, que comme des phénomènes<sup>3</sup>.

La démarche suivie ne semble se démarquer en rien de celle des sciences physiques, des sciences humaines, ou des sciences naturelles. Elaboration d'une théorie, puis expérimentation de celle-ci à travers l'ordinateur. En effet, l'ordinateur est bien souvent devenu le point de passage obligé de toute explication. Les économistes conçoivent des théories et les vérifient à travers des modèles simulés par ordinateur. De même, faute de ne pouvoir accéder aux phénomènes réels, un astrophysicien expérimente ses théories sur l'évolution de l'Univers, à travers des programmes de simulation informatique. Si la plupart des sciences utilisent le versant computationnel de l'ordinateur, l'IA utilisera plutôt ses capacités de manipulation symbolique.

L'expérimentation consistera :

- à modéliser certaines activités, décrites comme mettant en oeuvre des mécanismes intelligents, à partir de l'observation de sujets humains ;
- à simuler cette activité à l'aide de l'ordinateur ;
- et à vérifier que le modèle et le sujet humain, aux prises avec un problème donné, se comportent d'une manière analogue.

En fait, espérer expliquer, à travers l'ordinateur, le fonctionnement cognitif humain, nous semble relever de la simple illusion. Et tel qu'il a été utilisé, en particulier à travers les travaux de Simon et Newell, l'ordinateur ne constitue en rien, un plus par rapport à la démarche classique de la psychologie expérimentale<sup>4</sup>

---

*3 "L'esprit se perçoit intuitivement, non comme il se représenterait lui-même immédiatement et en vertu de sa spontanéité, mais suivant la manière dont il est intuitivement affecté, et par conséquent tel qu'il s'apparaît à lui-même, non tel qu'il est." E. KANT, Critique de la raison pure, p.87,*

4 Cf. paragraphe 1.4

Mais à côté d'un quelconque pouvoir explicatif, l'utilisation de l'ordinateur semble se justifier pour d'autres raisons moins explicites. S'il permet, au travers de l'hypothèse computo-symbolique d'entrevoir la vérification de la théorie cognitive, c'est aussi son utilisation qui permettra aux chercheurs d'affirmer l'IA en tant que science expérimentale à part entière.

N'oublions pas que la cybernétique, première source d'inspiration pour les cognitivistes, avait pour but d'élaborer une science de l'esprit, apportant ainsi toute la lumière du discours scientifique, dans un domaine jugé trop longtemps réservé à la philosophie et à la psychologie. Bien entendu, il faut voir dans cette conception de la phénoménologie de l'esprit, le prolongement d'un mouvement amorcé un siècle auparavant par G.Boole<sup>5</sup>.

Mais on peut aussi se demander, si cette volonté de "scientiser" à tout prix la phénoménologie de l'esprit, n'a pas joué un rôle important dans la formation du couple IA-ordinateur ? Les chercheurs voyant dans ce dernier, plus qu'un simple outil expérimental, la garantie de la valeur scientifique d'un certain discours !

### **1.3) L'intelligence comme résolution générale de problèmes**

Les psychologues ont décrit la résolution de problèmes, comme l'activité intelligente par excellence, nécessitant la mise en oeuvre de toutes nos facultés intellectuelles (raisonnement, induction, mémorisation,...). De ce fait, il n'est pas étonnant de voir l'IA se consacrer presque entièrement à l'étude de notre activité de résolution générale de problèmes, et à sa modélisation sur ordinateur.

Il faut toutefois insister sur le terme d'"activité". Le centre de la recherche est bien notre capacité générale de résolution de problèmes, et non les problèmes eux-mêmes. Cette distinction est importante, dans la mesure où dans une seconde période l'IA verra sa préoccupation majeure se déplacer de

---

<sup>5</sup> En publiant en 1847 "*Les lois de la pensée*", Boole fut le premier à déclarer qu'il fallait rattacher l'étude de l'esprit non pas à la philosophie, mais à la logique.

l'activité générale de résolution, vers les problèmes que nous résolvons. En fait nous passerons d'une conception de la résolution générale de problèmes, comme champ principal de la recherche, à la résolution générale de problèmes, comme domaine particulier.

C'est bien cette vision de l'intelligence qui sera privilégiée par Newell et Simon.

En effet, les deux auteurs postuleront :

- que l'essentiel de notre activité cognitive consiste à résoudre des problèmes ;
- et qu'il existe chez l'homme, des mécanismes généraux de résolution de problèmes.

Leur travail consistera, à partir de l'observation de sujets humains dans des situations de résolution de problèmes, à construire des programmes informatiques se comportant d'une manière similaire. Newell et Simon vont principalement étudier la résolution de problèmes crypto-analytiques, et le comportement de nombreux joueurs d'échecs dans diverses situations de jeux. Ces travaux dans le domaine échiquéen, vont privilégier deux axes de recherche :

- l'analyse de la perception de l'échiquier par des joueurs de différents niveaux, en particulier à l'aide d'une caméra suivant le déplacement des yeux ;
- l'analyse du raisonnement du joueur lors de l'étude d'une position, en demandant au joueur de raisonner à voix haute.

Ces différents travaux conduiront les deux auteurs, à élaborer à partir de 1959, un système général de résolution de problèmes, le GPS (General Problem Solver). Ce programme est le premier capable de résoudre une vaste catégorie de problèmes en employant toujours une démarche identique : l'analyse "moyens-fins". Celle-ci consiste à décomposer le problème initial en sous-problèmes plus simples et à réduire les différences observées entre l'objet courant et l'objet à atteindre. GPS ne connaît a priori rien du problème à

résoudre, et le programmeur doit lui fournir : la nature de l'objet initial ; les opérateurs permettant de réduire les différences ; la nature du but à atteindre.

