

Passer du système formel à l'agent situé

Dans les chapitres précédents, nous avons largement étudié les systèmes formels (SF). Certes ils sont un peu abstraits, mais ils constituent l'outil mathématique de base que nous utilisons pour introduire notre exposé D'IA. Partant de ce préalable, pour aller de théorie à pratique, nous allons décrire une progression jusqu'aux agents réactifs. Ensuite, nous prolongerons l'exposé en évoquant des agents intentionnels, plus puissants et plus complexes car finalistes et cognitifs.

Ce chapitre pose des bases formelles, depuis les SF jusqu'aux agents situés. Il s'attache à introduire les agents, pratique très utilisée en informatique appliquée (systèmes multi-agents et intelligence artificielle distribuée). Nous décrivons ici une transition depuis les SF, un domaine très général, jusqu'à un domaine très restreint, celui de l'agent réactif en situation dans un micro-monde. Plus précisément, nous développons un exemple particulier : la transition depuis un séquenceur, jusqu'à un agent situé, un pion sur un cercle de cases.

Tout d'abord, un petit rappel sur la définition d'un système formel (SF)

Un système formel S est un quadruplet $\{Q, \delta, q, F\}$:

- 1) Q est un ensemble fini d'états.
- 2) $\delta : Q \rightarrow Q$, la fonction de transition donnée par la table à une entrées Q .
- 3) q , tel que $q \in Q$, est l'état du système.
- 4) $F, F \subset Q$, est l'ensemble des états finals.

Les composants qui servent à construire ce système sont :

- Q , l'ensemble fini d'états est donc un ensemble de symboles formels.
- q l'état du système, correspond à une variable qu'on instancie avec le nom du symbole correspondant à l'état du système.

Un séquenceur fabriqué au moyen d'un système formel

Maintenant pour illustrer notre propos, construisons un exemple de SF, un séquenceur S . C'est un quadruplet : $S = \{Q, \delta, q, F\}$:

Définissons Q

Son domaine Q est un ensemble fini de 8 états. $Q = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$.

Définissons q l'état du système et initialisons-le

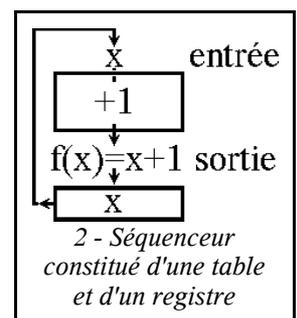
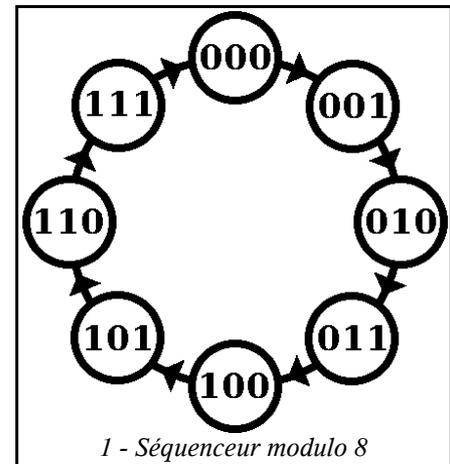
Nous définissons la variable q comme l'état du système. Elle est à valeur dans Q l'ensemble de ses états. Au départ nous prenons $q = 0$, car $0 \in Q$ et en est le premier élément. Dans une implémentation électronique d'un séquenceur, q est mémorisée dans un registre tampon. (illustration ci-après, à droite).

Définissons δ la fonction de transition

$\delta : Q \rightarrow Q$, la fonction de transition est donnée par les 8 règles suivantes :

$\delta : 0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 3, 3 \rightarrow 4, 4 \rightarrow 5, 5 \rightarrow 6, 6 \rightarrow 7, 7 \rightarrow 0$.

Dans une implémentation électronique du séquenceur S , la table δ peut être implémentée en extension dans une mémoire morte de 8 adresses ; Dans le schéma ci-contre nous présentons une implémentation en compréhension au moyen de la fonction d'incréméntation.



