

DESCRIPTION ET REALISATION D'UNE MACHINE QUI CREE
SA STRUCTURE DE REGULATION.

(une machine qui fabrique son comportement).

[Tables des matières](#)

Ce travail est subdivisé en 6 chapitres :

- 1 - Introduction
 - 2 - Rappel sur les tropismes à l'intention des lecteurs
qui ne sont pas biologistes.
 - 3 - Description physique de la machine.
 - 4 - Description du logiciel de cette machine.
 - 5 - Les résultats et leur discussion.
 - 6 - Conclusions.
-

Chapitre 1

Introduction.

Depuis 1944, on a connu l'homéostat d'**Ashby**, la tortue de **Grey Walter**, le renard de **Ducrocq** et bien d'autres dispositifs ingénieux dans l'idée que la compréhension du comportement des êtres vivants était à notre portée. Il n'est que de rappeler les titres évocateur de quelques livres parus dans les années 50 : Design for a brain (**Ashby**) , La pensée artificielle (**Pierre de Latil**) ; jusqu'au calculateurs dont les performances feraient maintenant sourire qui étaient désignés par les mots de "cerveau électronique".

Dans les années 60, nous avons connu l'essor de "l'intelligence artificielle" dont certaines retombées sont spectaculaires comme le programme qui a battu le champion du monde des échecs mais qui commet des bêtises qu'un débutant ne ferait pas.

Bref tous ces travaux ont abouti à un résultat négatif considérable : "the canned intelligence is not intelligence", autrement dit on ne peut rendre une machine intelligente en la dotant de règles qui sont des relations fixes (une règle : si ceci, alors cela qui en fait est une application mathématique déguisée). Des relations fixes n'ont évidemment aucune adaptabilité.

Ashby nous le dit d'une autre façon : "*si l'auto organisation était une fonction, cette fonction ne peut changer en fonction de sa variable (ce serait faire de la fonction une variable. On serait donc seulement renvoyé un cran plus haut, et il faudrait définir une autre fonction qui ferait changer la première organisation en fonction du temps , et qui serait, elle, la véritable organisation* " .

Partant du principe que les êtres vivants étaient bien plus performants que les systèmes et machines précitées, les êtres vivants s'adaptant à peu près à n'importe quoi, j'ai tenté dans mon premier travail de faire une tortue pilotée par un programme qui fabrique une règle et non pilotée par des règles déjà écrites.

Cette idée d'un programme intelligent parce qu'il se mange lui même pour en donner un autre n'est pas nouvelle puisque **Babbage** (et Lady Lovelace) avec sa fameuse machine analytique avait déjà l'intuition à la fin du dix neuvième siècle : « An engine with mechanized intelligence if it were capable of eating its own tail ».

Pour chaque type de stimulation (lampe haute ou basse, lampe unique ou rampe de lampes), la machine qui va être décrite fabrique un tropisme différent.

Quand la machine conserve son orientation, on constate qu'il n'y a plus de tropisme mais déjà un comportement adaptatif.

Chapitre 2**Rappels sur les tropismes à l'intention des lecteurs qui ne sont pas biologistes.**

Les biologistes ont décrit chez les animaux un certain nombre de comportements:

- 1-Cinèses
 - 2-Tactismes
 - 3-Tropismes
 - 4-Nasties ou pathies
 - 5-Reflexes
 - 6-Reaction perceptives
-

1 - Les cinèses:

Les êtres vivants ont des actions motrices qui peuvent être non dirigées, ce sont alors des cinèses.

2 - Les tactismes:

Parfois, on sépare, et c'est en grande partie un artifice de langage, les tropismes qui sont des réactions d'orientation et de locomotion alors qu'on parle de tactisme quand il n'y a qu'orientation, par exemple pour les plantes qui s'orientent vers le soleil.

3 - Les tropismes:

Les tropismes sont des cinèses polarisées, causées et entretenues par l'excitant. Les actions motrices contrairement aux cinèses ne se font plus au hasard; les réponses motrices modifient l'action de l'excitant sur l'être vivant.

Elles n'ont pas de caractère adaptatif ou régulateur.

Dans les tropismes, il y a un couplage entre les actions de l'excitant et les réponses motrices; dans les réactions adaptatives, il y a en plus une action de l'excitant sur le couplage.

Les tropismes sont des réactions primitives et globales de la matière vivante.

Les tropismes supposent (Loeb J.: dynamique des phénomènes de la vie. Alcan):

- A - Une structure symétrique de l'être vivant, tout au moins partiellement; on fait l'hypothèse que les tissus de morphologie identique ont la même constitution chimique.
- B - Une réaction chimique dont l'équilibre est affecté par l'agent excitant cause du tropisme.
- C - Un des éléments de la réaction chimique conditionne un paramètre d'un mouvement telle que sa force, son amplitude, sa direction ou encore sa fréquence.

Exemple princeps de tropismes illustrant ces trois points:

I - Le phototropisme positif de jeunes pousses d'avoine, de maïs ou de tournesol, dont les réactions de courbure sont très nettes du fait de leur croissance très rapide. On montre qu'une insolation fixe et latérale pendant un certain temps produit, après un temps de latence, une courbure de la pousse qui tend à l'infléchir vers la lumière.

Depuis les travaux de Kögl et de ses collaborateurs, on sait que les photons situés dans une bande d'énergie bien définie freinent la synthèse d'hormones, les auxines, dérivés de l'acide indole acétique qui précisément ont une action sur la croissance des végétaux.

II - **J Loeb** décrit le phototropisme d'un métazoaire mobile, une larve d'un échinoderme, l'eudendrium.