Bien que l'ambition du GPS ait été à l'origine, la simulation d'activités de résolution de problèmes dans des domaines différents, le programme se limitera à quelques domaines bien délimités : la résolution d'énigmes ; l'intégration symbolique; la résolution de théorèmes logiques.

En fait cette réduction des objectifs du GPS ne fait que traduire les difficultés rencontrées par les chercheurs. La simulation d'activités intelligentes générales s'est très vite révélée trop complexe pour être abordée avec un si petit nombre de concepts théoriques (heuristique et recherche). Plus les travaux ont progressé, plus il a semblé indispensable d'introduire de nouveaux concepts jusque-là ignorés de la discipline : nécessité d'introduire plus de connaissances dans les programmes ; notion de contexte dans les situations... Ces nouveaux concepts vont rapidement conduire les chercheurs à renoncer à la simulation de processus généraux, pour s'attacher à définir des programmes limités à un domaine bien précis.

#### **1.4) Une démarche discutable**

Mais au-delà du simple constat d'un manque évident d'outils théoriques, pour appréhender la résolution générale de problèmes, il convient de s'interroger sur le bien-fondé de toute la démarche expérimentale pratiquée.

Nous avons dit que l'utilisation de l'ordinateur se justifiait, essentiellement par son pouvoir explicatif. L'ordinateur partage avec l'homme le fait d'être un système de traitement de l'information, et comme lui agit sur la base de manipulation symbolique. Il semble nous permettre d'accéder au cœur même du fonctionnement de notre esprit, c'est-à-dire, de n'être plus limité à induire des théories à partir de seules observations de comportements.

En fait, il va s'avérer toujours nécessaire d'étudier le comportement humain. En effet, l'ordinateur a son propre mode de fonctionnement. Il peut donc très bien résoudre un problème en utilisant des méthodes tout à fait différentes de celles employées par l'être humain. Ainsi, les premiers travaux vont-ils largement exploiter la puissance de calcul des ordinateurs, devant des

situations où l'homme agit bien différemment. Simuler l'être humain implique de contraindre l'ordinateur à agir de la même manière que lui, et donc d'étudier de nouveau celui-ci. Il sera encore nécessaire de s'orienter vers des activités où interviennent beaucoup de comportements intermédiaires, entre le début et la fin de la démarche. En effet, comment étudier une intuition ou un éclair de génie ? Mais ce parti-pris va orienter les travaux vers l'étude de processus généralement communicables et donc conscients. De même, il faudra se limiter à l'étude de situations claires, bien circonscrites dans l'espace et le temps, et qui se prêtent également à une possible formalisation. Le choix des situations étudiées par Newell et Simon n'est par conséquent pas neutre.

L'attention portée à l'introspection du sujet et à la réflexion parlée va aussi revêtir une place centrale, d'où une nouvelle prédilection des travaux pour les processus conscients et communicable ?

Quelle valeur explicative devons nous réellement accorder aux programmes induits de ces observations ?

Favoriser les processus conscients laisse totalement de côté le travail inconscient. A partir de là, devons nous réellement croire un expert des échecs lorsqu'il nous dit choisir une situation heuristiquement ? Après tout, rien ne prouve qu'il agisse inconsciemment de manière tout à fait différente. L'heuristique pourrait très bien être la manifestation consciente d'un processus de recherche exhaustif ! Le fort parallélisme de notre cerveau pourrait peut-être supporter une telle recherche ! Même si cette explication est hautement improbable, une démarche réellement scientifique ne peut l'ignorer !

De même, faire parler le sujet ne permet d'atteindre qu'une partie de la pensée consciente, la pensée verbale, c'est-à-dire la pensée communicable. L'existence d'une pensée non verbale, de loin la plus riche, est pourtant indiscutable. Nous résolvons souvent des problèmes à travers des images, des jeux de langage qui nous sont véritablement personnels. Il est ainsi admis qu'un mathématicien conduit ses recherches à travers un formalisme qui lui est propre. Ce n'est que lorsque son travail doit prendre une forme publiable, qu'il le transcrit dans le formalisme conventionnel !

Penser à voix haute peut également dans certains cas perturber le sujet. En effet, parler c'est mettre sans cesse ses idées sous une forme communicable, ce qui est une surcharge de travail pour celui qui résoud un difficile problème. Cela peut, dans certains cas, avoir de profondes influences sur la manière de le résoudre.

En fait, dans la plupart des cas, si le bon déroulement d'un programme informatique révèle bien qu'une activité humaine peut être automatisée, cela ne nous donne en rien l'explication de son fonctionnement. Nous continuons, à travers la métaphore de l'ordinateur, à ne nous percevoir que comme des phénomènes !

## **II) L'IA : une branche de l'informatique**

Le désir de comprendre le fonctionnement de l'intelligence humaine n'est pas la seule motivation des chercheurs en IA. Concevoir une intelligence proprement artificielle est la seconde ambition de cette discipline.

L'ordinateur comme l'homme, agit sur la base d'une computation de symboles. Et de par cette faculté commune, il devient l'objet technique qui permet de réaliser ce projet.

L'IA peut donc aussi se comprendre comme une branche de l'informatique, la branche certes la plus avancée, (il ne s'agit ni plus ni moins que de rendre l'ordinateur intelligent !), mais aussi comme la partie d'une discipline où les chercheurs sont plus intéressés par des résultats rapides et tangibles que par des spéculations sur la nature de l'intelligence.

Dans ce contexte, plusieurs définitions de l'IA ont été proposé.

