

# Trois critères pour classer quatorze mouvances de l'IA

## Quelles sont les orientations qui guident ce cours d'IA (intelligence artificielle) ?

### Introduction

La grosse difficulté et l'aspect formidable<sup>1</sup> de l'IA est qu'en plusieurs domaines, elle touche à la dimension humaine (cognition, psychologie, linguistique, philosophie, sociologie, neurologie...). En conséquence, toutes ces disciplines se mettent difficilement en équations. C'est pourquoi, afin d'éviter les discussions philosophiques qui tournent en rond jusqu'au bout de la nuit, ce cours essaie de classer quelques mouvances de l'IA dans un tableau, selon trois critères.

### Ensuite une classification des agents basée sur leur structure interne

Puis, au sein des cases du tableau obtenu, nous affinons notre classement en fonction de la structure interne des systèmes ou des agents. En fait, nous n'utilisons pas exactement l'outil mathématique et sa notation formelle, mais une démarche dérivée : au sein de chacune de cases du tableau, nous classons les agents ou les systèmes utilisés selon leur structures corporelles (soma), neurales (psyché) ou informatiques.

### À chaque étape, classer les comportements induits chez les êtres

Ainsi, au sein de chaque case du tableau, nous construisons progressivement l'être, le groupe ou le système en ajoutant des couches concentriques. Au fil de cette reconstruction, nous analysons quels comportements elle induit chez eux. Et nous cherchons ensuite à classer, les attitudes, fonctionnements et démarches induites.

## Trois critères pour classer certaines mouvances de l'IA.

Ce poly présente synthétiquement l'IA au travers d'une classification de quatorze de ses mouvances. Son plan est obtenu en croisant trois critères, qui servent à baliser et même partitionner le domaine. Ce sont :

### 1) Représentation symbolique ou sub-symbolique

Le premier critère de partage est très net, il consiste en la question : la représentation de la connaissance de l'être (des êtres) est-elle symbolique ou sub-symbolique ?

### 2) La question des connaissances possédées à propos du monde

Le deuxième critère de partage est très net aussi. Il pose la question de la représentation des connaissances dans les êtres ou systèmes utilisés : possèdent-ils, à propos du monde, des connaissances explicitement écrites dans des mémoires accessibles, ou bien sont elles seulement codées indirectement au travers de leur comportement et de coutumes instinctifs ?

### 3) La question du déterminisme du traitement de l'information

Le dernier critère est moins net. Nous nous demandons si, au sein des êtres ou du système mis en scène, le traitement de l'information est déterministe ? La réponse est moins tranchée, ceci nous amène à déterminer jusqu'à quatre catégories :

- Le domaine est déterministe.
- Le domaine est non-déterministe à cause de la complexité, de l'importance de la combinatoire.
- Le domaine est non-déterministe à cause de la combinatoire et de l'effet d'horizon qui limite la perception des agents.
- En conséquence, on constate que le système non déterministe commence à apprendre : il reçoit de l'information de l'extérieur au travers de l'apprentissage ou de la communication.

### Note :

Ci-après, nous reprendrons plus largement la définition de ces trois critères.

---

1 Selon les deux sens de ce mot : merveilleux et effrayant.

## Définir les trois critères servant à classer les différentes mouvances de l'IA

### Critères 1 : quelle représentation est utilisée dans la mouvance (symbolique/sub-symbolique)

Le premier critère utilisé pour classer les différentes mouvances de l'IA est celui de la représentation de l'information : est-elle symbolique ou sub-symbolique ?

#### Présentation et intérêt de la représentation symbolique en IA

##### Définition de la représentation symbolique

Cette notion est détaillée dans *chap020\_SymbolesPourSystèmesFormels*. Disons pour l'instant que pour représenter un concept, elle utilise un symbole formel, ce qui veut dire qu'il tire son sens de sa forme, comme la clé qui entre dans une serrure.

##### Introduction d'un concept d'épistémologie : *la mobilité des symboles*

Dans un ordinateur, par exemple, un symbole qui est dans l'accumulateur peut être présenté au bus de données, puis mémorisé dans la mémoire vive. Ainsi, il s'est dupliqué, et une de ses instances a traversé le bus et est allé s'inscrire dans la RAM. Ce phénomène s'appelle *la mobilité des symboles*<sup>2</sup>.

##### La grande mobilité des instances de symboles

Au travers du même bus plusieurs symboles différents peuvent circuler sans interférer. D'un côté on pourrait dire que les symboles ne peuvent circuler que le long des conducteurs électriques prévus à cet effet. Mais d'un autre côté, on peut considérer que, de cette façon, au moyen d'un bus de données, chaque symbole peut entrer et sortir à volonté de la mémoire RAM, et transiter vers l'unité arithmétique et logique, ce qui est amplement suffisant.

##### Note

Cette mobilité des symboles digitaux, qui se fait ici au travers du média électrique, n'est pas réservée à l'ordinateur. Par exemple, les mots du langage peuvent eux aussi se propager, de bouche à oreilles, au travers de l'air (un média acoustique).