"Les cils vibratiles moteurs ne travaillent pas avec la même énergie du côté éclairé et du côté non éclairé; à la façon dont tournerait une barque dont les rameurs auraient des forces différentes, il se produit une rotation qui oriente le pôle oral vers la lumière et qui tend à se conserver; l'axe de symétrie de l'animal coïncide avec les rayons, les phénomènes restent égaux et l'animal nage vers la lumière."

III - **J Loeb. Comparative physiology of the brain and comparative psychology:**

"Si plus de lumière tombe sur une rétine que sur l'autre, les réactions chimiques seront plus rapides dans l'une que dans l'autre, cette inégalité se transmet dans les nerfs optiques puis des nerfs sensitifs aux nerfs moteurs et aux muscles qui en dépendent. Le résultat est un mouvement des yeux et de la tête et par suite l'axe de l'animal. La structure du système nerveux est segmentaire et les segments céphaliques déterminent généralement la manière dont se comportent les autres segments avec leur partie accessoire."

QUELQUES TYPES DE TROPISMES

On a décrit des tropismes très variés: Le phototropisme, le stéréotropisme (tropisme tendant à appliquer le corps aussi complètement que possible contre les matières solides), galvanotropisme (tropisme dont l'excitant est l'électricité), le géotropisme (sensible à la gravité).

ETUDE DES VARIATIONS DES PARAMETRES DE L'EXCITANT.

Etablissons les caractères des tropismes en faisant varier quelques paramètres un à un:

Seuil absolu. En dessous d'un flux de un lux à la seconde, le phénomène n'apparaît pas.

Seuil différentiel. Si l'ensemble de la tige reçoit uniformément le flux f , un effet de courbure apparaît seulement si un côté reçoit un excédent df ; on montre alors que l'effet est proportionnel à df/f ; nous retrouvons ici la loi de Weber Fechner.

Le rayon de courbure est fonction de la quantité de lumière (i) qu'a reçue la tige soit i que multiplie t cette quantité, si on divise par un certain nombre le temps, il faudra multiplier par le même nombre l'intensité de la lumière pour observer la même courbure. Cette loi est bien connue des photographes sous le nom de loi de Bunsen et Roscoe.

Loi de Talbot : Si la lumière est intermittente, les effets s'additionnent si les intervalles de temps qui séparent les éclats ne sont pas trop espacés.

Si la jeune pousse est soumise à deux flux f et f' , la courbure se fera dans une direction qui est celle du vecteur qui est somme des deux vecteurs f et f' .

Loi de Grothus Draper dite de la radiation active : Si l'on fait varier la longueur d'onde de la lumière dans le cas d'une source monochromatique, on voit que le tropisme est maximum pour une plage de fréquence de la lumière relativement étroite qui correspond à la bande d'absorption de la réaction chimique en jeu dans ce tropisme.

LE TROPISME EST MECANIQUE ET NON FINALISTE

Le tropisme n'est pas le résultat d'un apprentissage. Les larves de Goat moth qui vivent sous l'écorce des arbres, à l'abri donc de la lumière montrent un héliotropisme positif. Il en est de même du Cuma Rathjkii, crabe qui vit dans la boue du port de Kiel.

Différents faits montrent que le tropisme ne répond pas au "principe philosophique" de l'intérêt du vivant:

→ On pourrait penser que le tropisme à la lumière des plantes est en relation avec le fait que celles-ci ont besoin de lumière pour la photosynthèse, en fait il n'en est rien. Citons Jacques Loeb. *The dynamic of the living matter* :

"Des plantes élevées derrière des écrans de verre rouge assimilent, mais ne montrent pas de courbure héliotropique, celles élevées derrière des écrans de verre bleu n'assimilent presque pas, mais présentent par contre des courbure héliotropiques comme si elles étaient exposées à la lumière composée".

→ Il existe des variétés de tropismes appelés galvanotropisme qui n'ont été mis en évidence qu'en laboratoire. Il paraît difficile de voir dans ce type de tropisme une finalité ou un intérêt du vivant quelconque.

→ On peut assez facilement faire des expériences dans lesquelles les tropismes jouent un rôle contraignant ou piégeant qui conduit à la mort de l'animal. J. Loeb:

"Une annélide marine du nom de Nereisa un stéréotropisme très marqué; si on met dans un aquarium des tubes de verre transparents d'un diamètre à peu près égal à celui des vers, on voit environ après 24 heures que les nereis se sont introduits chacun dans un tube et y restent. Elles ne sortent pas, même si l'on les expose au soleil, ce qui ne tarde pas à les faire mourir."

Nous allons maintenant, pour mieux comprendre les tropismes les opposer à d'autres comportements animaux plus élaborés:

4 - Les pathies ou nasties:

Quand l'agent excitateur externe donne lieu à des réactions efférentes organisées ou ordonnées, nous sommes en présence d'un comportement à type de nasties ou de pathies qui ont été particulièrement étudiées par Jennings; elles s'opposent point par point aux tropismes.

Ce sont des réactions complexes qui sont la résultante de mécanismes d'aversion. Ces réactions ont pour but de mettre fin à l'excitation. On décrit donc une zone centrale appelée *preferendum* ou zone d'indifférence où l'excitation est annulée, comprise entre deux seuils inférieurs et supérieurs au delà et en déjà desquels les répulsions sont de plus en plus importantes.

Ce sont donc des réactions adaptatives.

Nous prendrons comme exemple le lézard (poïkilotherme) qui reste dans une zone de température qui correspond à ses dépenses les plus faibles possibles pour sa thermorégulation. Les réactions augmentent d'intensité à mesure que l'excitant s'éloigne du seuil, ce qui est bien différent de la loi de Weber Fechner qui est valable pour les tropismes.