Nous retiendrons celle de Feigenbaum qui définit l'IA comme,

*" la partie de l'informatique dont le but est d'élaborer des systèmes intelligents, c'est à dire des systèmes qui possèdent les caractéristiques que nous associons avec l'intelligence dans le comportement humain." [ FEIGENBAUM 84]*

## II.1) Une technique moderne au service d'un vieux rêve

Il faut convenir que le projet n'est pas vraiment nouveau. La tentative de construction d'une intelligence proprement artificielle n'est que la version moderne d'un vieux rêve, celui de construire l'homme artificiel. Comme le souligne J. Pitrat, ce projet prend place à côté d'autres phantasmes, comme voler, ou acquérir l'immortalité, et chaque époque a tenté de le réaliser à travers les objets techniques qui lui étaient contemporains [PITRAT 87].

L'emploi du terme artificiel suppose avant tout une explication mécaniste des différentes fonctions corporelles. Il faudra donc attendre le XVII<sup>ème</sup> siècle, et la fin des vieilles idées scolastiques au profit d'un rationalisme éclairé, et plus tard d'un empirisme pragmatique, pour que la médecine commence à découvrir cet aspect mécanique du fonctionnement des organes.

Le coeur est ainsi assimilé à une pompe<sup>6</sup>, les poumons à une forge. Le cerveau, siège de nos pensées ne peut-il pas lui aussi être l'objet d'une métaphore ? Descartes franchit partiellement le pas, car s'il admet que certaines activités de l'homme peuvent être simulées, il n'envisage pas de doter son animal-machine de la parole, et lui refuse ainsi une intelligence complète. Mais avec les succès croissants de l'explication mécaniste, le rêve va peu à peu se préciser. En 1738 De La Mettrie publie "l'homme-machine". Pascal simule les principales opérations arithmétiques sur sa Pascaline et Vaucanson construit des automates qui étonnent par leur précision. Mais il faudra attendre le XX<sup>ème</sup> siècle, et l'apparition des premiers ordinateurs pour que le rêve se transforme véritablement en projet scientifique. En effet, en acceptant l'hypothèse computo-symbolique de la pensée, les chercheurs imposent par-là même l'ordinateur comme métaphore contemporaine. Si l'homme et l'ordinateur sont bien tout deux, des systèmes de traitement de l'information agissant sur la base de computations symboliques, ce qui vaut pour l'homme vaut également pour la machine. A travers l'ordinateur nous pourrions bien effectivement réaliser l'homme artificiel !

---

6 Analogie du médecin anglais William Harvey (1578-1657).

Pour tenter de résoudre les problèmes qu'ils se posent, les chercheurs s'intéressent toujours à l'homme, mais cette fois-ci en tant que modèle. Car si les programmes réalisés peuvent sans doute constituer une aide précieuse pour les sciences cognitives qui se demandent comment l'homme procède face au même problème, en aucun cas cette question ne saurait être la préoccupation principale des concepteurs du programme. L'intérêt essentiel réside dans la question : "*Comment rendre l'ordinateur plus intelligent ?*".

En mettant toutes leurs espérances dans l'ordinateur, les chercheurs se lient définitivement à l'informatique, et l'IA perd du même coup son statut de nouvelle discipline scientifique. Elle se définissait dans le chapitre précédent comme une science expérimentale, elle n'est plus ici qu'une technique, une branche avancée de l'informatique. L'ordinateur, en devenant l'objet même de la recherche, impose du même coup l'informaticien comme l'archétype du chercheur en IA, c'est-à-dire, avant tout un ingénieur, un technicien, un chercheur intéressé par des résultats rapides et tangibles. Le maître mot n'est plus "explication", mais "opérationnel".

Mais créer des langages plus adaptés aux besoins de la nouvelle discipline ; définir de nouvelles architectures machines ; rendre l'ordinateur plus convivial..., deviennent autant de recherches qui vont aussi contribuer à voir dans l'IA une simple branche de l'informatique.

Par exemple, si les chercheurs s'intéressent bien aux différentes manières de résoudre un problème, ils doivent aussi tenir compte des limitations de leurs machines. Il ne suffit plus comme en mathématique d'exhiber une formule ou un algorithme, il faut aussi pouvoir effectivement l'utiliser ! L'étude de la complexité algorithmique revêt d'un seul coup une place non négligeable dans la recherche en IA.

De même, la résolution de problèmes non-algorithmiques demande des outils logiciels différents de ceux employés par l'informatique classique. L'IA privilégie l'introduction de règles de savoir-faire dans les programmes, règles que les langages classiques ont du mal à piéger dans leurs instructions. Elle forge alors ses outils, ou du moins le croit-elle, car dans bien des cas elle ne fait que redécouvrir des formalismes existants, mais jugés inadaptés aux premiers besoins des informaticiens.

L'IA va aussi motiver de nouveaux travaux sur l'architecture des ordinateurs. Les ordinateurs classiques sont peu adaptés pour traiter de l'information symbolique. La gestion de la mémoire, aussi bien que le goulot d'étranglement Von-Neumannien<sup>7</sup> rendent les programmes d'IA peu performants.

L'informatique classique utilise essentiellement le tableau comme structure de données, et la mémoire des ordinateurs est donc organisée comme un immense ensemble de cellules contiguës, qu'il suffit de parcourir séquentiellement pour trouver la bonne information. Les programmes d'IA gèrent eux, des listes et des arbres ! C'est-à-dire, des structures de données totalement irrégulières, qui saturent rapidement les mémoires, et nécessitent l'intervention de procédures "ramasses miettes"<sup>8</sup> aux résultats parfois pires que le mal ! Il faut donc définir de nouvelles organisations pour les mémoires. De même, exécuter une instruction d'un langage évolué nécessite une longue série de traductions, et des machines-langages vont voir le jour pour tenter d'améliorer encore les performances des programmes d'IA.

On le voit, c'est bien à plus d'un titre, que l'IA peut aussi se comprendre comme une simple branche de l'informatique.

## **II.2) Définir des méthodes générales de résolution de problèmes**

Du fait même de l'objectif visé : la construction de systèmes artificiels intelligents, la résolution de problèmes va de nouveau être l'un des axes majeurs de la recherche.

