

2011

Un aquarium d'animats dynamiques en réseaux de neurones

Master Spécialité Arts et Technologies de
l'Image Virtuelle de l'Université Paris 8



Dédicace :

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude à ma très chère et douce maman et mon cher papa pour l'éducation qu'ils m'ont prodiguée ; avec tous les moyens et au prix de tous les sacrifices qu'ils ont consentis à mon égard, pour le sens du devoir qu'ils m'ont enseigné depuis mon enfance.

À mes chères sœurs *raouia* et *aicha* et à mon fiancé *wajih*...

*Selon les mots du poète Agathon:
L'Art aime le hasard, comme le hasard aime l'Art.*

Résumé :

L'intelligence artificielle fait ses épreuves dans le domaine scientifique, quant est-il vis-à-vis de l'art numérique ? Quels sont les apports de l'intelligence artificielle et de la vie artificielle dans la création artistique numérique ? Ces deux questions principales traversent ce mémoire qui se donne comme objectif d'y répondre. J'aimerais vous faire partager mon expérience qui a duré un peu moins d'un an. En effet, le mémoire s'articule selon quatre grands axes de recherche. Le premier concerne le questionnement sur l'intelligence artificielle développé dans la première partie de mon mémoire. Le second s'interroge, dans la deuxième partie, sur la vie artificielle. Le troisième axe, correspondant à la troisième partie, traite de l'utilisation de l'intelligence artificielle et de la vie artificielle dans le domaine de la science. Enfin, dans la quatrième et dernière partie, je mettrai à l'épreuve de l'expérimentation les deux questions principales de ma recherche dans un projet artistique pratique comportant des poissons artificiels intelligents immergés dans un aquarium virtuel.

Table de matière:

Dédicace :	_____	2
Résumé :	_____	4
Table de matière:	_____	5
Introduction :	_____	7
I. Intelligence artificielle :	_____	8
1. Qu'est-ce l'intelligence?	_____	8
2. Qu'est-ce l'intelligence artificielle ?	_____	10
3. Réseaux de neurones :	_____	14
II. Vie artificielle	_____	23
1. Qu'est-ce la vie artificielle :	_____	23
2. Histoires des créatures artificielles :	_____	24
2.1. Qu'est-ce qu'un Animat :	_____	26
III. Intelligence artificielle, vie artificielle et science:	_____	27
1. Les systèmes experts :	_____	27
2. Les Robots :	_____	29
IV. Intelligence artificielle, vie artificielle et art numérique :	_____	32
1. Art numérique :	_____	33
2. Intelligence artificielle, Vie artificielle et art numérique:	_____	35
2.1. La funambule :	_____	35
2.2. AquaFish	_____	37
2.2.1. Historique :	_____	37
2.2.2. Diagramme de classe :	_____	38
2.2.3. Diagramme de séquence	_____	41
Conclusion	_____	45
Annexes	_____	46
Annexes de concept :	_____	55
Table des illustrations	_____	56
Bibliographie	_____	57

Bibliographie web: _____ 58

Remerciement : _____ 59

Introduction :

Qui n'a pas songé, un jour, aux créatures artificielles ?

Ces dernières habitent notre esprit en poussant les limites de notre imagination loin des comportements et schémas de pensée habituels. Ces créatures ne se sont pas contentées simplement d'éveiller notre imaginaire, mais aussi elles se sont faufilees dans notre réalité. Qu'il s'agisse des statues antiques vivantes, Galatée¹ ou des automates comme les Jacquemarts², l'histoire des créatures artificielles s'étale sur plus de trois mille ans. Elles animaient et animent les mythes, les religions, les arts, les sciences et les techniques.

Dans l'expression « créature artificielle », d'un côté le mot créature renvoie au vivant et de l'autre le mot artificiel renvoie à ce qui « est un produit de l'activité humaine ». Cette expression réunit le vivant (qui fait partie du « réel ») et l'artificiel (dont virtuel fait partie) jusqu'à faire disparaître la frontière entre les deux. Si dans un premier temps ces créatures apparaissent comme le simple double de vivants représentés, dans un deuxième temps, elles posent la question de leur vie artificielle qui cherche à se définir.

Étant petite, j'étais envoutée par l'histoire de ce petit garçon marionnette, Pinocchio. Adulte, j'ai gardé cette fascination dans mon grand intérêt concernant la manière dont les créatures virtuelles d'aujourd'hui sont conçues : avatars, acteurs virtuels, Animats, etc. Pour donner un nouvel élan à ma fascination enfantine, je me suis lancée dans la création de poissons artificiels en réseaux de neurones. Ainsi, deux questions se sont vite posées à moi : jusqu'à quel point puis-je simuler la vie avec la vie artificielle et l'intelligence artificielle ? Quel est l'apport de la vie artificielle et l'intelligence artificielle dans la création artistique numérique ?

¹ Dans la mythologie grecque, Galatée est une fille de Nérée et Doris. Son nom signifie peau blanche comme le lait. Galatée est également rattachée à Pygmalion.

² Un jacquemart est un personnage sculpté (en bois ou t en métal) qui sert à indiquer l'heure en frappant avec un marteau sur une cloche. Il est considéré comme des automates d'art. Étymologiquement (on n'est pas sûr de l'origine du mot), mais l'origine du mot Jacquemart la plus probable est celle qui désigne *jacques* ou *jaque* qui veut dire ancien sobriquet des paysans français concaténé au mot *marteau*. Le jacquemart est le paysan qui frappe l'angélus dans les champs.