5 - Les réflexes:

Comme les tropismes, ce sont des mouvements "machinaux" et ce sont des mouvements dirigés. Ils en diffèrent par leur rôle protecteur. C'est un sous ensemble d'une série de mouvements. Les réflexes n'existent que si il y a un tissu nerveux (différentiation de l'ectoderme).

6 - Les réactions perceptives qui opèrent non plus au niveau du signal mais du signe, nous sommes au niveau du symbole ou de la représentation induisant des comportements de type réflexe conditionnel.

En conclusion, on retrouve partout les tropismes dans le règne vivant. Cette universalité qui s'oppose à la diversité des mécanismes mis en jeu suggère qu'ils sont régis par un mécanisme abstrait. Pour qu'il y ait tropisme il faut et il suffit que :

- 1 - Le système présente une symétrie tout au moins partielle.
- 2 - Il y ait des récepteurs sensibles à une source d'excitation.
- 3 - Il y ait des efférences génératrices de mouvements
- 4 - Il y ait une relation entre les afférences et les efférences.

Notons enfin la présence du monde pour fermer la boucle. Dans le monde l'intensité de la source d'excitation varie.

Chapitre 3

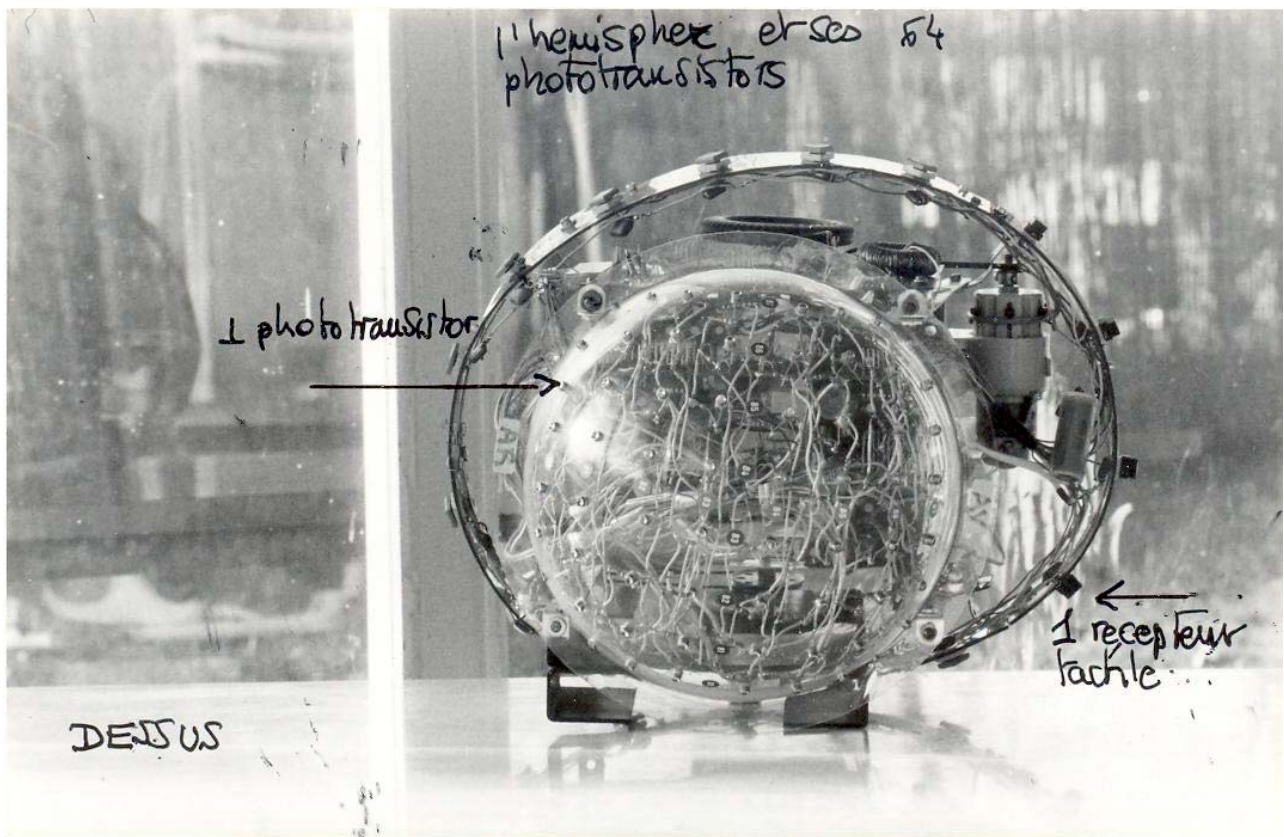
Description physique de la machine.

Cette machine est constituée de deux parties :