Définissons F

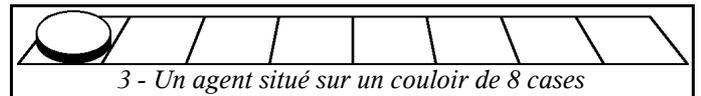
Nous ne définissons pas F l'ensemble des états finals car le séquenceur se reboucle sur lui-même et tourne indéfiniment.

Définissons les notions de procès, puis d'action

- À chaque application de règle le système change d'état. Ce changement est appelé transition d'état ou encore procès.
- En toute rigueur, si un procès, une transition d'état du système est finaliste, elle peut aussi être appelée *action*.

Transition de séquenceur à agent situé¹

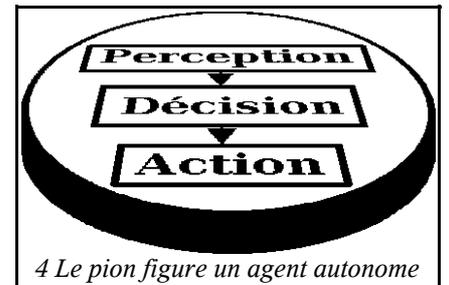
La transition, qui va de séquenceur à agent situé, se fait en plongeant un être mathématique dans la réalité physique. Partant de ce séquenceur S, nous le plongeons dans le concret, et plus précisément dans un domaine spatio-temporel afin d'obtenir un agent situé. À l'arrivée, nous obtenons un pion/agent qui se déplace dans un couloir de cases, ou sur la piste circulaire d'un manège.



Les composants de ce système qui simule un agent situé dans le monde

Un pion

Tout d'abord, l'agent est un être autonome, il transporte sur lui son système de décision. Une partie du SF (le jeu de règles) est maintenant implémentée (électriquement, neuralemement ou autrement), au sein d'un agent figuré par un pion.



Le support initial devient un vrai couloir de cases

Initialement, le séquenceur S possédait un domaine Q , ensemble fini de 8 états ; $Q = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$. Dans la suite du polycopié, nous montrerons que maintenant, dans le cadre de cet agent situé, chaque état du système devient une position du pion sur une case. Afin que le pion puisse être posé sur quelque chose, nous devons rajouter au système un support C fabriqué au moyen de huit cases c_i . On obtient donc $C = (c_0, c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7)$, un couloir de cases consécutives, que nous rebouclons sur lui-même comme la piste d'un manège.

La représentation du système : un registre tampon pour mémoriser l'état du monde

L'état du système devient l'état de ses N composants

Dans le SF initial, l'état du système consistait en un symbole q mémorisé dans une mémoire (un registre).

Ensuite, quand on passe dans le cadre de l'agent situé, cette mémoire continue d'enregistrer l'état du monde, mais ce dernier présente une structure plus complexe. Elle prend la forme d'un pion sur une piste circulaire de cases.

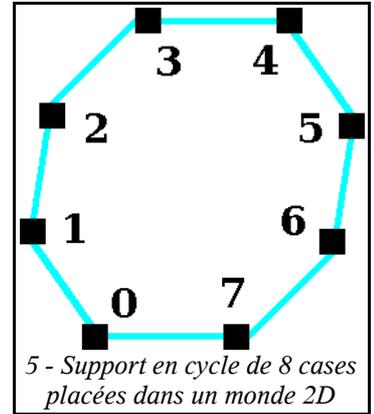
Nous imposons une restriction forte des transformations effectuées sur le monde : pas de destruction d'objet ou de matière. Par exemple, il est exclu qu'un agent fasse disparaître une nourriture en la mangeant ou produise un objet. Donc, dans l'état du système nous savons que nous aurons toujours le même nombre de composants. Alors pour décrire l'état du monde, dans un premier temps, il nous suffit de décrire ces N objets (le pion et les cases de la piste). Puis, dans un second temps nous décrirons le monde comme une liste de relations entre ses objets (le pion sur la piste de cases). Enfin, dans un troisième temps, nous décrirons l'évolution du monde comme la variation de ces relations (le pion avance sur la piste).