I. Intelligence artificielle :

Depuis l'aube de l'humanité, l'intelligence a suscité un grand intérêt pour l'homme. Cette faculté mentale qui nous permet de comprendre les faits et gestes, d'aboutir à un raisonnement complexe et à une connaissance conceptuelle et rationnelle est au cœur des controverses scientifique et philosophique. Cette intelligence est-elle mesurable ? En vérité, les chercheurs en psychologie expérimentale ont essayé de la mesurer et cela en se basant sur un test de quotient intellectuel connu par QI. Mais ce simple test, est-il véritablement capable de rendre compte de ce phénomène si compliqué qu'est l'intelligence ? Comment peut-on appréhender ce qu'est l'intelligence ? Peut-on simuler artificiellement l'intelligence ?

1. Qu'est-ce l'intelligence?

Il nous est impossible de répondre simplement à cette question, c'est pourquoi je ne ferais que l'effleurer en donnant la définition de base du dictionnaire, en citant celle de Darwin (biologiste), celle d'Allen Newell et Herbert Simon (psychologues et informaticiens) et celle d'Ibn Khaldoun (historien, philosophe). Je n'ai pas l'ambition de faire un panorama des recherches scientifiques sur l'intelligence, mais juste d'introduire la question avec quelques repères pour aborder le problème de l'intelligence artificielle.

Je me contenterai de dire que l'intelligence est une faculté propre aux animaux et aux humains, spécifique pour chacun. Elle dépend de plusieurs facteurs ; circonstanciels ou biologiques, etc. Incontestablement, l'intelligence reste un sujet phare pour les scientifiques et les chercheurs en psychologie, neurologie, philosophie et science cognitive. C'est un immense et passionnant domaine de recherche d'actualité et les nombreux ouvrages sur le sujet de l'intelligence montrent bien que cette question est loin d'être élucidée.

Commençons par chercher ce que signifie étymologiquement le mot intelligence. L'intelligence vient du latin *intelligentia* (faculté de comprendre), dérivé du latin *intellegere* qui veut dire comprendre, dont le préfixe *inter* (entre) et le radical *legere* (choisir) ou *ligare* (lier), suggèrent l'aptitude à relier des éléments qui, sans elle,

restaient séparés.³ D'après le Petit Robert, intelligence veut dire dans le sens strict du mot : « ensemble des fonctions mentales ayant pour objet la connaissance conceptuelle et rationnelle ».

Voyons comment Darwin, le biologiste créateur de la théorie de l'évolution la définit. Pour lui, l'intelligence serait une capacité qui permettait à un individu de survivre d'une manière parfaitement adaptée à son environnement. Autrement dit, Darwin considérerait l'intelligence comme étant un processus qui offre à quiconque la possibilité de s'intégrer dans la société où il évolue. Alors, l'intelligence serait à l'origine du succès d'un individu, cependant on remarque vite que cela ne nous dévoile pas ce qu'est l'intelligence elle-même.

Regardons comment Allen Newell et Herbert Simon, psychologues et informaticiens en sciences cognitives et surtout parties prenantes de la création de l'intelligence artificielle abordent cette définition de l'intelligence. Pour eux, ce serait l'« application de la connaissance à la résolution de problèmes. » Les deux chercheurs désirent une théorie unifiée de la connaissance. Ainsi, la définition de nos deux chercheurs Newell et Simon nous relève à un autre questionnement ; qu'est-ce que la connaissance ? Ce serait, d'après eux, cette compétence à résoudre des problèmes.

Voyons une autre définition proposée par Ibn Khaldoun, philosophe et historien d'une culture différente. Pour la culture musulmane et précisément selon Ibn Khaldoun⁴ il y est question de trois types d'intelligence. À ce propos, il nous dit que l'homme à sa naissance est privé de tout savoir, il est une matière première. Pour pouvoir prendre conscience de lui-même, il lui faut s'emparer des savoirs au moyen de ses sens. Il y a d'abord, le savoir pratique, il s'agit de l'intelligence discernante ou tactique, celle qui permet d'acquérir de façon « inconsciente » des savoirs technico-tactiques pour s'adapter à de nouvelles situations aux caractéristiques spécifiques (marcher sur un terrain déformé, monter un escalier, etc.). Le deuxième type d'intelligence est l'intelligence empirique qui permet de savoir ce qu'il faut faire et ne pas faire grâce à l'élaboration d'une stratégie selon l'expérience vécue face à une situation bien définie. Et finalement, le troisième type d'intelligence est l'intelligence spéculative ou

³ <http://fr.wikipedia.org/wiki/Intelligence> consulté le 12-05-2011

⁴ Ibn Khaldoun, en arabe ابن خلدون (*ibn Khaldoun*), son nom en complet est Abou Zeid Abd ur Rahman Bin Mohamad Bin Khaldoun al-Hadrami, est né le 27 mai 1332 à Tunis et mort le 17 mars 1406 au Caire³, est un historien, philosophe, diplomate et homme politique arabe d'Afrique du Nord. Il est surtout connu par son œuvre *Al muqaddima* qui est une introduction à l'histoire.

scientifique ou encore politique, c'est-à-dire un savoir théorique concernant tout ce qui existe dans le monde.

2. *Qu'est-ce l'intelligence artificielle ?*

Russell Beal de l'Université de Birmingham disait à propos de l'intelligence artificielle : « *L'intelligence artificielle⁵ peut être définie comme la tentative d'obtenir des machines intelligentes comme celles qu'on voit dans les films* ».