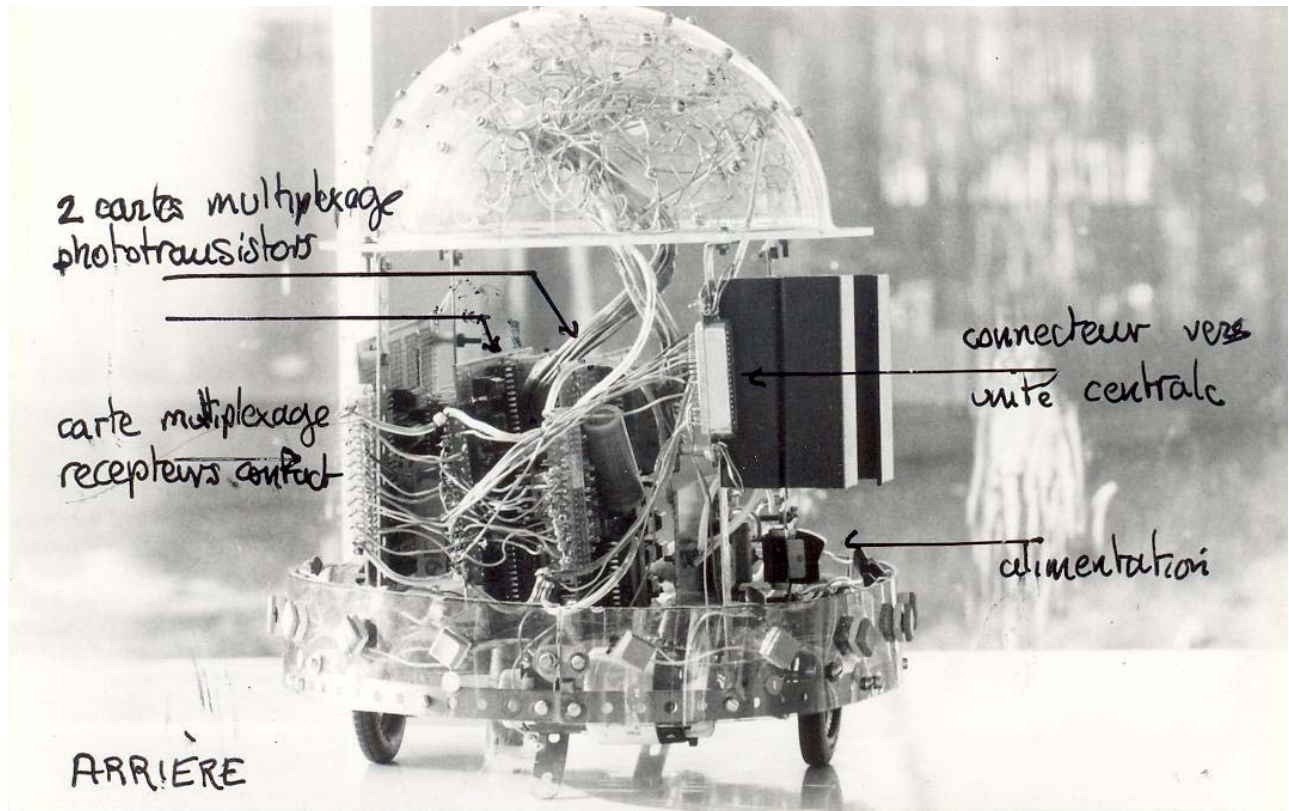
1 - Un périphérique que nous appelons souvent "tortue" où sont disposés les détecteurs qui sont la source des données afférentes.

Ce sont des capteurs optiques et sensitifs. Les capteurs optiques sont des photodiodes très résistives quand elles ne sont pas éclairées et conductrices à la lumière. Leur spectre est décalé vers le rouge par rapport à celui de l'œil et elles ne captent la lumière que dans un angle solide de quelques stéradians.

Les capteurs de contact sont des interrupteurs monostables.



Il y a en outre deux moteurs à aimants permanents responsables de la motricité des roues gauche et droite qui constituent les efférences.



2 - Une unité centrale, où sont effectués les calculs qui seront détaillés dans le chapitre suivant dédié à la description du logiciel.

AFFERENCES OPTIQUES.

Elles sont au nombre de 64 en carré plaqué sur un hémisphère située au sommet de la tortue. Ces récepteurs répondent par tout ou rien. Chaque récepteur a un angle de vision très limité ; du fait de leur disposition sur une demie sphère les récepteurs situés à l'équateur voient l'horizon (azimut 0 degré), alors que les récepteurs situés au pôle voient le zénith (azimut 90 degrés).

AFFERENCES SENSITIVES.

Elles sont au nombre de 16 réparties sur une ceinture située dans la partie basse de la tortue, sorte de pare choc circulaire.

EFFERENCES.

Elles contrôlent la marche des moteurs. On peut les actionner en avant et en arrière et par tout ou rien ; ce qui permet donc par combinaison de ces commandes: marche avant et arrière et des rotations sur place (2 moteurs marchant en sens inverse) et des rotations autour du point d'appui d'une roue sur le sol (un seul moteur marche).

(cette machine faite en 1980 avec des circuits d'adressage de mémoire centrale Intel a été refaite récemment avec un micro contrôleur Microchip, une batterie et une liaison Hertzienne à l'unité centrale, cette nouvelle version est décrite dans la partie montages électroniques de ce site)

Chapitre 4.

Description du logiciel de cette machine.

L'évolution du système se fait par itérations (tranche de temps ou temps discret) et le programme (écrit en V-lisp sur un PDP 11) décrit la même boucle indéfiniment.

Cette boucle opère sur des matrices.

A chaque tranche de temps t , 4 règles vont définir 4 objets principaux:

1 - Une matrice des afférences $A(t)$

2 - Une matrice mémoire $M(t)$

3 - Un pointeur $P(t)$

4 - Un vecteur de déplacement $V(t)$

MATRICES DES AFFERENCES.