Comme précédemment les chercheurs vont plus s'intéresser à la mise au point de procédures générales de résolutions qu'à la résolution des problèmes eux-mêmes.

---

<sup>7</sup> Terme exprimant le caractère séquentiel des échanges d'informations entre la mémoire centrale de l'ordinateur et le processeur chargé d'exécuter les instructions.

<sup>8</sup> Il s'agit de procédures de réorganisation de la mémoire, évitant sa saturation par de trop nombreuses allocations dynamiques.

Toutefois les chercheurs ne vont plus se contenter d'étudier l'homme, ils vont aussi exploiter les spécificités propres de l'ordinateur. Dans un premier temps, le traitement symbolique étant peu connu, les travaux vont s'orienter vers tout les problèmes où l'ordinateur manipule des symboles plutôt que des nombres. Mais l'intérêt des chercheurs va rapidement se porter sur une seule catégorie de problèmes, ceux par essence non-algorithmiques. Si cette classe de problèmes est de loin la plus vaste, l'IA va limiter ses travaux à des domaines relativement bien structurés et facilement modélisables. Jouer aux échecs, démontrer un théorème, ou résoudre une énigme vont devenir autant de problèmes à faire résoudre par l'ordinateur.

Si les travaux ont toujours pour objectif la recherche et la mise au point de mécanismes généraux de résolution de problèmes, les chercheurs ne vont plus se limiter à la seule étude des mécanismes humains. L'ordinateur a son propre mode de fonctionnement, et peut donc résoudre des problèmes par des méthodes différentes. Bien-sûr construire des systèmes artificiels qui résolvent des problèmes nécessite toujours l'étude de l'homme. En effet, nous sommes l'un des rares systèmes solveurs de problèmes à la disposition des chercheurs, et nous aurions tort de nous priver de l'expérience humaine en la matière. Toutefois les chercheurs ne sauraient se contenter de le copier. Pour eux, aucune méthode n'est à exclure pour rendre les programmes plus performants, et leurs travaux passent aussi par l'exploitation des spécificités propres des ordinateurs.

Cette manière très pragmatique de voir les choses n'est pas sans fondement. Après tout, comme le fait remarquer J. Pitrat, dans le domaine des mathématiques, l'homme est un bien mauvais découvreur. Il suffit de voir les siècles qu'on du attendre certains résultats avant d'être découverts, accueil réservé à certaines théories, ou tout simplement d'imaginer l'expérience quotidienne d'un professeur de mathématique ! Alors pourquoi ne pas espérer concevoir des méthodes différentes de celles utilisées par l'homme ?

Toutefois l'IA n'envisage pas la résolution de tout problème. Il ne s'agit pas de faire résoudre par la machine des problèmes pour lesquels nous disposons de méthodes de calcul. Par exemple, le calcul d'une trajectoire d'un satellite, ou

celui d'une feuille d'imposition n'intéresse pas les chercheurs. L'informatique traditionnelle s'occupe de ces questions, et c'est d'ailleurs pour les résoudre que l'ordinateur a vu le jour. L'IA tente au contraire, en percevant les capacités de manipulation symbolique de l'ordinateur de s'orienter vers des tâches plus intelligentes, c'est-à-dire, impliquant plus de **raisonnement symbolique** que de calcul arithmétique.

Il est curieux de constater le glissement de notre position par rapport à ce qui doit, ou ne doit pas être considéré comme une activité intelligente. Comme le fait remarquer D. Andler, maintenant que nous sommes dépassés par la puissance de calcul de nos machines, nous ne trouvons plus aucune part d'intelligence dans cette activité, alors qu'Aristote voyait dans nos capacités arithmétiques la marque de notre rationalité [ANDLER 86]. Il semble qu'effrayés par nos propres réussites, nous cessons de considérer une activité mentale programmée comme un ingrédient essentiel de la véritable intelligence.

Mais définir l'IA comme la discipline qui s'occupe des tâches algorithmiques ne saurait encore réellement convenir. En effet, si l'IA s'intéresse bien dans un premier temps à toutes les tâches impliquant du raisonnement symbolique, comme par exemple, la dérivation d'une fonction mathématique, c'est uniquement la nouveauté d'une telle utilisation de l'ordinateur qui motive ces recherches. Rapidement, un certain nombre de tâches symboliques ne sont plus considérées comme relevant de cette discipline. En fait, une distinction doit être opérée entre la résolution algorithmique de problèmes, et celle de **nature empirique**. L'IA a rapidement abandonnée la première, pour ne plus s'occuper que des problèmes où l'on ne connaît pas de méthodes de résolution directes.

Pour J.L. Laurière,

*" Tout problème pour lequel aucune solution algorithmique n'est connue, relève à priori de l'IA " [LAURIERE 87]*

Finalement, les problèmes dont se préoccupe l'IA vont pouvoir se regrouper en deux classes distinctes :

- les problèmes qui n'ont pas de solutions algorithmiques connues, mais qui sont toutefois formalisables ;

comme par exemple traduire un texte, ou porter un diagnostic médical ;

- les problèmes dont la solution algorithmique est d'une trop grande complexité pour être envisagée ;

Le jeu d'échecs est l'un des exemples classiques de cette catégorie de problèmes. Le jeu étant défini par un ensemble fini de règles de déplacement sur un ensemble fini de cases, il semble théoriquement possible de connaître les différents états résultants d'une situation donnée. Mais avec un échiquier de 64 cases et 32 pièces en début de partie, l'évaluation d'une position par l'analyse de toutes les situations qui en découlent dépasse de loin la puissance de calcul des ordinateurs les plus puissants.