¹ *Agent situé* est un terme consacré. En anglais, il se traduit par *embodied agent* (agent incorporé/incarné).

Plongeon dans la réalité physique

Dans un premier temps nous utilisons un repère extérieur, le monde 2D externe, et nous y posons notre piste de cases. Par la suite nous réussirons à éviter cet ajout, et nous l'évacuerons.

Pour simplifier l'exposé, nous supposons que dans la réalité d'un monde physique 2D, le support de 8 cases connectées en cycle, se présente comme illustré dans la figure de droite.



Représentation extensive de l'état du système

| $p \setminus n^\circ$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----------------------|-----|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| x | 57 | 9 | 24 | 99 | 208 | 256 | 241 | 166 |
| y | 256 | 174 | 84 | 10 | 9 | 92 | 182 | 256 |

D'un côté, on pourrait parfaitement représenter l'état du système. Pour ce faire, il faudrait fournir toutes les données brutes à propos des composants du monde (l'agent et son support).

Par exemple, on pourrait penser à présenter le fichier informatique binaire du dessin du monde, mais cette représentation en extension du système est aride. En effet, l'utilisateur croule sous les données brutes difficilement exploitables car peu significatives.

Alors on pourrait encore penser présenter le tableau ci-dessus, qui donne les position en x et y des cases sur le support externe 2D. Mais cette représentation en extension demeure peu parlante.

Finalement, l'usage veut que, pour communiquer, on cesse de représenter les données extensivement, et qu'on privilégie une représentation en compréhension, i.e. analytique.

Représentation compréhensive de l'état du système

Pour décrire l'état du cycle de cases, nous avons listées les relations de lieu de ses composantes avec le monde 2D externe (leurs position x et y). Mais cette méthode présente l'inconvénient d'introduire un référent externe au système. Pour l'évacuer, nous choisissons alors d'utiliser une démarche interne au monde, nous décrivons les relations entre ses composantes : le pions et les cases.

Pour décrire l'état du monde à un auditeur, au lieu de lister des n données brutes correspondant à la position de chaque objet dans le monde, le locuteur analyse la scène observée et cherche à fournir un résultat qui soit interne au monde et plus exploitable. Pour cela, il part du produit cartésien des relations entre tous les composants, et il communique seulement celles qui apparaissent vraies (et significatives).

Cette méthode présente deux avantages : Elle évacue le référent 2D externe et elle condense l'information en la synthétisant.

Par exemple, voyons ce que cette méthode peut donner quand on l'utilise pour représenter le pion en relation avec son support en cycle de 8 cases (ci-dessus à droite).

Initialisons l'état du système

Au départ le pion est sur *Case0*, la première case.

Première démarche d'analyse : scène statique

Dans une premier temps, nous décrivons seulement une scène statique : nous ne représentons pas le mouvement.

Le tableau correspond au produit cartésien des relations entre les composants du monde, il se décompose en trois parties :

Sa diagonale correspond aux relations réfléchies $R(x, x)$ qui ne sont donc pas l'objet de notre analyse, c'est pourquoi nous neutralisons ses cases en les dessinant en gris.

| | Agent | C ₀ | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | C ₅ | C ₆ | C ₇ |
|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Agent | X | Sur | | | | | | | |
| C ₀ | Sous | X | Pred. | | | | | | Succ. |
| C ₁ | | Succ. | X | Pred. | | | | | |
| C ₂ | | | Succ. | X | Pred. | | | | |
| C ₃ | | | | Succ. | X | Pred. | | | |
| C ₄ | | | | | Succ. | X | Pred. | | |
| C ₅ | | | | | | Succ. | X | Pred. | |
| C ₆ | | | | | | | Succ. | X | Pred. |
| C ₇ | | Pred. | | | | | | Succ. | X |