C'est une matrice carré $A(t)$ de 10 sur 10 éléments :

$$\begin{bmatrix} 0 & T_{15} & 0 & T_{16} & 0 & 0 & T_1 & 0 & T_2 & 0 \\ T_{14} & O_{11} & O_{21} & O_{31} & O_{41} & O_{51} & O_{61} & O_{71} & O_{81} & T_3 \\ 0 & O_{12} & O_{22} & O_{32} & O_{42} & O_{52} & O_{62} & O_{72} & O_{82} & 0 \\ T_{13} & O_{13} & O_{23} & O_{33} & O_{43} & O_{53} & O_{63} & O_{73} & O_{83} & T_4 \\ 0 & O_{14} & O_{24} & O_{34} & O_{44} & O_{54} & O_{64} & O_{74} & O_{84} & 0 \\ 0 & O_{15} & O_{25} & O_{35} & O_{45} & O_{55} & O_{65} & O_{75} & O_{85} & 0 \\ T_{12} & O_{16} & O_{26} & O_{36} & O_{46} & O_{56} & O_{66} & O_{76} & O_{86} & T_5 \\ 0 & O_{17} & O_{27} & O_{37} & O_{47} & O_{57} & O_{67} & O_{77} & O_{87} & 0 \\ T_{11} & O_{18} & O_{28} & O_{38} & O_{48} & O_{58} & O_{68} & O_{78} & O_{88} & T_6 \\ 0 & T_{10} & 0 & T_9 & 0 & 0 & T_8 & 0 & T_7 & 0 \end{bmatrix}$$

Les éléments O sont connectés aux 64 afférences optiques alors que les éléments T le sont aux 16 afférences tactiles.

Conditions initiales: Au temps $t = 0$, cette matrice est nulle, soit $A(0) = [0]$

Au temps t , la matrice des afférences est constituée à partir des informations qui viennent des récepteurs optiques qui constituent eux-mêmes une matrice carré $R(t)$ de 8 sur 8 et des informations issues des récepteurs tactiles qui forment un vecteur $S(t)$ de 16 éléments.

On définit une bijection de $R(t)$ avec le bloc central de $A(t)$ (éléments O11, ... O17, O18 ... O25,, O81 ... O88)

Soit $A_{i,j}(t)$ un élément de la matrice des afférences à la tranche de temps t ; $A_{i,j}(t) = 1$ si $R_{i,j}(t) = 1$ et $A_{i,j}(t) = 0$ si $R_{i,j}(t) = 0$.

$S(t)$ est envoyé sur une partie de $A(t)$ que nous appellerons $As(t)$ (éléments T1, T2, ... T16 de la figure 4) avec $As_{i,j}(t) = 1$ si $S_{i,j}(t) = 1$ et $As_{i,j}(t) = 0$ si $S_{i,j}(t) = 0$.

Les éléments de la matrice des afférences qui ne reçoivent aucune afférence restent à 0 puisque $A(0) = [0]$. Cette partie est égale à $A(t) - (\text{bloc central}) - As(t)$.

CONSTITUTION DE LA MATRICE MEMOIRE.

Conditions initiales: Au départ la matrice mémoire est nulle, soit $M(0) = [0]$.

La matrice mémoire, à la tranche de temps t est la somme des matrices mémoire au temps $t-1$ et de la matrice des afférence au temps t :

$$M(t) = M(t-1) + A(t)$$

Autrement dit, la matrice mémoire est la somme des matrices afférences du temps $t=0$ jusqu'au temps t :

$$M(t) = \sum_{i=0}^t A(t)$$

DEFINITION DU POINTEUR.

On définit un pointeur $P(t)$ comme une application qui à chaque tranche de temps va définir un couple de valeur entière (i, k) appartenant à l'ensemble $\{1, \dots, 10\}$.

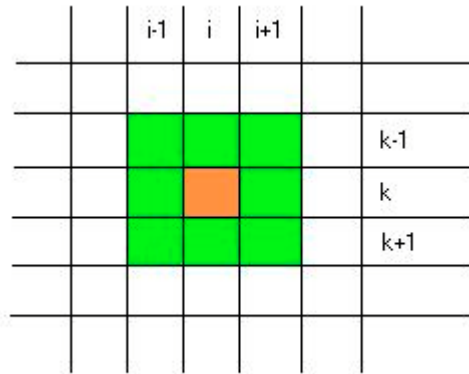
$$P(t) = (i, k) \quad i, k \in \{1, \dots, 10\}$$

Conditions initiales: à la première tranche de temps, on tire au sort les deux premières valeurs k et l dans l'ensemble $\{1, \dots, 10\}$ à partir d'une loi uniforme.

Algorithme de déplacement de ce pointeur:

On calcule $P(t+1) = (m, n)$ à partir de $P(t) = (i, k)$

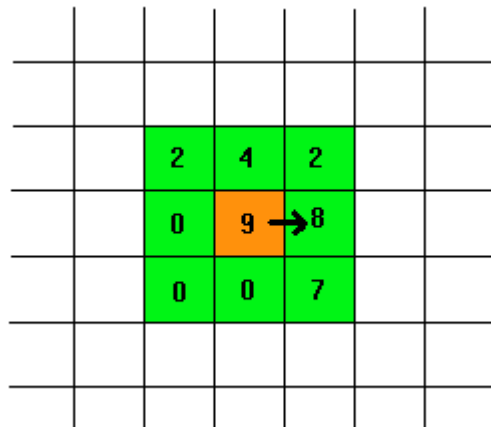
(i, k) au temps t définit un élément $M_{i,k}$ de la matrice mémoire. Soit le voisinage au sens de Moore de cet élément.



Le voisinage de Moore de la cellule orange (i, k) est constitué par les huit cellules en vert :

$$(i-1, k-1), (i-1, k), (i-1, k+1), (i, k+1), (i, k-1), (i+1, k-1), (i+1, k), (i+1, k+1)$$

REGLE 1: Le pointeur $P(t)$ pointera au temps $t+1$ sur le terme voisin $M_{m,n}$ qui a la plus



grande valeur si celle-ci est unique. Ici c'est la cellule située à droite de la cellule orange qui contient le chiffre 8 :

REGLE 2: Sinon il y a plusieurs voisins ayant la même plus grande valeur, on tire un de ceux ci au hasard (chacun ayant une probabilité égale d'être tiré au sort).