De même, dans le cerveau, certains concepts semblent cheminer, aiguillés par les connexions entre les neurones. Mais, dans ce cas, il reste à déterminer s'il possèdent la nature de symbole ou de sub-symbole. Quand ils sont codés par des trains d'impulsions électriques ils ressemblent à des symboles. Quand il se réduisent à de simples niveaux électriques statiques, il constituent plus des sub-symboles.

#### Présentation et intérêt de la représentation sub-symbolique en IA

##### C'est une représentation câblée

Elle est basée sur un niveau électrique fourni par une fonction de décodage et acheminé par un conducteur.

##### Logique ou analogique

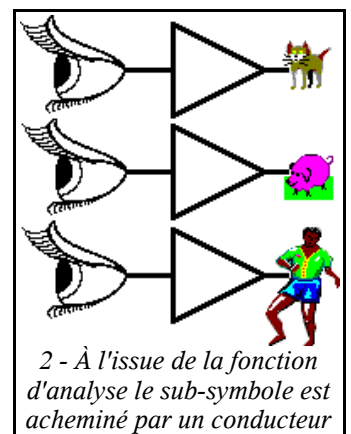
Ce niveau électrique qui code le signal peut être binaire quand il est décodé et fourni par une fonction logique combinatoire. Il peut être analogique quand il est décodé et fourni par un neurone.

##### Mobilité des sub-symboles

Donc, le sub-symbole correspondant court tout au long de ce conducteur. Ainsi sa mobilité se limite au câblage accroché au noeud qui le décode. Finalement, les sub-symboles sont moins mobiles que les symboles de la machine de Von Neumann.



1 - La serrure décode la forme de la clé



2 - À l'issue de la fonction d'analyse le sub-symbole est acheminé par un conducteur

### Critères 2 : quelles connaissances possède le système à propos du monde

Le deuxième critère utilisé pour classer les différentes mouvances de l'IA est celui du niveau de connaissance : quelle quantité et quelle structure de l'information est utilisée par le système ou chaque agent dans l'application ?

<sup>2</sup> En toute rigueur, on devrait dire : *mobilité des instances de symbole*.

## Avant de commencer, posons un préalable

### Le problème du contenu (en sémantique)

En informatique, la notion de contenu correspond à celle de la valeur donnée à une variable par l'opération d'affectation de la programmation. Dans le cours, nous utiliserons plusieurs gradations de ce lien *variable-valeur* :

- Symbole-quantité Ex : température-18,2.
- Symbole-symbole Ex : quelque\_chose-panier
- Symbole-liste de symboles Ex : boîte-(crayon craie dé)
- Symbole-prédicat Ex : Toto-sait → sur (panier, table)
- Symbole-arbre Ex : calcul-((1 + 2) \* (6 / 3))
- Symbole-Attitude propositionnelle Ex : Paul-sait → (papa-lieu → cuisine).

### Notion de forme enchâssée pour attitude propositionnelle

Maintenant, focalisons sur l'exemple de la dernière ligne *Paul-sait → (papa-lieu → cuisine)*. Il s'interprète en prose par *Paul sait que papa est dans la cuisine* et nous nommons cette structure une *forme enchâssée*. Elle est importante en IA car elle s'avère pratique pour représenter les contenus. Dans cet exemple :

- L'information, la proposition est *Papa est dans la cuisine*.
- Le prédicat *sait que* est le chas qui porte l'information, comme la griffe tient le bijou. En philosophie on l'appelle opérateur épistémique. On peut encore en trouver d'autres : *crain*, *désire*, *déteste*... Ils marquent les émotions de Paul, son état mental.
- Et finalement le symbole *Paul*, indique le propriétaire qui détient cette information : C'est Paul qui y accède pour la traiter, afin de générer sa conduite, en fonction de l'état mental indiqué par l'opérateur épistémique... Ainsi, chacun de ces états mentaux est interne au propriétaire indiqué par le premier symbole de cette structure.

### Le deuxième critère de la représentation des connaissances

À ce stade, nous avons précisé sous quelles formes pouvaient explicitement être codées l'information, i.e. la représentation des connaissances. Maintenant nous pouvons définir notre deuxième critère de partage. Lui aussi est très net. Il pose la question de la représentation des connaissances dans les êtres ou systèmes utilisés : possèdent-ils, à propos du monde, des connaissances explicitement écrites dans des mémoires accessibles, ou bien sont elles indirectement codées au travers de comportements et de coutumes instinctifs ?

### Application 1 : le codage implicite de l'information chez les agents réactifs

Paradoxalement, la première application de cette explication préalable à propos des contenus, est de distinguer les êtres qui ne l'utilisent pas. Nous les mettons d'un côté de la barrière, dans *le groupe sans savoir ni croyances*.

Par définition, les agents réactifs ne possèdent pas de savoir codé explicitement au moyen de ce lien contenu-valeur. Ils possèdent seulement un savoir implicite codé dans leur règles.

Par exemple, dans l'alternateur basé sur le monde de chevrons, l'agent qui a soif fixe son cap au sud. On en déduit qu'implicitement il sait que l'eau est disponible au sud.