6 - Produit cartésien des relations entre les objets du monde

Maintenant analysons les relations *agent-support* (ligne jaune et colonne magenta). Au préalable, nous avons délibérément dimensionné l'agent à la taille du support ; de plus nous sommes dans un domaine discret, alors l'agent ne peut pas être à cheval sur plusieurs cases, et réciproquement une case ne peut pas contenir plusieurs agents. Ainsi la relation *agent-case* se réduit à une case unique : **elle est univoque**. Nous analysons seulement la relation *Sur (Agent, Case₀)* et/ou sa relation réciproque *Sous(Case₀, Agent)*. Puisque le pion est posé sur une seule case, selon cette

représentation analytique, la quantité d'information est nettement moindre : elle se réduit une relation *sur* et à sa réciproque *sous*.

Ensuite, regardons les relations au sein du support (le cycle de cases), ce sont des rapports de proximité entre les lieux (les deux triangles colorés en cyan). Au préalable, nous avons délibérément choisi une organisation ordonnée des cases. Nous les orientons dans le sens croissant et ne gardons que les relations les plus significatives : il ne reste donc que celles de *prédécesseur* et *successeur*. Cela suffit pour obtenir une information pertinente.

Mais, nous constatons que le tableau obtenu est creux. Alors, pour obtenir une information synthétique, nous la condons en fournissant à l'utilisateur seulement la liste des relations vérifiées et significatives. Finalement l'information pertinente se réduit à cette liste : C_0 précède C_1 , C_1 précède C_2 , et de façon générale C_i précède C_{i+1} . Note : de façon parallèle, on pourrait travailler avec la relation réciproque *succède*.

Conclusion :

À ce stade, nous avons décrit l'état du monde en compréhension, au moyen d'une liste de relations entre ses composants.

Représentation séquentielle : le procès consiste en une transition d'état du système

Seconde étape dans la démarche d'analyse : une scène dynamique pour représenter le mouvement

Ensuite, dans un second temps, quand, à chaque impulsion de chargement du registre, le système change d'état, nous passons à une seconde démarche et l'analysons alors dynamiquement. Afin de fournir à l'utilisateur, une représentation en compréhension de son état, nous ne pointons que les faits significatifs, i.e. nous ne signalons que les relations qui changent au fil du temps. Évidemment le support, le cycle de case, est statique, rien n'y bouge ; donc il nous reste seulement à analyser les relations agent-support.

Ainsi, au départ de la simulation, lors de la première impulsion, dans la description du monde, la relation *Sur (Agent, Case₀)* disparaît et devient *Sur (Agent, Case₁)*. Finalement nous généralisons le processus et décrivons ainsi le système : à l'étape n+1, *Sur (Agent, Case_n)* disparaît et devient *Sur (Agent, Case_{n+1})*, ce qui se verbalise : *L'agent quitte la case_n pour aller sur la case_{n+1}*.

Conclusion : Le procès est décrit comme un changement de relation entre les composants du monde

Dans le cadre des SF l'état du système se réduisait à un symbole et les règles le réécrivaient pour changer cet état. Nous avons nommé *procès* cette opération.

Par contre, maintenant, dans le cadre des agents situés, l'état du système se décrit par la liste des relations entre les objets du monde. Alors, quand ce système change d'état, à chaque cycle, le procès y change quelques relations.

Dans notre exemple, le procès est décrit synthétiquement comme un changement de position du pion

Prenons l'exemple de notre agent situé construit avec un séquenceur en cycle sur 8 cases ; l'état du système s'y réduit à la relation *agent sur case*. Ensuite, dans le cadre de la simulation, ce système change d'état, et pour décrire cette scène de façon synthétique, nous focalisons sur cette relation et verbalisons : à chaque cycle, le procès change la relation pion/support, il déplace l'agent sur son support, i.e. il passe le pion à la case suivante.