Commençons par Alan Turing : pour lui, on atteindrait « l'intelligence artificielle » quand la distinction entre une tâche réalisée par l'homme ou par la machine ne pourrait pas être faite et c'est ce qui est en jeu dans le test de Turing. En effet, un jeu d'imitation a été à l'origine de ce test, dans ce jeu un homme et une femme sont mis séparément dans deux pièces différentes et des invités sont également placés dans une troisième pièce. Le but du jeu est de persuader les invités qu'ils sont en face de deux femmes. Il est demandé aux invités de communiquer avec l'homme et la femme en leur envoyant des questions écrites et en recevant leurs réponses également par écrit. Les invités lisent les réponses reçues par chacun des deux protagonistes. Par analogie, l'ordinateur dans le cas du test de Turing, prendrait la place de la femme dans le jeu d'imitation et l'homme du test de Turing remplacerait l'homme du jeu d'imitation et enfin l'utilisateur du test de Turing prendrait la place des invités.

Ci-dessous un schéma illustrant le test de Turing :

⁵ Notons que l'apparition de l'expression *Intelligence artificielle* a été officialisée pendant la conférence du *Dartmouth College* de 1956 et qui est le fruit d'une maturité qui s'est prolongée depuis déjà des décennies.



Figure 1 : Est-ce une machine ou un homme ?

On peut considérer, alors, l'intelligence artificielle comme la « recherche de moyens susceptibles de doter les systèmes informatiques de capacités intellectuelles comparables à celles des êtres humains »⁶.

L'intelligence artificielle⁷ procède de l'approche qui consiste à reproduire l'intelligence qu'elle soit humaine ou animale et de la programmer par différents algorithmes.

Je vais présenter huit définitions de l'intelligence artificielle qu'on peut classer sous quatre catégories⁸ :

Les systèmes qui agissent comment des humains :

« L'art de créer des machines capables de prendre en charge des fonctions exigeant de l'intelligence quand elles sont réalisées par des gens » (Kurzweil 1990).

⁶ La Recherche, janv. 1979, no 96, vol. 10, p. 61, cité par le dictionnaire du CNTRL [archive].

⁷ Pour la suite en notre IA pour désignée intelligence artificielle

⁸ Classement et catégorie proposés par NORVIG, S. R. (septembre 2006). Intelligence artificielle. 63200 Marsat: PEARSON Education France.

« L'étude des moyens à mettre en œuvre pour faire en sorte que des ordinateurs accomplissent des choses pour lesquelles il est préférable de recourir à des personnes pour le moment » (Rich et Knight 1991).

Pour la première approche d'IA « agir comme des humains », il était question de doter l'ordinateur de comportement humain. Pour cela, il fallait que l'ordinateur accomplisse quatre fonctionnalités :

Le premier est le traitement du langage naturel, ce qui lui permet par conséquent d'établir un dialogue sans problème.

La deuxième est la représentation des connaissances, ce qui lui accorde un pouvoir d'avoir une source de ce qui est déjà dit ou entendu.

La troisième est le raisonnement automatisé, ce qui l'aide à répondre aux questions et faire des conclusions en se basant sur ce qu'il a déjà mémorisé.

La quatrième est l'apprentissage, ce qui l'aide à s'adapter aux nouvelles situations.

Cette première approche a été mise en question, car ce qui intéressait les chercheurs en IA n'était pas le fait d'imiter l'homme, mais plutôt de comprendre les principes et mécanismes hermétiques de l'intelligence. De la même manière, les frères Wright et leurs précurseurs n'ont réussi à voler que quand ils ont arrêté d'imiter les oiseaux et qu'ils se sont intéressés aux lois physiques de l'aérodynamique.

Les systèmes qui pensent comme les humains :

« [L'automatisation d'] activités que nous associons à la pensée humaine, des activités telles que la prise de décision, la résolution des problèmes, l'apprentissage... » (Bellman 1978).

« La tentative nouvelle et passionnante d'amener les ordinateurs à penser... [d'en faire] des machines dotées d'un esprit au sens le plus littéral. » (Haugeland, 1985)

La deuxième approche qui consiste à penser comme des humains est basée sur l'approche cognitive. Le domaine des sciences cognitives est interdisciplinaire, il combine les modèles informatiques de l'IA et les techniques expérimentales de la psychologie pour fonder les théories du fonctionnement de l'esprit humain. Newell et Simon ont développé le GPS (*General Problem Solver*) qui ne se contente pas, seulement, de résoudre les problèmes, mais compare les étapes de raisonnement humain

à celle de l'ordinateur. Les sciences cognitives se fondent sur l'introspection⁹ et les expériences psychologiques pour savoir comment les humains pensent.

Les systèmes qui pensent rationnellement :

« L'étude des facultés mentales grâce à des modèles informatiques » (McDermott 1987)

« L'étude des moyens informatiques qui rendent possibles la perception, le raisonnement et l'action » (Winston 1992)

La troisième approche, qui consiste à créer des machines qui pensent rationnellement, s'intéresse plutôt aux lois de la pensée. Notant que le philosophe grec Aristote est le premier à établir des codes pour la pensée. À titre d'exemple : « Socrate est un homme, tous les hommes sont mortels, donc Socrate est mortel. » D'après cet exemple on constate que ces procédés de raisonnement autrement dit ces syllogismes¹⁰ aboutissent toujours à une conclusion vraie. Ces lois, qui étaient censées diriger l'esprit, ont ouvert le domaine de la logique. En IA, des programmes basés sur la logique étaient normalement aptes de résoudre tout problème soluble, c'est pourquoi ils ont permis la création des systèmes intelligents.