Comme le dit Rich d'une manière tout à fait expressive,

*"Le programme algorithmique ne pourrait même pas choisir le premier mouvement avant que l'adversaire ne soit mort de vieillesse !*

" [RICH 87]

Pourtant cette explosion combinatoire n'empêche pas l'homme de jouer aux échecs. Comment s'y prend-t-il ? , et comment peut-on faire jouer l'ordinateur ?

### III) La résolution heuristique de problèmes

Comme nous l'avons souligné, c'est la résolution générale de problèmes qui dans un premier temps retient toute l'attention des chercheurs. Ils tentent alors, soit de définir des programmes simulant l'activité humaine de résolution de problèmes, soit de concevoir des méthodes générales permettant de résoudre différentes catégories de problèmes. Dans les deux cas, c'est la notion de recherche heuristique qui va s'imposer comme notion dominante. Newell et Simon vont ainsi caractériser la résolution de problèmes comme une activité fondamentalement tournée vers la recherche.

*"Une deuxième loi de structure qualitative pour l'IA est que les systèmes symboliques résolvent des problèmes en générant des solutions potentielles et en les testant, c'est-à-dire par la recherche." [SIMON 72]*

La résolution de problèmes va revêtir deux formes essentielles. Il s'agira :

- soit de transformer un état initial en un état identique au but poursuivi, en appliquant une série de transformations sur les états intermédiaires ;

Cette méthode va consister à considérer la résolution du problème comme le parcours d'un graphe orienté. Chaque noeud représente alors un état du problème, c'est-à-dire une position donnée dans l'espace de la recherche. Tandis que les arcs représentent les relations entre états, ou encore la manifestation de l'application d'un opérateur de transformation d'états.

- soit de décomposer le problème initial, en un ensemble de sous-problèmes plus simples et directement solubles.

C'est-à-dire en un ensemble de sous-problèmes dont la solution est immédiate ou impossible. Le processus peut alors se voir comme le parcours d'un graphe "ET/OU".

Il n'existe pas de relation directe entre choix de l'une des deux représentations et type de problèmes. Il est en effet possible de démontrer l'équivalence formelle des deux représentations. En fait, cette question va rentrer dans le cadre d'une question plus vaste, "comment comprendre le problème ?". Question que les chercheurs se garderont bien de véritablement aborder, mais qui souligne le fossé séparant leurs programmes de véritables programmes intelligents .

### **III.1) Comment concevoir le problème ? : une question plus vaste**

Il n'y a pas de réponses simples à cette question. En fait, les premiers travaux en ont fait très peu de cas. ils vont essentiellement se focaliser sur la

recherche de processus généraux de résolutions, plutôt que sur la question de la conception du problème.

En fait, les chercheurs reconnaissent la difficulté de répondre à une telle question, et concèdent que le choix d'une représentation reste encore souvent déterminé, par des notions aussi floues, que son caractère naturel par rapport au problème à résoudre.

Toutefois, la manière de représenter un problème a une profonde influence sur sa résolution. Les psychologues ont longuement étudié cette influence chez l'être humain. Le problème des neuf points de Maier est, par exemple, une parfaite illustration des restrictions implicites imposées au problème par le sujet (cf. [OLERON 80]).

La question de la représentation d'un problème ne fait que souligner l'immense fossé séparant les programmes basés sur des processus de recherche, de la conception de programmes véritablement intelligents. Car dans tout les cas, la représentation de l'espace du problème est entièrement définie par le programmeur. La manière de concevoir le problème, (la structure d'un état ; la liste des opérateurs à appliquer ; ...), reste toujours soigneusement transmise au programme. Il faut bien constater qu'aucun des programmes réalisés à ce jour ne sait changer lui même d'espace de représentations.

Pourtant, au contraire de la machine, pour faciliter une résolution ou sortir d'un piège semble-t'il insoluble, l'humain est généralement capable de concevoir différemment le problème, c'est-à-dire de changer l'espace de représentation. Les expériences de psychologie visant à déceler le comportement de détour chez l'enfant ou l'animal, nous donne un exemple concret de la limitation de ces programmes.

Lors de ces expériences, un sujet doit contourner un obstacle pour atteindre un but (détour de locomotion). Par exemple, un chien est séparé de son os par un grillage qu'il peut contourner. Certains chiens, après avoir longuement aboyé vont tout à coup contourner le grillage. Ils viennent enfin de repenser le problème. C'est-à-dire, qu'après avoir considéré, tout détour comme un éloignement de leur objectif, ils viennent de le comprendre comme une étape décisive vers la solution. La résolution du problème dépend ici entièrement de

la manière de le considérer, et d'une certaine capacité à créer de nouvelles représentations. Les programmes actuels sont comme certains chiens, s'ils ne disposent pas de l'opérateur, "contourner le grillage", ou s'ils réduisent le problème, de telle manière qu'il leur est impossible de résoudre un sous-problème, ils ne peuvent plus rien faire. Sinon se contenter d'aboyer ! Quand on sait que le comportement de détour est considéré par les psychologues, comme révélateur d'un certain degré d'intelligence, se pose alors la question de la réelle portée des résultats obtenus par ces programmes !

Mais tenir compte de ce problème de représentation ne suffira peut être pas pour construire des systèmes réellement intelligents. En effet, ces changements de l'espace de recherche sont rarement la conséquence d'une longue chaîne de raisonnements. Ils apparaissent plus souvent comme un éclair de génie, ou une intuition spontanée, à savoir comme le résultat d'actes bien souvent non communicables. On peut se demander si l'IA qui privilégie avant-tout les processus communicables sera réellement à même d'expliquer de telles facultés ? En fait, pour répondre à ces questions, l'IA devra peut-être faire appel à des concepts radicalement différents ? Du même coup, ce sont les hypothèses fondamentales de la discipline qui pourraient bien être remises en question !