Suite de la description du fonctionnement axiomatique du procès résultant

Maintenant décrivons le procès de l'agent sur un manège

À ce stade nous savons que dans le cadre des agents situés, nous représentons le procès sur le monde par une variation des relations au sein de ses composants. Maintenant nous allons décrire plus précisément le procès qui intervient particulièrement dans notre exemple : l'agent dans un cycle de lieux, i.e. le pion sur un manège de cases.

L'agent sur une piste de cases introduit une grande régularité du support et des objets

Focalisons sur cet exemple, la transition *séquenceur* → *agent situé* y est très cadrée, ce qui induit une grande régularité dans le domaine. Comme dans les jeux digitaux, nous introduisons des support réguliers : nous plaçons les agents sur la piste d'un manège, i.e. un cycle de 8 cases rebouclées.

De plus, la relation que le pion entretient avec son support est elle aussi très régulière, elle est digitale : il est sur le lieuA ou le lieuB, i.e. il est forcément sur une case mais pas à cheval sur les deux.

En fait, nous choisissons un cadre encore plus contraint. Nous aurions pu prendre un pion fabriqué en assemblant plusieurs pions unitaires. Mais nous prenons à dessein, un pion juste à la bonne taille : une case ne peut pas contenir plusieurs pions, et réciproquement, un pion ne peut couvrir plusieurs cases.

Enfin, les objets eux-mêmes sont très réguliers, au point qu'au sein de la même classe il sont d'aspect identique et produisent le même effet. Ainsi l'agent ne les distingue pas : il confond lieuA et lieuB et ne voit qu'un lieu. De même, il confond matière1 et matière2 et ne voit que de la matière.

Description des traitements et procès

Le traitement digital induit une régularité du domaine

Nous sommes dans les SF, alors par essence, le domaine est très régulier car les composants du monde et le traitement qu'ils y subissent sont digitaux.

Conséquence : le traitement devient générique, il cesse d'individualiser les objets et les confond

En plongeant un SF dans un monde concret, les éléments du domaine deviennent les objets d'un monde digital. Quand on y place des objets de différentes classes, puisqu'ils ont tous la même taille unitaire, on leur ajoute un type qui permet de distinguer leur nature.

Ainsi la perception de l'agent change. Contrairement aux SF, il ne voit plus un symbole qui étiquette un objet unique, mais il perçoit uniquement un objet différencié seulement par son type, par exemple il ne voit qu'un lieu, i.e. un objet anonyme, membre de la classe des lieux.

Puisque les objets ne sont pas individualisés : l'actionneur ne voit et traite que des lieux ou des matières indistinctes, alors le traitement effectué est général à la classe.

Procès à effet local sur les objets du monde

Un agent situé sur notre manège de cases exécute des actions réduites par l'effet d'horizon : leur portée se limite à la case en face.

L'action du pion dans le manège se réduit à une variation de lieu

Au début, les seules relations existantes sont des relations de lieu. Donc les seules actions effectuées sont des actions de variation de lieu. L'actionneur est monté sur l'agent qui lui n'est fixé à rien ; alors quand cet effecteur est activé, l'agent bouge et passe à la case suivante.

Définissons δ la fonction de transition responsable du procès

Dans sa prise de décision, comment l'agent appréhende-t-il les objets du monde ?

Introduction d'une perception locale

Les perceptions de l'agent sont limitées dans leur direction et leur portée. À dessein, il regarde droit devant lui et son horizon se limite aux objets les plus proches. Finalement, il ne perçoit que la case devant lui.

L'agent utilise les déictiques pour caractériser les objets qu'il traite

De plus l'agent présente un comportement déictique. Pour caractériser cet objet qui est devant lui, il emploie une variable x , qui pour lui signifie *l'objet, qui est devant moi*. En fait, cette terminologie implique une double déictique : d'abord une déictique classique *moi* pour parler de lui-même. Ensuite la déictique *l'objet qui est devant* caractérise l'objet du traitement en considérant qu'il se tient dans le lieu focus, la case qui est juste devant l'agent.

Comment la règle décrit-elle l'action ?