Les systèmes qui agissent rationnellement :

« L'intelligence artificielle... étudie le comportement intelligent dans des artefacts » (Nilsson 1998)

« L'intelligence artificielle est l'étude de la conception d'agent intelligent » (Poole, Mackworth et Goebel 1998).

La quatrième définition ou encore dite « l'approche des agents rationnels », est fondée sur les entités qui sont dotées d'un certain nombre de caractéristiques telles que la possibilité d'opérer d'une manière autonome, la faculté de percevoir leur environnement, également de se partager mutuellement les objectifs les uns des autres.

⁹ Étymologiquement le terme : introspection qui vient du latin « *introspectus* » est l'action de regarder à l'intérieur. Elle est l'analyse et l'examen d'un sujet par lui-même. En psychologie, c'est une méthode d'observation et d'analyse de soi. (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Introspection>) consulté le 09-05-2011

¹⁰ Un syllogisme, en logique aristotélicienne, est un raisonnement logique à deux propositions dites prémisses qui aboutit à une conclusion. Si on reprend le même exemple : « Socrate est un homme, tous les hommes sont mortels, donc Socrate est mortel » est un syllogisme ; les deux prémisses dites majeures et mineures sont des propositions et données censées être vraies, ainsi le syllogisme permet la validation de la véracité de la conclusion.

Dans le cadre de cette approche, l'accent a été mis sur le fait que le mode de raisonnement, qui se constitue en allant d'une entité à une autre, soit valide, et cela, en se référant aux « lois de la pensée ».

D'après ces définitions, on remarque que l'intelligence artificielle s'ordonne selon deux grands critères « le comportement » et « la pensée entre l'être et le paraître ». Dans ce cadre, Alan Turing qui est l'un pionnier de l'intelligence artificielle a conçu en 1956 un test qui mettait en confrontation verbale un humain et un ordinateur et autre humain : si le premier humain ne parvenait pas à distinguer entre la machine et l'autre humain, le logiciel de l'ordinateur passait le test avec succès. Mais assez vite, Alan Turing s'est rendu compte des limites de ce genre de programme conversationnel et de cette approche. Ce que cherchaient plutôt les pionniers de l'IA, c'était de concevoir des méthodes exploitant les possibilités propres des ordinateurs pour leur faire accomplir des tâches « intelligentes » impliquant du raisonnement. Ce qui implique qu'il fallait revoir la définition de l'intelligence et de mettre l'accent sur des sujets d'ordre philosophiques qui se rapportent aux questionnements suivants : « qu'est-ce que l'esprit, la raison, la conscience ? ». Ainsi, il faut souligner aussi que l'IA tente de comprendre ce que sont les mécanismes de la compréhension.

3. Réseaux de neurones :

Dans l'histoire des machines intelligentes, les ordinateurs, qui possèdent les capacités requises pour manipuler du sens et cela depuis le 20e siècle, ont été l'enjeu d'un débat entre deux concepts importants : le symbolique et le connexionnisme. La cybernétique¹¹ telle qu'elle était conçue au départ par Wiener, désormais, fait partie de l'approche connexionniste. Quant au développement ultérieur de l'intelligence artificielle, cette première approche a été estompée en mettant en relief la manipulation symbolique des connaissances par des programmes se déroulant de manière linéaire. Enfin, les années 1980s ont été témoins d'un retour en force du connexionnisme grâce au développement des réseaux de neurones. D'après cette présentation, on pourrait

¹¹ La cybernétique vient du mot grec *kubenêsi* qui représente le geste de manœuvrer un vaisseau, de gouverner, instaurait une fiche théorique pour le développement des techniques de pilotage des systèmes. Mais dans la continuité de l'objectif mécanique du 18e siècle, elle reformule l'approche des créateurs d'automates anciens.

croire qu'il n'y a eu qu'un duel entre ces deux concepts, mais en même temps, ils ont en quelque sorte coexisté depuis les premiers développements de l'informatique. Les modèles connexionnistes, fidèles à leur approche, tentent d'imiter les systèmes nerveux des vivants aussi bien schématiquement que fonctionnellement. Tout en reproduisant la biologie, ils permettent de concevoir des systèmes dynamiques capables d'effectuer des calculs à la manière des systèmes nerveux des êtres vivants. Le modèle le plus ancien est celui de McCulloch et Pitts qui est né d'une collaboration avec le neurophysiologiste Warren McCulloch. Ce dernier était influencé, d'une part, par la lecture de l'ouvrage « *Principia Mathematica* » de Whitehead et Russel qui voulaient refonder les bases des mathématiques sur la logique, d'autre part, par la démonstration du neurophysiologiste Edgar Adrian sur la loi du « tout ou rien ». Ceci a permis à McCulloch de formaliser les réseaux de neurones en s'associant avec le mathématicien Walter Pitts. Le schéma ci-dessous illustre l'analogie entre un neurone artificiel et un neurone biologique.