REMARQUES:

1 - La valeur du voisin ($M_{m,n}$) de la cellule $M_{i,k}$ ainsi trouvée peut être inférieure au contenu de la cellule $M_{i,k}$. C'est d'ailleurs le cas dans l'exemple ci-dessus. Contenu de $M_{i,k} = 9$, contenu de $M_{m,n} = 8$.

2 - La règle de tirage au sort quand plusieurs voisins de $M_{i,k}$ ont la même valeur est prépondérante au début car à ce moment la matrice est creuse et tous les voisins de $M_{i,k}$ sont à 0.

CALCUL DES EFFERENCES.

Les efférences déterminent le mouvement de la tortue.
Ce mouvement est défini par le calcul d'un vecteur $V(t)$.

Les déplacements du pointeur dans la matrice mémoire entraînent des déplacements homologues du périphérique dans son environnement.

Comme nous l'avons vu, au temps t , le pointeur $P(t)$ définit le couple (i, k) qui définit à son tour le scalaire N ($N = 9$ dans l'exemple) qui est la valeur de l'élément (m, n) de la matrice mémoire M . Au temps $t+1$, $P(t+1)$ définit l'élément (m, n) de la matrice mémoire dont la valeur est N' . ($N' = 8$ dans l'exemple)

Nous orientons le plan où se déplace le périphérique par un repère orthonormé XOY.

Au temps t la position de la tortue était x, y au temps $t+1$ elle sera x', y' .

REGLES DE DEPLACEMENT DE LA TORTUE.

Le déplacement de la tortue est composé d'une rotation puis d'une translation.

ROTATION:

L'angle de rotation Ω est tel que

$$\operatorname{tg}(\Omega) = \frac{y' - y}{x' - x} = \frac{m - k}{n - i}$$

Dans notre exemple, l'angle oméga est égal à 0 car $y' = y$.

Les valeurs de x et de y étant discrètes, les valeurs de l'angle Ω le sont aussi et les valeurs possibles de Ω sont des multiples de $\Pi/4$.

TRANSLATION:

Nous avons subordonné la marche de la tortue aux déplacements du pointeur dans la matrice mémoire.

La translation de la tortue est égale à $k(N' - N)$, k étant un nombre réel positif arbitraire choisi une fois pour toute.

Si par exemple $N' > N$ le déplacement de la tortue se fait en avant.

CONCLUSION :

Les actions motrices modifient la place du périphérique par rapport aux sources d'excitation, ce qui modifie les afférences qui modifient la matrice mémoire qui donnent un déplacement et ainsi de suite.

Nous avons réalisé une structure régulatrice qui se fabrique et se modifie elle-même en fabriquant une représentation du monde qui est la matrice mémoire.

Chapitre 5

Résultats et leur discussion.

Nous allons donc faire évoluer cette tortue sur un sol plat au voisinage d'une source de lumière située à une certaine hauteur.

Si la source lumineuse est trop lointaine, aucun photorécepteur n'est impressionné et la matrice mémoire reste nulle; il n'y a donc pas de structure de régulation, le parcours de la tortue est erratique et elle finit par être piégée par un obstacle comme un mur par exemple.

Appelons les termes différents de 0 de la matrice mémoire "image mémoire".

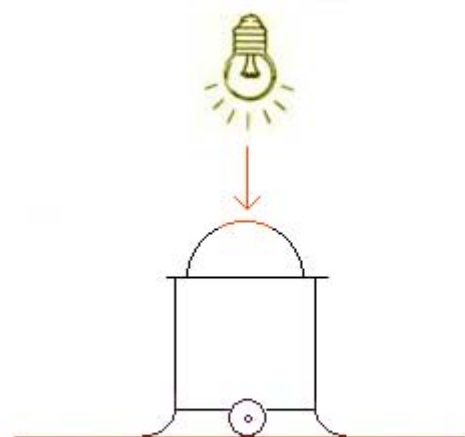
La plupart du temps, la source lumineuse impressionne les photorécepteurs créant une image dans la matrice mémoire, cette image se somme avec les précédentes. Au début toutefois cette matrice reste encore creuse et le déplacement de la tortue se fait au hasard car plusieurs voisins du pointeur de la matrice mémoire ont la même valeur supérieure (règle décrite dans le chapitre "description du logiciel").

L'image mémoire constituée par plusieurs îlots au début, confluent pour faire une île unique. Le pointeur qui parcourt cette image fait parcourir de façon homologue le monde à la tortue ce qui accentue le relief de l'image mémoire et la tortue est de plus en plus piégée par la source lumineuse.

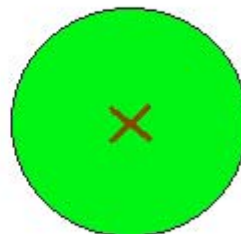
Cette description évoque l'idée d'un mobile se déplaçant sur un sol meuble, comme du sable; le déplacement crée une dénivellation qui tend à faire rester le mobile dans cette excavation. Plus le mobile se déplace dans le trou, plus il l'approfondit. La topographie de ce trou est différente selon la position haute ou basse de la lampe.

L'image mémoire et par voie de conséquence le tropisme diffère selon certaines caractéristiques de l'excitation lumineuse:

SOURCE PONCTUELLE DE LUMIERE HAUTE.



Ampoule haute : Les phototransistors impressionnés sont proches de l'apex de l'hémisphère.