### Application 2 : la forme enchâssée pour les Croyances, Désirs et Intentions

Ensuite, la deuxième application de cette explication préalable à propos des contenus, permet de distinguer les êtres qui l'utilisent. Nous les mettons de l'autre côté de la barrière, avec ceux qui possèdent des *croyances*.

En intelligence artificielle distribuée (IAD), nous focalisons sur les agents munis de représentations CDI (croyance/savoir, désirs/but et intentions/projet/programme) :

#### Chez les *agents Croyances*, les savoirs deviennent des croyances

Par exemple, si un agent a enregistré la forme enchâssée : *Toto-sait → (panier-sur → table)*, elle s'interprète : *Toto sait que le panier est sur la table*. On est en présence d'un *agent Savoir*, i.e. un agent qui possède un savoir.

En fait la différence entre savoir et croyances est ténue. Pour un observateur externe omniscient, quand un agent est susceptible de se tromper, il cesse d'être un *agent Savoir* pour devenir un *agent Croyances* :

En conclusion, si un agent mémorise la forme enchâssée : *Toto-croit → (panier-sur → table)*, elle s'interprète : *Toto croit que le panier est sur la table*. Alors on se trouve en présence d'un *agent Croyances*, i.e. un agent qui possède des croyances.

#### Un *agent Désirs*, forme des buts, des désirs

Par exemple, si un agent a enregistré la forme enchâssée : *Toto-désir → (panier-sur → table)*, elle s'interprète : *Toto a pour désir que le panier soit sur la table*. On est en présence d'un *agent Désirs*, i.e. un agent qui formule in petto<sup>3</sup> un désir sur l'état du monde (ou sur lui-même i.e. à propos de son propre corps).

#### Chez les *agents Intention*, les intentions deviennent des programmes, des projets

Par exemple, si un agent a enregistré la forme enchâssée : *Toto-Intention → (av(10); Pose(Panier))*, elle s'interprète : *Toto a pour projet d'avancer de 10 pas et de poser le panier*. On est en présence d'un *agent Intention* dont le planning est *d'avancer de 10 pas et de poser le panier*.

3 En son for intérieur, dans sa conscience, au fond de soi.

En conclusion, un *agent Intention* possède un planning qui forcément lui est utile ; donc il sait toujours interpréter son planning

Remarque : Le planning des *Agents Intention* provient soit d'un supérieur auquel ils obéissent, soit de leur propre production car ils sont capables de planifier leur activité.

### Critère 3 : comment positionner cette mouvance en rapport avec le déterminisme

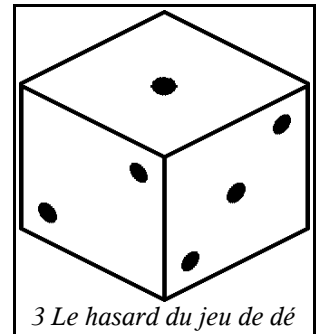
Le troisième critère qui nous sert à classer les différentes mouvances de l'IA est le positionnement des agents ou systèmes simulés par rapport au déterminisme. Donc, nous allons d'abord expliquer ce que nous entendons par *déterminisme*.

#### Définition classique et générale du déterminisme et de l'indéterminisme

##### Définissons ces deux concepts dans le cadre des mathématiques

En mathématiques, une fonction  $y = f(x)$  est déterministe, si, pour chaque valeur de la variable  $x$  fournie en entrée, elle rend toujours la valeur correspondante en sortie  $y$ . Par exemple, la fonction carré d'un nombre entier est déterministe ; l'appel à *carré* (5) retourne toujours 25 ;

Par contre en mathématiques informatiques, la fonction  $x = random(x)$  est non-déterministe, car, même si on lui fournit toujours la même valeur  $n$  elle rend seulement un nombre pris au hasard entre 0 et  $n-1$ .



##### Définissons ces deux concepts dans le cadre du comportement des agents situés

Notez que cette construction informatique qu'on nomme *automate*, ou *automate fini*, ou encore *automates à états finis*, s'appelle effectivement *AFD* (Automate Fini Déterministe). Ici le terme *déterministe* exprime que le changement d'état de l'automate est sans ambiguïté : il produit des transitions déterministes.

De même, dans le domaine des agents qui est relativement proche de celui des automates, si un agent, placé dans une situation donnée, pilote sans ambiguïté chacune de ses actions à effectuer, alors on dit qu'il est déterministe : il présente un contrôle (ou un pilotage) déterministe de ses actions. Un expérimentateur qui le place dans la même situation constate qu'il effectue toujours la même action.

##### Définissons ces deux concepts dans le cadre des systèmes informatiques

Si un système informatique est initialisé dans les mêmes conditions de départ, et si on constate qu'il effectue un traitement similaire, i.e. si ses états internes évoluent toujours de la même façon, et s'il produit le même traitement procédural et rend le même résultat fonctionnel, alors on dira qu'il est déterministe.