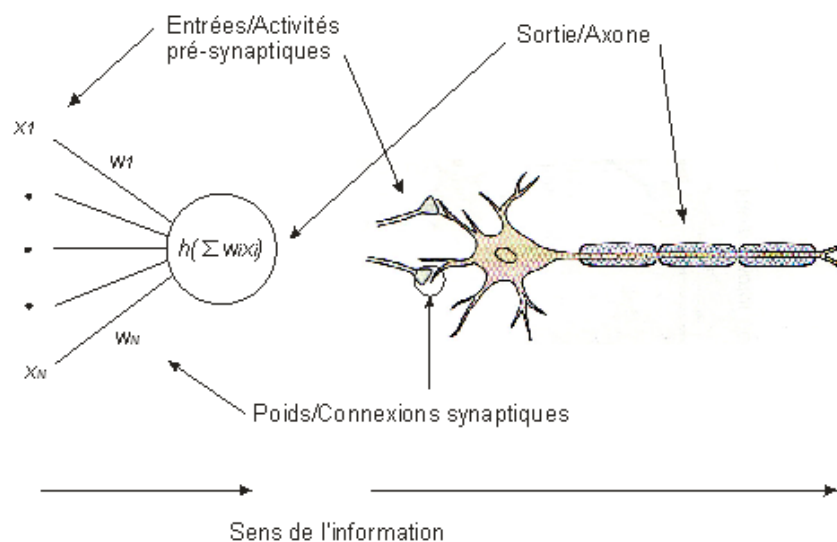
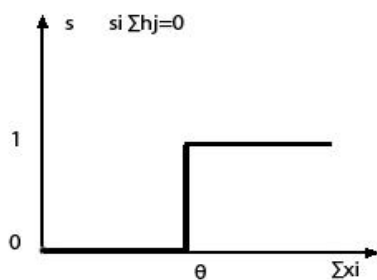


Figure 2 : Analogie entre un neurone biologique et un neurone artificiel

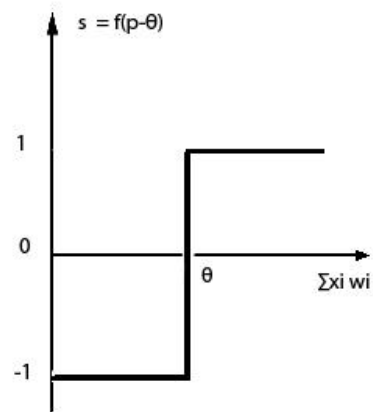
Comme on peut le voir sur le schéma, un réseau de neurones artificiels conçu par McColluch et Pitts est composé de nœuds possédant des entrées qui viennent d'autres nœuds qui sont les dendrites des neurones et d'une sortie reliée vers d'autres cellules à l'axone. On peut formaliser cela par :

- un ensemble d'entrées ($X_{i=1 \dots n}$) qui prennent des valeurs soit 0 soit 1
- un seuil θ
- une fonction d'activation f
- un signal de sortie $s = f(x_i)$

Précisant que hormis le fait que leur structure soit fixe les neurones conçus par Pitts et McCulloch avaient une capacité computationnelle. Néanmoins, ce type de neurone est incapable d'apprendre, et cela, du fait que les connexions synaptiques et les poids restent inchangés puisqu'ils étaient définis dès leur conception. Suite aux limites du neurone de Pitts et McCulloch, Frank Rosenblatt, en 1957, s'est penché pour ces études sur la psychologie et la physiologie pour comprendre le modèle biologique des neurones. Il était le premier à concevoir un réseau de neurones artificiels capable d'apprendre dit « Perceptron ». La seule différence, de ce modèle par rapport à son prédécesseur est le coefficient de couplage, autrement dit de poids synaptiques qui permettent la convergence vers une solution.



Fonction de transfère d'un neurone de sortie de McCulloch-Pitts



Fonction de transfère d'un neurone de sortie du Perceptron

Figure 3

Figure 4

Le Perceptron de Rosenblatt ou encore le Perceptron Simple passe d'une phase d'apprentissage au cours de laquelle il modifie ses poids synaptiques pour obtenir une valeur de sortie identique à la valeur désirée. L'apprentissage est considéré comme étant : « [...] le mécanisme par lequel les paramètres libres d'un réseau de neurones sont adaptés à travers un processus de stimulation par l'environnement dans lequel le réseau est intégré. Le type d'apprentissage est déterminé par la façon dont les changements de paramètres sont mis en oeuvre. »¹² D'après Hayakin l'apprentissage permet au Perceptron de changer son comportement jusqu'à l'obtention d'un comportement désiré et cela dépendra de type d'apprentissage à savoir supervisé et non

¹² HAYAKIN, S. (199911). *Neuronal Networks. À Comprehensive Foundation*

supervisé. Pour le cas du Perceptron, il s'agit d'un apprentissage supervisé autrement dit qui nécessite une règle d'apprentissage qui est une variante de la règle de Hebb¹³.

La règle de Perceptron s'exprime comme suit :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta (d_j - s_j) \cdot s_i$$

$w_{ij}(t)$: poids de la connexion entre les neurones i et j à l'instant t .

η : pas d'apprentissage qui peut prendre une valeur entre 0 et 1. D'une manière générale, on fait varier le pas en commençant par une valeur aux alentours de 0,8 et on la diminue au fur et à mesure qu'on se rapproche de la solution.

d_j : la valeur de la sortie désirée pour l'entrée courante.

s_i : signal transmis par le neurone i .

s_j : signal transmis par le neurone j .

La puissance de la structure du Perceptron proposé par Rosenblatt, qu'il a lui-même démontré, est que, s'il existe une solution à un problème donné, la phase d'apprentissage du Perceptron est finie c'est-à-dire le nombre d'itérations converge vers un nombre fini. En 1960, B. Widrow et M.E. Hoff ont mis en place un neurone artificiel appelé Adaline pour ADAPtative LINear Element. La structure de l'Adaline ressemble à celle du Perceptron, toutefois la règle d'apprentissage est différente. Pour le Perceptron il s'agit d'une fonction de transfert bipolaire. Quant à celle de l'Adaline, il est question de la fonction identité, ce qui est important, puisque celle-ci est dérivable. Cela donne naissance à la règle delta mise en point par Widrow-Hoff qui permet un apprentissage à partir des informations locales et qui se manifeste comme suit :

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta (d_{jk} - y_{jk}) \cdot s_i$$

y est le signal d'un neurone de sortie quelconque.