L'action devient générique : sa formulation comprend des variables

En passant de séquenceur à agent situé, le procès sur le monde change. Contrairement aux règles de réécriture des SF, où l'opération agit sur un symbole pour le remplacer par un autre, ici l'agent traite seulement un objet typé, une instance de classe, qui se tient dans son environnement. Et comme, à dessein, le monde est très régulier, les objets traités par l'agent situé sont du même type, alors l'action devient indifférenciée : la même action est appliquée à toutes les instances de la classe.

Le mode d'action de l'agent situé est le procès : changer quelques relations au sein du monde

Dans la définition initiale du séquenceur, $\delta : Q \rightarrow Q$, la fonction de transition est donnée par la table/dictionnaire à une entrée Q . $\delta : 0 \rightarrow 1, 1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 3, 3 \rightarrow 4, 4 \rightarrow 5, 5 \rightarrow 6, 6 \rightarrow 7, 7 \rightarrow 0$.

Mais maintenant nous sommes dans le cadre des agents situés. Au début la relation au monde sera non destructrice. Il ne s'agit pas de détruire de la matière (ou d'en faire apparaître). Le premier mode d'action est le changement de relation de lieu. Elle est simple, elle s'exécute simplement au moyen d'un outil : l'effecteur.

Une règle suffit à décrire le procès du pion sur le manège

Nous avons déjà montré que, dans ce cadre construit à dessein, très peu de procès, de règles sont possibles. Dans ces premières simulations d'agents situés, de pion sur un manège, nous travaillons seulement avec la classe des cases, alors une unique règle suffit.

Maintenant, pour cet agent situé, au fil du temps, la base de règle pourrait s'écrire ainsi :

$Sur (Agent, Case_0) \rightarrow Sur (Agent, Case_1)$ // règle applicable au temps 1

$Sur (Agent, Case_1) \rightarrow Sur (Agent, Case_2)$ // règle applicable au temps 2

...

Mais nous avons clairement établi que les $Case_i$ sont identiques, alors, rapidement, il apparaît toutes ces règles peuvent se condenser dans l'unique formulation suivante :

$Sur (Agent, Case_n) \rightarrow Sur (Agent, Case_{n+1})$ // sous cette écriture, nous obtenons une formule récurrente

Le cadre si régulier où nous travaillons, elle suffit à décrire le traitement à effectuer. À ce stade nous venons d'introduire le procès, puis de le décrire, définir, de façon univoque.

Nous ne définissons pas F l'ensemble des états finals...

... car *tourne manège* : le cycle se referme sur lui-même et boucle indéfiniment : il n'y a pas d'état final proprement dit.

Implémentation de l'architecture interne de l'agent situé

Nous devons maintenant préciser l'architecture interne du pion, afin de décrire comment il traite l'information et aussi son mode d'action.

Introduction d'un actionneur

Implémentation d'un actionneur au sein du pion

Pour construire cet agent situé nous introduisons un actionneur qui induit un effet sur l'extérieur, il a pour rôle d'effectuer le procès, i.e. de changer la relation du pion au monde (à son support) : il effectue l'action $Sur (Agent, Case_n) \rightarrow Sur (Agent, Case_{n+1})$.

Concrètement, nous savons qu'il s'implémente en fixant l'actionneur sur l'agent, qu'il touche la case. Ainsi quand il est activé, puisque la case est immobile et l'agent libre alors ce dernier bouge.

Question méthodologique : ce processus est-il valide ?

Ici, nous quittons les AF du monde mathématique abstrait pour aller vers les agents informatiques qui simulent des êtres de la vie quotidienne. En informatique, ce processus de passage depuis la théorie vers une démarche pragmatique, est commune. Par exemple, on y construit déjà des automates enrichis et des automates à registres en ajoutant aux AF des effecteurs et des mémoire. Donc, ici, fabriquer un agent situé en ajoutant un actionneur à un automate ne constitue pas une hérésie.