Sinon il semble aléatoire, mais nous dirons seulement qu'il est non-déterministe, ceci afin de ne pas oublier un état intermédiaire, l'état chaotique. En effet, en épistémologie, on distingue, dans l'ordre, les trois domaines suivants : celui du hasard, puis celui du chaos et enfin celui du déterminisme.

### La fin du déterminisme : introduction du non-déterminisme

#### La sensibilité aux conditions initiales des systèmes analogiques

En physique, les systèmes sont souvent décrits au moyen de variables et paramètres réels.

Les systèmes déterministes, une fois lancés avec les mêmes conditions initiales décrivent la même courbe. Par exemple, une décharge de capacité, de self ou le refroidissement d'un corps par conduction décrivent une exponentielle décroissante, asymptotique vers la valeur 0.

Par contre certains de ces systèmes sont dits non-déterministes, quand une petite modification de leurs conditions initiales induit, à terme, des comportements très différents et parfois divergeants.

Par exemple, c'est le cas des systèmes de prévision météorologique, cet aspect découvert par Edward Lorenz, est connu sous le vocable *Effet aile de papillon* : i.e., à l'extrême, dans un système instable, un battement d'aile de papillon au Brésil suffirait à générer une semaine plus tard, une tornade au Texas ! Mais s'il était effectué avec un petit décalage (dans le temps ou dans l'espace) ses conséquences seraient différentes (le système évoluerait différemment).

#### Introduction : présentons maintenant les trois catégories déterminées par ce critère

Dans notre grand tableau, nous cherchons à classer les différentes mouvances de l'IA. Nous avons déjà décrits les deux premiers critères, et précisé que le dernier est celui du *déterminisme*. Il se décompose en quatre catégories que nous allons présenter maintenant.

#### Catégorie 1 : à cause de la complexité du système, son temps de réponse est long

Dans certaines mouvances de l'IA, la complexité des systèmes traités induit un temps de réponse long. C'est par exemple le cas des simulations réalisées avec les agents rationnels.

Parfois les agent *rationnels* réfléchissent longtemps avant d'agir

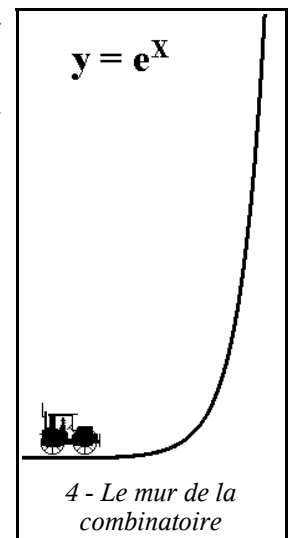
Contrairement aux agents réactifs, les agents rationnels ne décident pas instantanément l'acte à effectuer en adressant un tableau d'action ou en déclenchant une règle de comportement. Plus complexes, ils appellent des sous-programmes pour élaborer dynamiquement, par calcul, le comportement à tenir. Ce traitement prend du temps.

L'agent rationnel est non-déterministe car la complexité du traitement laisse croire que l'ordinateur est planté

Dans le cas de simulations complexes, le nombre de paramètres est grand. Le programmeur ne peut coder, de façon déterministe, tous les comportements possibles des acteurs. Alors il utilise la programmation déclarative, et n'a plus qu'à écrire les règles de génération de comportement par les agents. Mais l'agent analyse un très grand nombre de paramètres pour générer son comportement. Alors, pour se décider, il met parfois beaucoup de temps, et on dit qu'il butte sur le mur de la combinatoire. Le problème est que l'expérimentateur peut le croire planté, et parfois en conclure qu'il ne fonctionne pas, i.e. qu'il présente un comportement aléatoire.

On peut faire le parallèle avec les mathématiques. En théorie de la démonstration, si un théorème ne peut pas être démontré dans un temps fini, on n'en déduit pas qu'il est faux, mais on le qualifie d'*indécidable*.

En épistémologie, entre la notion de déterministe et aléatoire, on utilise le vocable *chaos déterministe*. En IA, on peut donc dire que le système est *chaotique*.



## Catégorie 2 : agents non-déterministes à cause de la complexité de la simulation

Un agent peut être non-déterministe à cause de la complexité de la simulation. Cette situation peut avoir plusieurs raisons : elle met en scène beaucoup d'agents, ou alors des êtres complexes, ou encore elle effectue un riche traitement de l'information.

Considération 1 : l'agent rationnel est non-déterministe car son comportement n'est pas pré-déterminé dans une table

Soit le cas d'un agent dont le comportement est régi par une table, à la manière d'un automate fini. Quand le traitement à effectuer devient complexe, il porte sur plusieurs paramètres, et la combinatoire de la table explose : il faut absolument la remplacer par des règles ou des sous-programmes.

Dans ce cas, on peut considérer que l'agent rationnel présente un fonctionnement non-déterministe, dans le sens où son fonctionnement n'est pas *déterminé à l'avance dans une table* puisqu'il le synthétise dynamiquement : il le calcule au moment voulu.

Considération 2 : la complexité du domaine induit un manque d'information chez l'observateur

Si un agent est déterministe, alors souvent, il possède un registre restreint d'action et par conséquent il analyse un petit nombre de paramètres avant de décider. Un expérimentateur qui le place dans la même situation constatera qu'il effectue la même action.