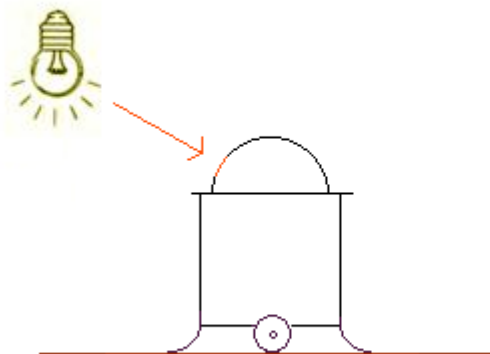
Vue par dessus de l'aire parcourue par la tortue, la lampe est figurée par la croix.

Dans ce cas, seuls les récepteurs situés à la partie apicale de l'hémisphère sont impressionnés et seuls les termes centraux de la matrice des afférences sont à 1, les termes centraux de la matrice mémoire auront des valeurs fortes alors que les termes périphériques resteront à 0. L'image mémoire a la forme d'un cercle, Le pointeur qui se déplace dans cette image mémoire cherche les valeurs dans son voisinage les plus fortes et reste donc confiné dans la zone centrale de la mémoire et donc à son tour la tortue reste sous la lampe.

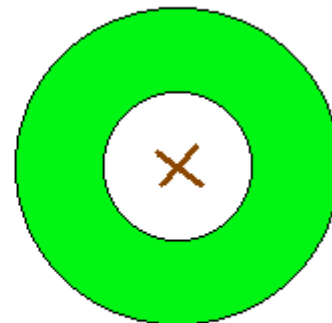
$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 5 & 1 & 2 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 1 & 29 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 6 & 13 & 21 & 10 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 11 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matrice mémoire après 101 tranches de temps. Source lumineuse haute située 40 cm au dessus de l'hémisphère supérieur de la tortue.

SOURCE PONCTUELLE DE LUMIERE BASSE.



Ampoule basse : Les phototransistors impressionnés sont proches de l'équateur de l'hémisphère.



Vue par dessus de l'aire parcourue par la tortue, la lampe est figurée par la croix.

Les récepteurs proches de l'équateur de l'hémisphère sont excités. Seuls les termes périphériques de la matrice mémoire contiennent des valeurs fortes, les termes centraux restant nuls, l'image mémoire a la forme d'un anneau, le pointeur évolue dans cette zone circulaire de la matrice mémoire et la tortue tourne autour de la lampe.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 2 & 2 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 1 & 0 & 0 & 1 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 7 & 0 \\ 0 & 4 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 5 & 0 \\ 0 & 0 & 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 9 & 6 & 0 & 0 & 0 & 1 & 5 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 2 & 4 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matrice mémoire après 101 tranches de temps. Source lumineuse basse située 5 cm au dessus de l'hémisphère supérieur de la tortue.

SOURCE EN FORME DE RAMPE DE LUMIERE HAUTE.

La source lumineuse est constituées de plusieurs ampoules électriques situées en ligne et suffisamment haut par rapport à l'hémisphère où sont les photorécepteurs; l'image mémoire a la forme d'un "I", la tortue se déplace sous les lampes selon une ligne droite parallèle à la ligne des lampes.

SOURCE EN FORME DE RAMPE DE LUMIERE BASSE.

Les ampoules en ligne sont presque à la hauteur de l'hémisphère où sont les photorécepteurs; seuls les photorécepteurs les plus périphériques sont excités; l'image mémoire a la forme d'un "I" situé loin du centre de la mémoire, la tortue se déplace à côté de la rampe de lampes et non plus en dessous comme dans le cas précédent.

CONDITION DE BONNE MARCHE.

Influence du paramètre k:

Nous avons vu dans le chapitre précédent que la translation de la tortue est proportionnelle à la translation du pointeur dans la matrice mémoire $k(N' - N)$, le facteur k étant arbitraire; si k est choisi trop grand, l'amplitude des déplacements du périphérique est telle que la tortue va sortir de la zone où ses photorécepteurs sont stimulés. Il n'y aura plus de relation entre les déplacements de la tortue sur le sol et les déplacements du pointeur dans la mémoire.

Abondance des excitations:

Nous avons tenté de réaliser une machine dont le fonctionnement aurait été identique à la nature des afférences près, les afférences étant fournies uniquement par des récepteurs tactiles situés sur la ceinture de la tortue. Ces récepteurs n'étaient activés que lorsque la machine heurtait un obstacle. Ce genre d'événement est relativement rare, de ce fait, l'image mémoire n'est pas connexe et le comportement de la tortue reste erratique: l'image mémoire connexe qui constitue la structure de régulation ne peut se faire.

Fixité du monde:

Comme la hauteur de l'excitation lumineuse conditionne la forme de l'image mémoire et donc le type de tropisme, cela n'aurait donc aucun sens de faire varier ce paramètre au cours de

la constitution de cette image mémoire. Les paramètres du stimulus qui fabrique la structure de régulation doivent donc rester fixes.

VARIANTE DE L'ALGORITHME.

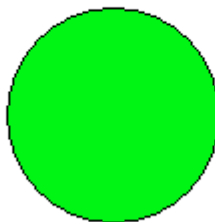
Elle consiste à modifier la règle de déplacement de la tortue. Jusqu'à présent le déplacement était composé d'une rotation d'un angle Ω et d'un déplacement, nous y ajoutons une nouvelle rotation $-\Omega$. L'axe de la tortue va donc rester fixe.

L'image dans la matrice mémoire n'aura plus la symétrie par rapport au point milieu de la mémoire, mais est constituée d'un îlot excentré :

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 10 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 11 & 17 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matrice mémoire après 49 tranches de temps, lampe en position haute, et conservation de l'orientation de la tortue.