Cependant cet ajout marque la transition entre automate fini et agent, car étymologiquement *agent* vient de *agere* qui veut dire *agir*.

Étape de perception et de décision pour piloter l'actionneur/effecteur

À chaque cycle l'agent passe à la case suivante. Il tourne dans un manège dont la structure est très régulière. Mais comment se fait l'activation de son actionneur ? En fait, il n'a pas besoin de capteur/senseur pour scruter le monde extérieur afin de décider de l'action : son effecteur est actionné, activé perpétuellement. En conclusion, à chaque cycle, l'action est exécutée inconditionnellement.

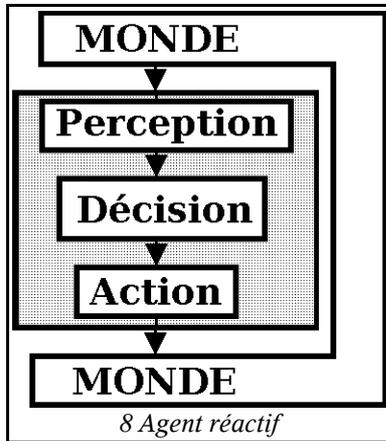
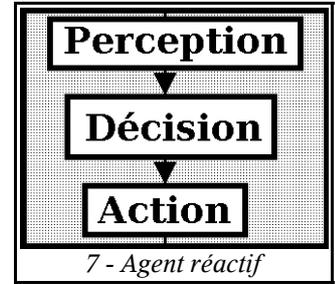
L'agent réactif

Dans le cadre de cet exposé, nous avons disséqué la transition qui part de l'AF et va jusqu'à l'agent situé. Afin d'obtenir un outil pédagogique simple, nous avons vidé le modèle de tout le superflu. Puis nous y avons introduit juste le minimum nécessaire pour construire le plus simple des êtres : l'agent réactif.

Définition, présentation de l'agent réactif

L'entité réactive agit selon le schéma *stimuli* → *réponse*

Utilisons les critères de la psychologie expérimentale, pour décrire, définir le comportement des êtres réactifs. L'entité réactive est behavioriste (comportementaliste). Elle agit selon le schéma *stimuli* → *réponse*.



Présentation d'un agent réactif situé

En situation dans le monde, l'entité réactive réagit. Pour chaque situation, elle effectue une action : à chaque unité élémentaire de temps, elle perçoit son environnement, et en fonction de ce stimulus elle répond, elle agit : au moyen d'un réflexe, elle effectue le geste adapté, en activant un de ses actionneurs.

L'agent situé possède des capteurs pour percevoir l'environnement où il se tient. Au vu des stimulations qu'il perçoit, il analyse la situation et prend une décision consistant à changer l'ordonnancement du monde.

Pour cela, il effectue un procès, i.e. il change sa propre relation à son support. Il peut encore changer la relation qui lie une autre pièce du mobilier au support ; par exemple, il déplace un obstacle ou mange de la nourriture.

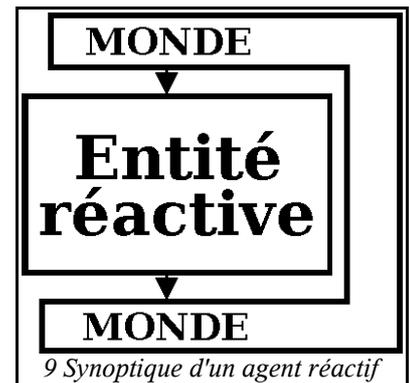
Finalement on obtient le synoptique, ci-dessous, à droite, qui représente l'entité réagissant dans le monde.

L'agent réactif vit dans l'immédiat : il est inconséquent

L'agent réactif vit dans l'instant, pour chaque situation perçue, il effectue une action réflexe, qui n'est pas inscrite dans la durée : il ne se projette pas dans le futur, il ne déroule pas de séquence thématique sur plusieurs étapes : il vit seulement au jour le jour.