Si, avant de élaborer son action, un agent analyse un grand nombre de paramètres, alors il possède un comportement varié qui ne peut être codé dans une table : il ne peut être que généré dynamiquement. Un expérimentateur, qui désire le tester plusieurs fois dans la même situation, risque parfois de manquer un ou deux paramètres significatifs. Alors il constate que l'agent effectue à chaque fois des actions différentes ou imprévues. Il en déduira, un peu hâtivement, que l'agent présente un fonctionnement aléatoire.

Dans certaines simulation, l'agent peut être non-déterministe, non pas parce que accidentellement, il lui manque quelques paramètres ; mais parce que ce déficit d'information est intrinsèque au domaine ou à la simulation. C'est le cas quand cet agent dispose d'une perception de qualité moindre. Par exemple, à cause de l'effet d'horizon, il peut posséder une vision limitée de son environnement. L'effet d'horizon induit un non-déterminisme de l'agent.

## Catégorie 3 : agents non-déterministes car ils utilisent des stratégies pour élaguer dans la combinatoire

Quand le domaine à traiter devient riche. L'agent doit traiter une perception si exubérante, qu'il doit utiliser des méthodes empiriques (heuristiques ou logique floue). Ainsi il présente un contrôle non-déterministe : par exemple, au lieu d'utiliser des règles absolues, il en utilise des pondérées ou floues.

Ainsi, on dit que l'agent est empirique, qu'il n'est plus déterministe (à cause son pilotage). De plus ceci se traduit dans les mots et on dit qu'il n'est plus capable de calculer une tactique (déterministe), mais seulement une stratégie (empirique, aléatoire).

## Apparition de la démarche d'apprentissage

### Catégorie 4 : La démarche d'apprentissage apparaît seulement chez les agents non-déterministes

Nous avons décrit des agents non-déterministes. Ils le sont pour différentes raisons : leur connaissance du monde est partielle ou le traitement qu'ils effectuent est empirique.

Pour éprouver le besoin d'apprendre, un agent doit être imparfait. En effet, s'il possède une connaissance entière du monde et raisonne parfaitement, alors il ne peut pas s'améliorer. Ainsi apparaît la notion d'apprentissage, qui, en fait, découle de cette imperfection.

Ensuite et concrètement, quand un agent empirique est doté d'un méta-regard et possède les structures nécessaires pour apprendre, s'il est mis en situation dans un monde sélectif, alors il ne tarde pas à le faire. Lemme : avant de continuer, définissons de nouvelles notions

## Le méta-regard

### Définition de la réflexivité (en informatique) et du méta-regard

Globalement, en informatique, un être est dit réflexif s'il accède à sa propre représentation et à son propre traitement de l'information. Cette propriété très puissante, peut prendre plusieurs aspects, plus ou moins significatifs :

#### Porter son regard sur ses propres connaissances

Nous avons déjà introduit de la notion d'information en IA : un être mémorise une information à propos du monde ou de son mobilier. Ensuite il la *regarde* : il la lit, il la traite. Disons que c'est ici la notion de *regard* sur une information. Maintenant allons encore plus loin, analysons ce qu'il en fait quand il la lit, voyons comment il l'interprète.

#### Définition du méta-regard à partir de l'étymologie

Selon la définition étymologique, le méta-regard, c'est ce qui dépasse le regard, disons qu'il englobe le traitement, qu'il le regarde globalement.

#### Définition du méta-regard selon l'IA

En informatique, un être réflexif est doté d'un méta-regard s'il accède à son propre traitement de l'information, i.e. s'il peut se placer comme spectateur de sa propre réflexion, du déroulement de l'action qu'il teste et pilote : il peut ainsi changer sa gouvernance.

#### Exemple 1 : Analyse du déroulement de l'action

Analysons la simulation d'une action dans le monde. Cela consiste à modifier une relation entre le monde et un élément de son mobilier. Par exemple, dans la simulation d'un monde constitué de pions sur un damier, cela consiste à changer la position d'un pion.

Regardons ce qui se passe quand l'agent pousse une pièce vers la case suivante. À un niveau microscopique, il possède des capteurs d'effort et de mouvement. Supposons que par exemple il en reçoive les retours suivants : *une force est exercée sur la pièce et l'accélération de la pièce est nulle*. Son étage de méta-regard analyse la situation et conclut : *la pièce est bloquée*.

Remarque 1 : Un tel être est plutôt assez performant, en effet, il existe plusieurs types de méta-regard, et nous verrons qu'on peut disposer d'une forme moins puissante, mais tout de même intéressante. Pour ce faire, on utilise des systèmes qui ont seulement accès au résultat (ex : *panier-sur → table*) ; ou à l'évaluation de leur traitement<sup>4</sup> (ex : coût : 2). Cela suffit parfois à élaborer des agents capables de comportements intéressants.