K un ensemble défini.

Avec d_k et y_k les résultats désirés et obtenus

¹³ Pour Hebb le poids de la connexion de deux neurones actifs simultanément est renforcé.

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta (s_i \cdot s_j)$$

$w_{ij}(t)$: poids de la connexion entre les neurones i et j à l'instant t .

η : pas d'apprentissage qui peut prendre une valeur comprise entre 0 et 1. (0 c'est-à-dire le cas de neurone de Pitts et McColluch)

s_i : signal transmis par le neurone i .

s_j : signal transmis par le neurone j .

Plus simplement, pour un résultat obtenu ; si la valeur de la sortie est inférieure au résultat désiré, dans ce cas là, alors il faut augmenter les poids synaptiques. La règle de delta est à l'origine de l'algorithme de la rétropropagation de gradient (que je développerai un peu plus loin) qui est utilisé dans les Perceptrons multicouches. À la différence de la règle de Roseblatt, qui elle converge vers une droite de séparation correcte, la règle de delta ne converge pas forcément. Le Perceptron simple (Roseblatt) s'arrête quand la solution est valide, ce qui n'est pas le cas pour le Perceptron de Widrow et Hoff, qui lui, tend vers une solution incorrecte dans le cas de problème linéairement séparable. Le Perceptron et l'Adaline ont pu mettre à l'épreuve leur capacité d'apprentissage en résolvant des problèmes de classification, ou encore de reconnaissance de forme et montrent leur aptitude à résoudre des problèmes booléens. En revanche, en 1969 Marvin Minsky et Seymour Papert, dans leur ouvrage *Perceptron*¹⁴, ont montré les limites de ce type de structure. Pour démontrer les limites du Perceptron, les deux chercheurs ont mis en point un cas dans lequel, à partir de deux neurones d'entrées assimilés à une rétine de deux pixels et un neurone de sortie, se pose la question de savoir quelle matrice de poids permet d'activer la sortie quand il y a un seul pixel noir ? Les deux chercheurs montrent alors l'incapacité du Perceptron de résoudre ce type de problème à configuration non linéairement séparable.

¹⁴ Ceci est un extrait de la légende des filles de la cybernétique écrit par Seymour Papert dans *Perceptron* :

« Il était une fois deux sciences filles issues de la nouvelle science de la cybernétique. Une des sœurs était naturelle, avec des caractéristiques héritées de l'étude du cerveau, de la façon dont la nature fabrique les objets. L'autre était artificielle, en rapport avec les débuts de l'utilisation des ordinateurs. Chacune des sciences sœurs essaya de bâtir des modèles de l'intelligence, mais avec des matériaux très différents. La sœur naturelle construit des modèles (appelés réseaux neuronaux) à partir de neurones mathématiquement épurés. La sœur artificielle construit ses modèles sur la base de programmes d'ordinateur.

Dans la prime fleur de leur jeunesse, tous les deux avaient autant de succès et étaient également poursuivies par l'assiduité de courtisans venus des autres domaines de la connaissance. Elles se plaisaient beaucoup ensemble. Leurs relations changèrent au début des années soixante, lorsqu'un nouveau monarque apparut, avec les plus grands coffres jamais vus dans le royaume des sciences : le seigneur DARPA, le *Defense Department Advanced Research Agency*. La sœur artificielle devint jalouse et se détermina à garder pour elle seule l'accès aux crédits de recherche du seigneur Darpa. Il lui fallait assassiner la sœur naturelle.

La basse besogne fut effectuée par les deux membres assidus de la suite de la sœur artificielle, Marvin Minsky et Seymour Papert, jouant le rôle des chasseurs envoyés pour assassiner Blanche Neige et ramener son cœur comme preuve de sa mort. Leurs armes n'étaient pas la dague, mais la puissante plume, de laquelle vint un livre *Perceptron*, paraissant prouver que les réseaux neuronaux ne pourraient jamais accomplir leur promesse de construire des modèles de l'esprit : seuls les programmes d'ordinateur pourraient le faire. La victoire semblait assurée pour la sœur artificielle. Ainsi, pour la décennie suivante, toutes les primes du royaume revinrent à sa progéniture, parmi laquelle la famille des systèmes experts devint la plus renommée et la plus fortunée. »

Ci-dessous la table de vérité des opérations logiques et leur représentation graphique.