Comportement = Σ (stimuli → réponse)

Ainsi, selon un point de vue macroscopique, le comportement d'un être réactif demeure pointilliste : il est constitué de l'ensemble de chaque réponse instantanée fournie à un chaque stimulus perçu.



Contre-exemple : Agents intentionnels (finalistes et cognitifs)

Afin d'aider le lecteur à cerner le profil de ces agents réactifs, présentons leur contre-exemple : les agents intentionnels qui ne peuvent vraiment pas être aussi spontanés et inconséquents car ils sont à la fois finalistes et cognitifs.

Un agent finaliste forme des projets qu'il mémorise, et il planifie ses actions en fonction des buts qu'il s'est donné. Doté de mémoire et de capacités de traitement de l'information, il ne peut pas être réactif.

Un agent cognitif possède et entretient une représentation de son monde. Doté d'une mémoire complexe, il ne peut pas être réactif.

Les agents intentionnels ne peuvent vraiment pas être réactifs car ils sont à la fois finalistes et cognitifs. Ils forment des buts et utilisent la connaissance qu'ils ont de leur monde pour planifier leurs actions.

Procès, but et action d'un agent réactif

Nous avons vu que l'agent effectue un procès au moyen de ses actionneurs, il change l'ordre du monde : il fait varier sa relation à son support, ou change la relation qu'un autre objet entretient avec le monde. Selon des critères épistémologiques, nous ne pouvons appeler cette opération une action que si le procès qu'elle effectue est finaliste, i.e. que s'il est sous-tendu par un but.

Or l'agent réactif, par définition, n'est pas explicitement téléologique², il n'entretient pas de but puisqu'en son sein, aucune mémorisation de cette sorte n'est effectivement implémentée. Cependant, on peut employer le terme d'*action* pour décrire ses actes, à condition que cet être agisse implicitement pour un but, i.e. si on pense que le procès qu'il effectue est sous-tendu par une finalité implicite, indirecte.

2 Finaliste ; orienté, sous-tendu vers un but.

Par exemple, ce but apparaît indirectement dans le cadre de la vie artificielle (VA) où les agents sont en position de survie ou de compétition sur un support. Ce but peut apparaître très indirectement dans le design de simples agents réactifs juste parce que leur concepteur a sous-tendu leur organisation vers un objectif ou un simple souci d'efficacité. Par exemple si un être se tourne vers la nourriture et la mange, il peut très bien présenter la structure d'un simple agent réactif, mais dans ce cas, on considère sans l'ombre d'un doute, que son organisation est sous-tendue par le désir de manger.

Ainsi, dans certaines conditions, cet être non-intentionnel possède déjà un sens, une sémantique et on peut considérer son procès comme une action.

En conclusion, quand nous travaillons avec des agents réactifs conçus de façon cohérente, nous pouvons dire qu'avec leurs actionneurs, ils effectuent des actions.

Bilan et conclusion :

Les bases d'une reconstruction

Dans un souci pédagogique, nous sommes partis d'un modèle très dépouillé. Nous y avons introduit juste le minimum nécessaire pour construire un agent réactif tropique.

Ensuite, dans ce cadre, nous avons tellement contraint le monde, qu'il ne reste plus qu'une action possible à l'agent : *avancer*. Nous obtenons le plus simple des êtres : un agent qui tourne en rond sur la piste d'un manège.

Perspective à terme : construire en couches progressives vers les agents intentionnels

Partant de cette simple base, nous disposons maintenant d'un outil formel pour nous lancer dans une démarche constructive déterministe : en libérant progressivement les contraintes imposées par ce cadre initial, nous allons modifier la structure interne du monde et de ses êtres. Au moyen de ce mécano, nous allons construire notre agent en couches concentriques.

À terme, ceci donnera naissance à différentes forme d'activités chez les agents. Ainsi, au fil du temps, nous allons fabriquer progressivement, des agents tropiques, pulsionnels, finalistes. Nous finirons cette exposé en évoquant des agents intentionnels, plus puissants et plus complexes car finalistes et cognitifs.