Remarque 2 : Nous avons focalisé sur l'analyse du déroulement de l'action. Mais, ensuite, après cette analyse, l'agent est aussi capable de piloter conséquemment l'action. Il peut simplement l'inhiber (l'arrêter). Il peut aussi modifier sa programmation et la recommencer.

#### Ex 2 : Évolution artificielle, l'analyse de l'efficacité des actions effectuées donne accès à un résultat binaire

Dans une simulation qui fait vivre des agents sur une grille, le système accède seulement au résultat de la cueillette effectuée par chaque agent, et inéluctablement, si ce dernier ne trouve pas à manger, le simulateur le fait mourir. C'est là une rétro-action bien légère, et, en conséquence, un méta-regard très ténu, mais il peut suffire à faire émerger des agents très adaptés. D'ailleurs c'est un des grands intérêts des techniques d'*évolution artificielle*, qui simulent un darwinisme.

#### Exemple 3 : Calcul de l'erreur absolue dans un traitement

Regardons maintenant le cas du réseau de neurones multicouche classique<sup>5</sup>. Le méta-regard est basé sur l'accès à une erreur scalaire vectorielle. Ici, le système évalue la qualité du traitement qu'il effectue : il calcule l'erreur qu'il fait entre le vecteur qu'il fournit en réponse et la valeur de consigne qu'il devrait fournir. Ainsi, munis d'une telle fonctionnalité, les réseaux de neurones dotés de la rétropropagation de l'erreur, effectuent des apprentissages performants.

---

4 Voir, ci-après, l'exemple à propos de l'évolution artificielle

5 Les réseaux de neurones multicouches de Hopfield et Hebb.

## Second lemme : définir les critères intrus, dans cette classification

### Introduction

Certains critères, que nous n'avons pas convoqués initialement, se sont invités dans cette classification. Pour la clarté de l'exposé nous les précisons maintenant.

### La dimension temporelle

Elle correspond à l'introduction du temps dans le modèle. Nous utilisons toujours un grain de temps discret :  $t_0, t_1 \dots t_n, t_{n+1}$ . Elle est implémentée en introduisant un registre qui mémorise l'état du monde et une fonction qui calcule le nouvel état.

Nous la notons : *dimension temporelle*, mais quand la place disponible diminue, nous l'abrégeons en *dimens° temps* et même en *dim tmps*.

### Le parallélisme

Elle correspond à la notion de groupe qui apparaît quand nous introduisons les systèmes multi-agents dans notre modèle, et que nous simulons plusieurs agents qui interagissent en parallèle.

Nous la notons : *N agents en parallèle*, mais quand la place disponible diminue, nous l'abrégeons en *N agents en //* et même en *N agents //*.

### Le contexte local et le contexte global

Nous distinguons les notions de contexte local et global. Ce faisant, nous retompons sur la hiérarchie de Noam Chomsky et les différents type de grammaires et les automates/machines correspondantes qui les traitent.

Type	automate/machine	langage/grammaire	contexte
4 <sup>6</sup>	Séquenceur	$a \rightarrow b$ , un symbole se réécrit en un autre symbole	pas de ctxt
3	Automate à états finis	Langage réguliers	pas de ctxt
2	Automate à pile	Grammaire hors contexte	pas de ctxt
1	A. linéairement borné	Grammaire contextuelle	ctxt local
0	Machine de Turing	Langage naturel	ctxt local+global

Le fait d'aborder ici la notion de contexte nous amène à traiter de la visibilité des variables dans notre modèle, et le passage, la transmission au fil du temps des instanciations correspondantes :

- Type 2 : Quand il n'y a pas de contexte, il n'y a pas d'instanciation, pas de variable.
- Type 1 : Quand nous sommes dans un lieu donné, i.e. *dans un contexte local* donné, toutes les variables locales de cet endroit nous sont visibles. Mais c'est tout. Les autres variables locales des autres contextes locaux sont cachées pour nous.
- Type 0 : Il existe un contexte global. Ses variables sont visibles de partout.

## Avec ces critères, analyser certaines mouvances de l'IA, afin de les classer

### Difficulté de classer les mouvances de l'IA

Classer les mouvances de l'IA pour les présenter de façon ordonnée constitue une difficulté énorme. Afin de clarifier ce polycopié, en voici un classement laborieux mais il a le mérite d'exister et d'être assez systématique. D'un côté, nous distordons parfois les domaines pour les faire rentrer dans les cases du tableau. De l'autre, quand certaines disciplines majeures de l'IA n'entrent pas dans notre cadre, nous les délaissions.

6 L'introduction du Type 4 n'est pas le fait de Chomsky : nous choisissons d'introduire un type 4.

## Deux tableaux généraux de synthèse :

Le premier tableau traite de l'IA sub-symbolique et le second de l'IA symbolique. Ensuite, au sein de chaque tableau, les classements est effectué selon deux critères déjà énoncés au début de ce polycopié :

- Chaque colonne reçoit une forme de *connaissances à propos du monde*.
- Chaque rangée reçoit un type différent de *déterminisme*.