### **III.2) La recherche heuristique : un outil général**

Une manière simple de rechercher un état satisfaisant une des solutions d'un problème est de parcourir exhaustivement l'espace de recherche jusqu'à trouver l'état solution. Deux techniques de développement de la recherche sont alors envisageables :

- **une recherche en profondeur, avec possibilité de retour arrière ;**
- **une recherche en largeur .**

En fait, ces deux stratégies vont se révéler inadaptées aux problèmes d'IA. Envisager l'étude systématique de toutes les solutions potentielles va être dans pratiquement tout les cas impossible à entreprendre, et si une recherche en largeur garantit bien de trouver une solution s'il en existe une, une recherche en profondeur peut très bien conduire à parcourir des branches infinies. L'IA se

tourne alors vers des méthodes lui permettant d'élaguer ces arbres de recherche. C'est l'acceptation unanime de l'idée de l'heuristique. C'est-à-dire un moyen de guider la recherche le plus rapidement possible, voire au moindre coût, vers la solution du problème.

A l'origine, l'heuristique était une science rattachée à la logique et à la psychologie. Elle avait pour objet, l'étude des règles et des méthodes de la découverte et de l'invention. La tentative la plus connue de construction d'un système d'heuristiques est sans doute due à Descartes à travers "Le discours de la méthode" et "Les règles pour la direction de l'esprit". Nous devons aussi à certains pédagogues, notamment Polya des tentatives de formulation moderne de la notion d'heuristique.

Polya définit ainsi l'heuristique :

*" L'heuristique moderne s'efforce de comprendre la méthode qui conduit à la solution des problèmes, en particulier les opérations mentales qui s'avèrent typiquement utiles à l'application de cette méthode." [POLYA 62]*

Ce qui l'intéresse avant tout, comme tout les commentateurs qui l'ont précédés, c'est la découverte de méthodes visant à résoudre des problèmes indépendamment de la question traitée, c'est-à-dire la découverte de méthodes les plus générales possibles. Une problématique qui, nous l'avons dit, va aussi rester longtemps celle de l'IA. Toutefois la notion d'heuristique va revêtir en IA une signification plus étroite. Elle y est opposée à l'algorithme, et définie comme une méthode permettant d'améliorer un processus de recherche, en sacrifiant la prétention à être complet.

Deux types d'heuristiques sont utilisées conjointement dans la recherche :

- les heuristiques polyvalentes, elles serviront de cadre général pour conduire la recherche, et seront relativement indépendantes du problème traité ;

- les heuristiques spécialisées, elles seront le reflet d'une certaine connaissance du problème à résoudre, en fait, la seule connaissance effective du problème dont disposera le programme.

L'utilisation d'heuristiques permettra dans de nombreux cas de diminuer l'effort de recherche, mais quelquefois au détriment de l'assurance de découvrir une solution optimale. Toutefois, une solution quasi-optimale est dans la plupart des cas suffisante. Comme le souligne Simon, lorsque nous résolvons des problèmes, nous sommes plutôt des *satisfaiseurs* que des optimiseurs.

Nous avons dit dans le premier paragraphe que Simon avait défini la résolution de problèmes comme un processus de recherche, il est clair maintenant qu'il faut l'apparenter à un processus de recherche heuristique.

Les heuristiques polyvalentes correspondront à diverses stratégies d'organisation de la recherche. Elles indiqueront en particulier, de quelle manière utiliser l'information fournie par les heuristiques spécialisées. Mais elles différeront aussi en fonction de la représentation retenue, arbre ou graphe d'états ; arbre ou graphe de sous-problèmes.

La liste suivante donne quelques exemples de ces heuristiques.

- choisir l'étape suivante de la résolution parmi les seuls successeurs du noeud actuel. Cette procédure est qualifiée d'escalade. Cette méthode ne permet pas d'envisager de nouveau des noeuds délaissés auparavant ;
- maintenir la liste complète des noeuds générés, et à chaque étape choisir le prochain noeud parmi cet ensemble. Cette procédure mixe les avantages d'une recherche en profondeur et d'une recherche en largeur ;
- idem que la précédente, mais tenir compte du coût de la recherche (algorithme A\*). Cette procédure est un moyen terme entre la recherche du chemin le plus court et la recherche de celui à moindre coût ;
- au jeu d'échecs, pratiquer une recherche en profondeur limitée, en envisageant alternativement une maximisation et une minimisation de la fonction heuristique .

Quant aux heuristiques spécialisées, elles prendront le plus souvent la forme d'une fonction calculable. C'est-à-dire d'une fonction indiquant, à chaque étape de la recherche, quelle direction a le plus de chances de conduire vers la solution. Car l'intérêt des heuristiques est essentiellement probabiliste. Elles reflètent seulement la probabilité qu'une information locale aide réellement à résoudre le problème. Plus cette probabilité sera forte, moins le système effectuera de recherche, l'heuristique lui permettant alors de converger directement vers la solution. Ces heuristiques indiqueront par exemple : pour le jeu d'échecs, de jouer le coup qui permet de garder l'avantage des pièces par rapport à l'adversaire (heuristique proposée par Turing); pour le jeu de taquin, de jouer la position qui maximise le nombre de carreaux qui sont bien en place; ou encore, pour minimiser un itinéraire, de minimiser chaque étape intermédiaire (voyageur de commerce).

### III.3) Limitations de l'approche heuristique

Mais toutes ces méthodes ont bien-sûr leurs limites. N'envisager que les successeurs du noeud actuel ne permet pas d'éviter les plateaux, crêtes, ou autres maxima locaux. Pratiquer une recherche limitée en profondeur ne permet pas d'éviter un certain effet d'horizon, d'autant qu'un adversaire peut très bien sciemment ne pas envisager le meilleur coup à jouer ! De même, surestimer une heuristique spécialisée, fait aussi perdre, dans le cas d'un algorithme de type A\*, la garantie de découvrir le chemin à moindre coût. En fait aucune de ces techniques ne donne entièrement satisfaction.