La tortue va rester à distance de la source lumineuse :



Aire parcourue par la tortue quand son orientation est conservée, la croix représente la lampe qui est en position haute

La source lumineuse au temps t va être en A, excitant les récepteurs R_a et créant l'îlot la dans la matrice afférence $A(t)$; le pointeur dans la matrice mémoire se déplace, la tortue se déplace en B au temps $t+1$ tout en gardant fixe son axe, les photorécepteur R_b sont alors excités créant dans la matrice afférence $A(t+1)$ un îlot l_b ; Du fait de la rotation $-\Omega$ qui conserve à la tortue une direction fixe, l'îlot l_b sera proche de l'îlot l_a . Si au contraire, la tortue n'avait pas gardé son axe par une rotation $-\Omega$, l'image l_b dans la matrice afférence aurait été située symétriquement par rapport au point milieu de cette matrice.

L'image dans la matrice mémoire n'est plus symétrique par rapport au point milieu de cette matrice. La tortue reste à une certaine distance de l'ampoule que celle ci soit haute ou basse.

Une fois que l'image dans la matrice mémoire est bien constituée, on déplace légèrement la source lumineuse, la tortue se déplacera alors de façon à rester à une distance constante de la lampe.

Cette petite modification de la règle de déplacement de la tortue change complètement son comportement. Il n'y a plus de tropisme et apparaît une aptitude de ce système à s'opposer aux variations de l'excitation.

Chapitre 6**Conclusions.**

Notre but était de dégager les lois les plus générales qui feraient qu'une machine pourrait se programmer elle-même.

La machine décrite ci-dessus est très loin de ces buts généraux; nous allons énumérer quelque-une de ses particularités:

LA STRUCTURE DE REGULATION EST DEPENDANTE DE LA GEOMETRIE DE LA TORTUE.

La structure de régulation constituée par les déplacements du pointeur dans l'image mémoire, dépendante des afférences lumineuses, lesquelles dépendent de la disposition des photorécepteurs sur un hémisphère; les photorécepteurs situés sur l'équateur étant excités par les sources lumineuses situées à l'horizon alors que les photorécepteurs apicaux sont excités par les sources situées au zénith.

NECESSITE DE LA FIXITE DU MONDE.

Comme nous l'avons vu cette machine requiert que le monde soit immobile. Nous sommes bien loin du système nerveux qui abstrait des structures fixes dans un monde qui varie constamment.

FINALITE DE L'ALGORITHME DE CETTE MACHINE.

On trouve dans la conception de l'algorithme, un grand nombre de conventions qui relèvent d'une intention du créateur de la machine; l'idéal serait que toutes les instructions de la machine soient aléatoires au temps $t = 0$ et que sous l'action du monde et de l'action de la machine sur le monde, il y ait une organisation qui émerge.

COMPREHENSION DU FONCTIONNEMENT DE CETTE MACHINE.

Enfin nous n'avons jamais abordé le problème fondamental que pose cette machine: Pourquoi le comportement de cette tortue est-il stable?

La matrice mémoire a la capacité de modifier la marche de la tortue qui modifie les afférences qui à son tour a la capacité de modifier la matrice mémoire.

Quels sont les critères de stabilité d'une structure qui s'auto-modifie? La structure se modifie en ayant des actions sur le monde qui à son tour modifie cette structure.

Toutes ces lacunes pratiques et théoriques nous ont fait imaginer des automates qui possèdent la propriété de pouvoir réécrire leur fonction de transition chaque fois que leurs afférences et efférences varient.

BIBLIOGRAPHIE

Ashby Ross. Design for a brain. Chapman & Hall. London. 1952.

Walter Grey. Imitation of life, Scientific American, May 1950, p42-45.

Ducrocq Albert. Découverte de la cybernétique. Julliard. Paris. 1955.

Latil Pierre de. Introduction à la cybernétique : La pensée artificielle. Paris. Gallimard.1953.

Couffignal Louis. Les machines à penser. Les éditions de minuit. Paris. 1952.

Couffignal Louis. La cybernétique. PUF. Paris. 1972.

Ashby Ross. Principle of Self-organizing systems. Self organizing systems, Ed. Von Foerster & G.W. Zopf, PergamonPress, London pp 255-278. 1962

Babbage Charles. Passage from the life of a philosopher. Longman, Green. London. 1864.

Loeb Jacques. Dynamique des phénomènes de la vie. Alcan. 1907.

Loeb Jacques. Comparative physiology of the brain and comparative psychology. John Murray. London 1903.

Loeb Jacques. The dynamics of living matter, New York: Columbia University Press, 1906.

Jennings Herbert. Contributions to the study of the behavior of the lower organisms. Carnegie Institution of Washington. 1904.

Frankel, G. S. & Gunn, D. L. The Orientation of Animals. Dover, New York, 1961.

Rose Maurice. La question des tropismes. PUF. Paris 1929.

Viaud Gaston. Tropismes et pathies. J. Psychol. norm. path. 42, 385-419. 1949.

Viaud Gaston. Les tropismes. PUF. Paris. 1968.

Les ouvrages de biologie ont été consultés à la bibliothèque du jardin des plantes de Paris en 1982.

Les ouvrages de cybernétique font partie de ma bibliothèque personnelle, on arrive à les trouver en livre d'occasion sur internet et dans les villages du livre notamment celui de Hay on Wye (Ashby, Babbage).

La bibliothèque de l'Ecole Normale de la rue d'Ulm est très riche.

Comparative physiology of the brain and comparative psychology de Loeb peut être téléchargé à : <http://www.archive.org/details/comparativephysi00loebrich>