S_1	S_2	S_1 ET S_2	S_1 OU S_2	S_1 XOR S_2
0	0	0	0	0
0	1	0	1	1
1	0	0	1	1
1	1	1	1	0

Figure 5 Tableau de vérité des trois opérateurs booléens

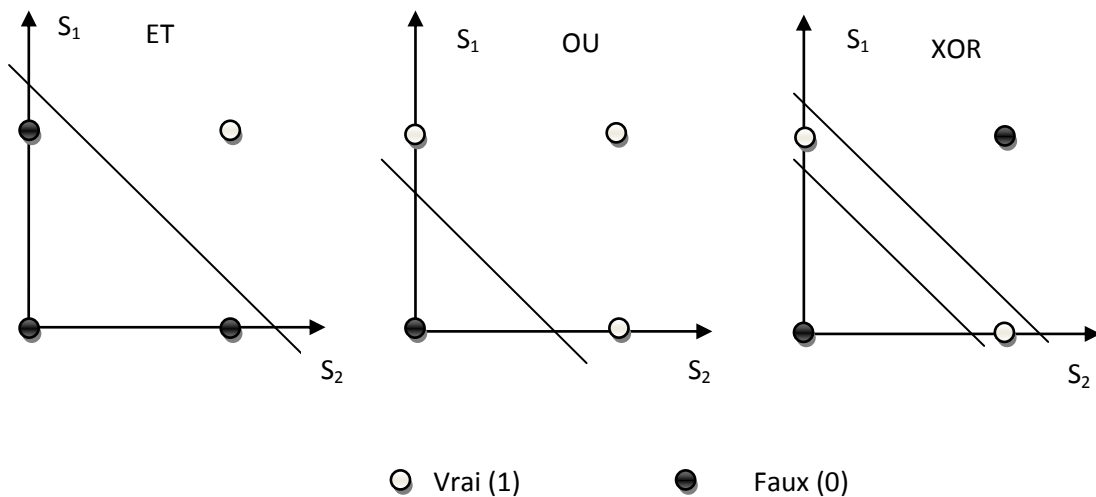


Figure 6 Séparabilité linéaire et opération booléens

Ceci est une explication du problème Xor. Un perceptron monocouche ne sait pas diviser des points qu'en traçant une droite, mathématiquement parlant on parle d'un modèle linéaire. On voit par conséquent qu'il peut séparer les trois points noirs du ET logique et aussi le point noir du OU logique sans ambiguïté. Alors que pour le cas du XOR il ne peut séparer qu'un seul point noir, laissant l'autre point noir avec les blancs, ce qui est erroné. De ce fait, l'introduction de plusieurs couches intermédiaires dans le perceptron permet de lever cette restriction en lui permettant ainsi n'en plus de tracer une droite mes plutôt deux.

Seulement, leur projet a été abandonné faute de moyens financiers et ils se sont dirigés plutôt sur les règles de l'IA classique. Entre 1967 et 1982, les recherches sur les réseaux de neurones formels ont été mises en sommeil. Cependant, les chercheurs ont continué leurs recherches, mais leurs travaux étaient dissimulés sous différents domaines : la reconnaissance de forme, la modélisation en neurobiologie, etc. Plusieurs chercheurs ont travaillé sur ce sujet comme S. Grossberg et notamment T. Kohonen. Dès les années 1980, les réseaux de neurones formels sont retournés en grâce avec l'apparition des Perceptrons multicouches et la rétropropagation du gradient. Moyennant ce type de réseaux, le problème Xor a pu être résolu.

La fonction de transfert la plus utilisée est la fonction sigmoïde illustrée par le schéma ci-dessous

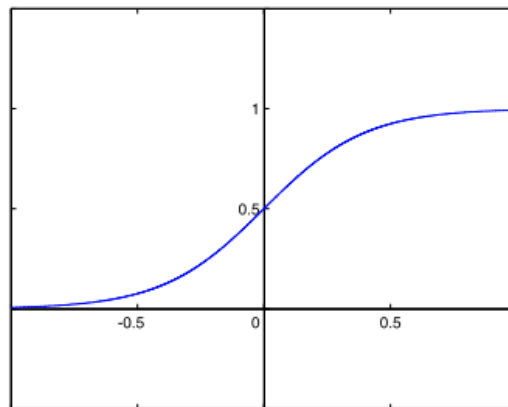


Figure 7 Fonction sigmoïde $S(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}}$

La particularité des fonctions sigmoïde est que sa dérivée est facile à calculer. On a

ainsi :
$$S'(x) = \alpha \frac{e^{-ax}}{(1 + e^{-ax})^2}$$

D'une manière plus simplifiée, on a :

$$S'(x) = \alpha \cdot S(x) \cdot (1 - S(x))$$

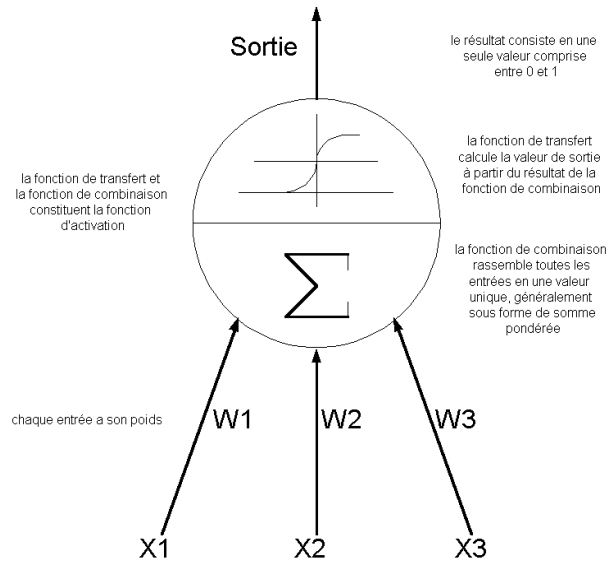


Figure 8 Schème d'un réseau de neurones artificiels

À vrai dire, on peut classer les réseaux formels, soit selon leur structure de connexion, soit selon leur apprentissage :

Pour le classement selon leur structure de connexion, on trouve les réseaux formels d'interconnexion propagation avant pour la terminologie en anglais (*feedforward*) ou les réseaux formels récurrents (*feedback network*).