### IA sub-symbolique

IA sub symbolique	Pas de Savoir/Croyances	Système analogique/logique à drapeau/croyances : il interprète un état interne pr commuter entre n fonctions
Déterministe (l'individu)	<p>Informatique Algorithmique Analogique (procédure/fonction)</p> <p>1) <u>Statique : fonctions combinatoire</u>            a - Cartes électroniques câblées combinatoires            b - Circuiterie neuronale d'un agent réactif cueillant dans un monde discret. Il agit digitalement sur le monde qu'il perçoit            c - carte analogique asservissant une grandeur physique (automatisme électronique régulation) (La rétro-action est dans le contexte local : elle se fait sur une unique valeur analogique)</p> <p>2) <u>+ dimension temps (sollipsiste : fermé au monde)</u>            a - Dans un monde analogique : Séquenceur analogique. (Donné ici pr info, mais pas utilisé ds ce cours)            b - Dans un monde discret (<math>\approx</math> à la mouvance 7) on obtient un séquenceur (et son graphe de transition), utilisé dans l'intro de ce cours au moyen des systm formels</p> <p>3) <u>+ dimen°temps(perçoit agit sur son environnement)</u>            Parcours d'un agent réactif (logique ou analogique) au travers d'un monde discret <math>\approx</math> à la mouvance 7 (On regarde son graphe séquentiel de transition)</p>	<p><u>+ dim temps + drapeau/croyance</u>            ceci permet à l'agent 2 ou n registres de fonctionnement</p> <p>1) Câblage neuronal d'un agent drapeau/croyances minimal en accolant deux agents tropiques.            Exemple 1 : structure minimale un drapeau commute entre cueillette (comportement 1) et inhibition.</p> <p>2) Carte d'un agent pulsionnel : un drapeau commute entre N fonctionnalités. : entre cueillette (l'agent 1) et fuite (l'agent 2)</p>
non déterministe	<p><u>+ dim temps + situés dans le monde + parallélisme</u>            Vie artificielle d'un Système Multi Agents réactifs</p>	<p><u>+ dim temps + croyance + agents situés + N agents //</u>            Vie artificielle d'un Système Multi Agents finalistes</p>
N individus combinatoire	<p>Communication dans le groupe : marques et audio. (Intelligence collective, Insectes sociaux)</p> <p>Alternative au backtrack : ranger des objets vus comme des marques : récolte de minerais,</p>	<p>Le groupe induit la communication : marque, cris, symboles : proto-langage</p>
non déterministe de la perception apprentissage	<p><u>+ dim temps + situés dans le monde + // + méta-regard</u>            Évolution artificielle de quelques agents réactifs (Apprentissage darwinien : l'être apprend des règles, ou bien il y affine des coefficients).</p>	<p><u>+ dim temps + N en // + drapeau + situés + méta-regard</u>            Évolution d'un système multi-agents drapeau/croyance</p> <p>L'ouverture sur l'extérieur fournit le méta regard : D'abord anticipation à 1 coup, Puis à 2... n coups, On marche vers l'apprentissage de la cognition</p>