Au-delà des limitations propres à chacune des méthodes, c'est le concept de recherche heuristique lui-même qui se révèle incapable de répondre à la question de la résolution générale de problèmes. En effet, nous résolvons rarement un problème en appliquant un simple processus de recherche heuristique. Seuls les casse-têtes répondent à cette définition, ils sont conçus pour ça ! Nous utilisons au contraire de nombreuses connaissances propres au domaine considéré.

En fait, si cette période de recherche enregistre quelques résultats tangibles, c'est paradoxalement la découverte de la limitation d'une telle approche qui sera le résultat le plus notable. Un processus de recherche

heuristique ne peut raisonnablement, soit expliquer l'intelligence humaine, soit produire des programmes véritablement intelligents.

Comme le souligne d'une manière tout à fait expressive M.O. Cordier :

*" En caricaturant à peine, les programmes écrits à cette époque prétendaient gagner aux échecs sans connaître beaucoup plus que les règles de ce jeu, ou traduire aussi bien les bulletins météo que les décisions de l'assemblée européenne en ignorant tout des "avis de grand frais" comme des montants compensatoires." [CORDIER 87]*

Beaucoup d'auteurs contemporains caractérisent cette période de l'IA comme une période de transition avec la recherche actuelle. Pour eux, l'IA n'est pas encore mûre. Elle forge ses outils conceptuels. Elle se place soit sur le terrain de la psychologie, où elle y est mal accueillie, soit sur le terrain de l'informatique et de la recherche opérationnelle. Dans les deux cas elle n'a pas encore atteint sa majorité !

Compte tenu des limitations de l'approche précédente, l'IA abandonne l'ambition de découvrir des mécanismes généraux de résolution de problèmes. La recherche se déplace de l'étude de l'activité de résolution de problèmes, vers la résolution des problèmes eux-mêmes. L'objectif est maintenant de trouver des méthodes spécifiques pour un domaine donné, et non plus transportables d'un domaine à l'autre.

Si pour résoudre un problème l'humain réussit mieux que la machine, c'est qu'il dispose de grandes quantités de connaissances relatives au domaine qu'il traite. L'IA va s'attacher désormais à introduire plus de connaissances dans ses programmes et à les limiter à des domaines précis. Elle tentera seulement, pour un problème donné, d'apporter les meilleures réponses dans l'état des connaissances disponibles.

Mais avec l'échec de cette première conception de l'intelligence, et les enjeux économiques soulevés par la réalisation de machines intelligentes, c'est aussi la "science cognitive" qui cède la place à une IA plus pragmatique et plus désireuse de résultats concrets que d'explication du fonctionnement cognitif !

*"(...) les techniques de l'IA actuelle ne sont pas suffisantes pour comprendre la pensée humaine et le langage. En conséquence, il y a un clivage évident entre les 'ingénieurs de la connaissance' qui appliquent les technologies les plus avancées de l'IA à des problèmes pratiques, et les 'modélisateurs de l'esprit', qui spéculent sur les structures les plus complexes de la pensée humaine. L'intérêt commercial est dans la première direction(...)" [WINOGRAD et FLORES 89]*

A suivre ...

## Bibliographie (I partie)

- ANDLER D.**, "Le cognitivisme orthodoxe en question", *Cahier du CREA*, 1986 , 9, p. 8-106.
- CORDIER M.O.**, "Les systèmes experts", *La recherche en intelligence artificielle*, 1987, Seuil, 177-209.
- DESCARTES R.**, "Règles pour la direction de l'esprit", *Oeuvres philosophiques*, t.I, F. Alquié, 1988, 69-204.
- DESCARTES R.**, "Le traité de l'homme", *Oeuvres philosophiques*, t.I, F. Alquié, 1988, 379-480.
- FARRENY H. et GHALLAB M.**, *Éléments d'intelligence artificielle*, Hermès, Paris, 1987.
- FEIGENBAUM E. et McCORDUCK P.**, *La cinquième génération, (le pari de l'intelligence artificielle à l'aube du 21<sup>e</sup> siècle)*, InterEditions, Paris, 1984.
- HOFSTADTER D.**, *Gödel Escher Bach, (Les brins d'une Guirlande Eternelle)*, InterEditions, Paris, 1985.
- LAURIERE J.L.**, *Intelligence artificielle, (résolution de problèmes par l'homme et la machine)*, Eyrolles, Paris, 1987.
- LE MOIGNE J.L.**, "Genèse de quelques nouvelles sciences, (de l'intelligence artificielle aux sciences de la cognition)", *Intelligence des mécanismes, mécanismes de l'intelligence*, Fayard, 1986, 17-54.
- NILSSON N.J.**, *Principles of Artificial Intelligence*, Berlin, Springer Verlag, 1980
- OLERON P.**, *L'intelligence*, Presses Universitaires de France, Paris, 1982.
- OLERON P.**, *L'intelligence de l'homme*, Colin, Paris, 1989.
- OLERON P.**, "Les activités intellectuelles", *Traité de psychologie expérimentale*, 1980, VII, 1-69.
- PITRAT J.**, "La naissance de l'intelligence artificielle", *La recherche en intelligence artificielle*, 1987, Seuil, 19-49.
- POLYA G.**, *Comment Poser et résoudre un Problème*, Dunod, Paris, 1962.
- RICH E.**, *Intelligence Artificielle*, Masson, Paris, 1987.
- SIMON A. and NEWELL A.**, *Human problem solving*, Prentice-hall, Englewood Cliffs, N.J., 1972.
- WINOGRAD T. et FLORES F.**, *L'intelligence artificielle en question*, Presses Universitaires de France, Paris, 1989.