## IA symbolique

IA symbolique	Représentation symbolique sans savoir/croyance : symboles, liste de symboles, arbre de symboles	Représentation de savoirs Agents CDI : Croyances Désir Intention (listes récursives i.e. sous forme d'arbres)
déterministe  ( si percept° perçoit tout)	<p>1) <u>Statique et solipsiste</u> : circuit combinatoire fonctionnel. Boucle de l'interprète(calculs faits avec UAL)</p> <p>2) + <u>dim temps</u> : séquenceur (fait avec tab 1 in + registre tampon). Pas de perception : solipsiste.</p> <p>3) + <u>dim temps + perception totale du monde extérieur</u> graphe transit° d1 AF, tab à 2 in (état interne+percept)</p> <p>4)<u>dim tmps+perçoit tt le monde extérieur&amp;agit dessus</u> Automate enrichi d'act°(Augmented Transi° Network) -Transit° d'AF à agent : percept° locale indéterministe</p> <p>Systèmes formels sans Savoir/Croyance : Jeux digitaux (dominos cartes, échecs, dames, etc...) caractère déterministe si et ssi le joueur est omniscient (certains jeux déterministes car simples, ou la fin d'une partie d'échecs où qq annonce mat en n coups)</p>	<p>AF situés : Reg rééc + SiAlorsSinon +act°= f(percept°)</p> <p>Gram hors ctxt : Reg rééc + SAS + appel de s/p</p> <p>Gram ctxt +SAs+var+agit sur état mental interne BovIA<sup>7</sup> symbolique déterministe/solipsiste à croyances Lisp ou règles (moteur d'inférence 0 et 1) systm experts</p> <p><u>Simulation solipsiste</u> : reçoit au départ une représentat° du monde, puis simule in peto déterministe1...N actions</p> <p>+ <u>Méta-regard</u> sur son traitement de l'information. Se regarde raisonner : Débouche sur agent rationnel,</p> <p><u>Rationalité</u> : le <u>méta-regard</u> sur la composition d'actions permet le backtrack et la planification de tâches. Si la profondeur à explorer ^ ça peut induire non-déterminisme de la composition d'action.</p>
non déterministe car combinatoire et/ou complexité	<p>+ <u>dim temps + percept° déterministe + méta regard</u> IA régulière symboliq non-déterministe non-Croyance <u>l'ordi</u> résoud des problèmes et joue à des jeux digitaux</p> <p>Par hypothèse perception déterministe du monde, mais est non déterministe : - grosse combinatoire à analyser avant d'agir. - Ignore l'action de l'adversaire</p> <p>Utilise méta-regard pour test d'arrêt (fin succès échec) 1) Dynamique, mais croule sous la combinatoire 2) Heuristique : élague dans arbres, use coeff/poids</p>	<p>+ <u>dim temps + croyance +percep°totale+ méta regard</u></p> <p>Utilise Méta-regard pour test d'arrêt (fin succès échec)</p> <p>Non déterministe car : - grosse combinatoire à analyser avant d'agir. - Ignore l'action de l'adversaire</p> <p>Mais de toutes façon est non déterministe car : - Combinatoire à analyser avant de déclencher l'action - Ignore l'intention des autres agents Intention</p>
2 causes au non déterminisme : complexité & perception limitée	<p>+<u>dim tmps+perçoit&amp;agit loc/global sr monde+dim N//</u> Transi° introduit la notion d'agent (règle+var)</p> <p>Émuler les ss/prog en marquant le monde : ranger des objets vus comme des marques : récolte de minerais,</p> <p>Stratégies non déterministe car 1) combinatoire due au parallélisme 2) percep° locale du monde</p> <p>Vie artificielle d'agents situés → sémantique de l'action</p>	<p>+ <u>dim temps + percep°partielle + N agents croyance //</u> Système N agents CDI(croyances désirs inten°) en //</p> <p>Non déterministe car : 1)percept° à horizon limité 2) ignore l'inten° des ≠ agents Inten°, leur prête des inten°</p> <p>→ le group communique TLN<sup>8</sup>, règ épigénétic mémétic Analyse du discours, traitemnt contextuel des pronoms Agent BDI chef ordonne n act° à son subordonné Agt I Agent BDI : manipulation sur une planificat° d'actions</p> <p><u>Vie artificielle d'agents CDI→ évolution&amp;apprentissage</u></p>
non déterministe de la perception (effet d'horizon) induit l'apprentissage	<p>+ <u>dim temps + N agents situés en // + méta-regard</u></p> <p>SMA (beaucoup) d'êtres, d'agents réactifs empiriques Évolu° artificielle : apprentissage de flag, coef, lieu.</p> <p>Intelligence collective(insects sociaux) → communica° Le groupe induit la communication(signe symbole).</p> <p>Planification, génération de comportement : 1) Sans avoir de croyances : méta regard sur 1 simulation d'actions + RAZ violente/mort. 2) Avec un peu de croyances : méta regard sur 1 simula° d'act°(monte carlo) + RAZ violente/s'évanouit</p>	<p>+<u>dim temps+agents situés en//+croyances+méta-regard</u> Être cognitif empirique : utiliser le méta-regard permet l'évolut° artificielle d'agents Croyances DI (peu d'êtres)</p> <p>Perception : apprend une représentation du monde Perçoit : apprend la réponse du monde à prof de 1, 2 N Expérimente : simule dans sa tête, observe le déroulement de l'action dans le monde, compare pour ajuster.</p> <p>non-déterministe : perception de la complexité du monde extérieur, l'IA touche à l'étude l'observation de la condition humaine (Psychologie, socio, linguistique).</p>

7 C'est la Bonne Vieille IA : l'IA classique, des pères fondateurs (Simon Newel, Papert, Minsky et Mac Carthy). Elle est symbolique, par opposition à l'IA connexionniste des réseaux de neurones. Attention, elle peut être aussi non déterministe à cause de la combinatoire et pour faire de l'apprentissage.

8 TLN : Traitement du langage naturel.

**Note : que faire pour l'apprentissage ?**

D'abord, il peut être symbolique ou non, donc on le retrouve dans les deux tableaux.

Il est forcément effectué par un être non-déterministe, en effet l'apprenant a besoin d'étudier car il n'est pas un omniscient universel. Par exemple, dans un processus d'apprentissage par *essais et erreurs*, l'agent doit s'ouvrir sur monde pour confronter ce qu'il sait, à la réalité des choses.

Il implique le méta-regard, mais pas forcément la représentation de la connaissance sous la forme enchâssée des agents Croyances. En effet : on peut simuler un darwinisme, i.e. une évolution artificielle, où les êtres n'ont pas de croyance à propos du monde, mais où le système en possède : elles sont codées implicitement dans les règles qui guident le comportement de l'agent. Par exemple, l'être ne sait par directement que la nourriture est stocké à l'est, mais il possède une règle, qui se déclenche quand il a faim, et qui fixe son cap dans cette direction.

**Résultat : dans ces tableaux on repère 14 mouvances de l'IA****Convention de parcours des deux tableaux :**

Le parcours s'effectue ainsi :

1	2
3	4
5	6

7	8
9	10
11	12
13	14