## VOUZZAVÉDIBISAR

### VOYAGE

Le Grand Coordonnateur de la Galaxie se retourna encore une fois pour saluer de la main tous ses pairs avec qui il avait décidé de son voyage, et tous ceux qui vibrent de sympathie l'avaient accompagné au spacioport. Son émotion se lisait sur son visage. Il avait décidé de porter son important message de civilisation à l'autre bout de la galaxie, sur une petite planète qui avait été repérée grâce à ses ondes à basses fréquences. Le Grand Coordonnateur prit place dans l'immense fusée qui devait lui permettre de franchir les deux tiers de la galaxie, sur une trajectoire très courbe autour du noyau, et dans le sens inverse pour gagner sur le temps et réduire la dépense d'énergie. Il se concentra sur la procédure de lancement, son émotion s'estompa peu à peu.

C'était un jour de Pâques exceptionnellement beau. Ce jour-là la famille Duponc-Jalois, rassemblée disposait au milieu de la table d'un immense saladier plein à ras-bord. Car toute cette famille adorait la salade, François le père, Dany fort désirable encore dans sa quarantaine frémissante, la fille Caroline rouquine et mutine, le fils Edouard déjà sérieux et plein d'ambition. Aaa, disait traditionnellement François en se frottant les mains nous allons brouter ...

Une bonne famille française bien moyenne quoi !

Le Grand Coordonnateur de la Galaxie, installé devant ses hublots contemplait un magnifique amas globulaire de plusieurs milliers d'étoiles qui répandaient une lueur laiteuse dans l'habitacle. La fusée bientôt lancée depuis quelques centaines d'heures atteignait une vitesse qui se rapprochait peu à peu de celle de la lumière. Il fallait encore affiner les données de la trajectoire, corriger l'influence excessive de l'amas dans les abords duquel la fusée trouvait l'espace comme un bolide. Le Grand Coordonnateur rangeait ses affaires, achevait ses derniers calculs, fixait ses dernières consignes à l'ordinateur de bord, réflé-chissait à l'importance du message à transmettre: la jonction de deux civilisations. Et il se prépara à s'allonger dans son berceau cryogénique.

D'habitude la famille Duponc-Jalois commençait le repas, non par un bénédicité, la tradition s'en était perdue, mais simplement par la salade. Ce jour-là Dany avait fait une magnifique omelette pascale. Outre une plastique fort agréable pour l'œil connaisseur, cette fille avait de nets dons de cordon bleu, un véritable rêve. Toutes les narines alléchées se tendaient vers l'omelette qui se serait trouvée au beau milieu de la table si celui-ci n'était pas déjà occupé par la salade.

Le Grand Coordonnateur sortit de sa léthargie, mille ans venaient de s'écouler, et le grand réveil venait de sonner pour lui la reprise de ses activités. L'immense fusée contenait un gymnase qui lui permit d'effacer rapidement les traces de son long sommeil. J'oserais dire qu'il était frais comme un gardon si je pouvais être sûr qu'un tel animal existât sur Gurkh sa planète natale. Il se mit à la procédure d'approche. L'ordinateur avait nettement ralenti la fusée qui pénétrait alors dans le système Solaire puisque tel était le nom du but de ce voyage.

Bien qu'il fut étonné de sa coloration bleutée, le Grand Coordonnateur eut vite fait de reconnaître la Terre, et il se mit à ses instruments. Pénétration dans l'atmosphère, la fusée se mit bientôt à flotter dans un gaz très dense, de plus en plus dense, au fur et à mesure que la surface s'approchait. Etrange surface en vérité. Puis l'engin se mit à tanguer comme remué par d'énormes et puissantes vagues. De fantastiques constructions blanchâtres et molles lumineuses par dessus et gris sombre par dessous parsemaient cette atmosphère. Le Grand Coordonnateur, à peine remis de son réveil était surpris, voire inquiet. Toutefois imperturbable, il déroulait le programme longuement préparé à l'avance; Absorbé, c'est à peine si quelques pensées filtraient pour les siens abandonnés loin dans les siècles, loin dans le ciel. Il lui fallut choisir le point d'apontage. D'extraordinaires autant qu'étranges amas de constructions se rapprochaient sous ses yeux. Il en choisit un plutôt petit qui lui parut moins impressionnant, quant il fut assez près il y choisit au milieu une bizarre construction noyée dans la verdure, avec sur le côté une immense ouverture dans laquelle il s'engouffra. Un spaciodrôme l'attendait à l'intérieur, un imposant rectangle brun avec au milieu des aires circulaires, l'une lui parût couverte de végétation dans laquelle il lui serait plus facile d'amortir sa chute et de se dissimuler en attendant d'investir ce monde nouveau. Après deux ou trois tours pour préparer le posé, la fusée disparut au milieu de gigantesques feuilles vertes étrangement entassées. Le Grand Coordonnateur, rassuré par la couleur ambiante très voisine de la couleur de sa propre peau, abandonnant la fusée, couvert de tous ses insignes et revêtu de sa dignité, commença à gravir les feuilles ... Il faillit s'engluer plusieurs fois dans d'étranges sphères d'un jaune verdâtre qui roulaient un peu partout et s'étaient, brusquement crevées par les pilosités qui surgissaient de cet étrange tapis.

Tiens dit Caroline déjà un bourdon que nous amène le soleil, non dit Edouard c'est tout simplement une mouche bleue qui a senti notre omelette. En tout cas elle s'est posée dit Dany qui ajouta "tendez vos assiettes je sers la salade". En tout bien tout honneur François fut servi le premier. Excellente cette salade dit-il en s'essuyant la bouche, un peu craquante pourtant ...

Il ne sut jamais qu'il avait avalé un petit homme vert: le Grand Messager qui venait du fin fond de la Galaxie.

E.B.