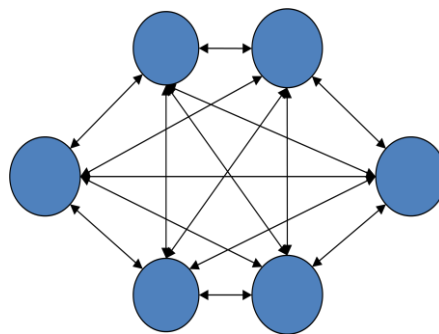


Figure 9 *Feedback network*

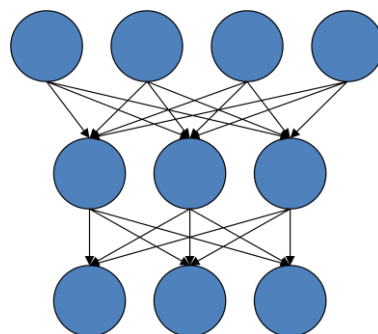


Figure 10 *Feedforward*

Comme vous pouvez le constater par ces deux schémas, le modèle récurrent présente au moins un cycle entraînant ainsi une réinjection en amont du signal de sortie et dans lequel les neurones interagissent d'une manière non linéaire. À l'opposé du modèle de « propagation avant » où les connexions se font dans un seul sens. On distingue essentiellement dans cette classe les réseaux ou perceptrons monocouches ou multicouches.

Pour le cas de la classification selon l'apprentissage deux cas de figure se présentent : un apprentissage supervisé et l'autre non supervisé. Dans le dernier cas, les réseaux sont livrés à eux-mêmes pour converger vers un état final par rapport à l'entrée, à l'encontre du modèle d'apprentissage supervisé.

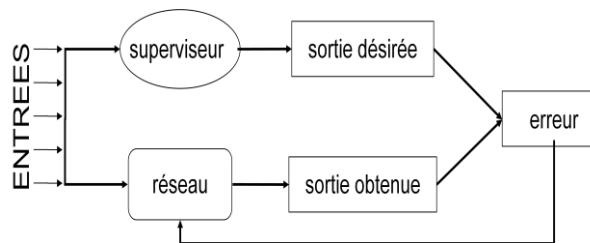


Figure 11 Apprentissage supervisé

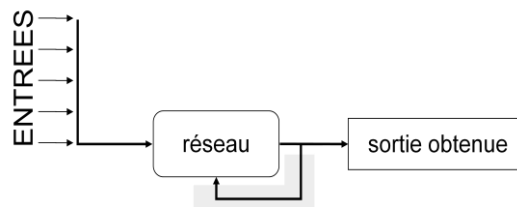


Figure 12 apprentissage non supervisé

La notion d'apprentissage est claire et intuitive pour les humains ou les animaux. C'est une procédure cognitive qui doit faire en sorte que l'individu réalise, de manière autonome, une tâche donnée. Typiquement, cette procédure s'effectue à partir d'exemples : ainsi, pour apprendre l'alphabet à un enfant, on lui présente toutes les lettres qui le composent. À la fin de l'apprentissage, on attend de l'enfant qu'il soit capable, de lui-même, de lire les lettres de l'alphabet avec des calligraphies et des fontes différentes : en d'autres termes, on attend de lui qu'il ait une capacité de généralisation

à partir des exemples qui lui ont été présentés. C'est sur cette définition d'apprentissage que les neurosciences se sont basées pour concevoir les réseaux de neurones.

II. Vie artificielle

Il nous est un peu difficile de décerner une définition de la vie artificielle, du fait que celle-ci se rattache à la *vie* qui est complexe. J'aimerais à ce propos vous donner un petit aperçu sur les définitions que certains ont pu donner à la vie.

Certains considèrent la vie comme un état dans lequel des formes seront auto-organisées et homéostatiques¹⁵ ayant la capacité de se dupliquer et d'évoluer. D'autres l'assimilent à un phénomène empirique¹⁶ important aux yeux des humains, mais qui est difficile à définir. Elle est également vue comme cette étendue temporelle qui sépare la naissance de la mort durant lequel l'homme est témoin d'un certain nombre d'événements et d'actions. Remarquons, d'après ce que je viens de vous présenter, la difficulté pour nous d'obtenir une définition claire et simple. Alors quant est-il pour la vie artificielle ?

1. Qu'est-ce la vie artificielle :

La première fois où est apparu le terme de vie artificielle était en 1989 lors de la conférence de Santa Fe. La définition proposée par Christopher Langton ce jour-là est : « *La vie artificielle est donc l'étude de systèmes vivants naturels pour en trouver des principes afin de recréer sur des supports artificiels des phénomènes biologiques à partir de rien.* » Ainsi, la vie artificielle est l'étude de système artificiel construit par l'homme et se caractérisant par des comportements d'êtres vivants naturels.

¹⁵ Le terme homéostasie a été introduit pour la première fois par Claude Bernard, il vient du grec ὁμοιος, *homoios*, « similaire » et ἵστημι, *histēmi*, « immobile » qui est la faculté que possède un système quelconque pour maintenir son équilibre en dehors des contraintes extérieures.

Selon Walter Bradford Cannon : « *l'homéostasie est l'équilibre dynamique qui nous maintient en vie.* »

¹⁶ L'empirisme désigne un ensemble de théories philosophiques (avec des applications logiques, psychologiques ou linguistiques) qui font de l'expérience sensible l'origine de toute connaissance valide et de tout plaisir esthétique. (<http://fr.wikipedia.org/wiki/Empirique> consulté le 08-05-2011)

Selon J-P Rennard¹⁷ : « *la vie : état de ce qui n'est pas inerte. La vie artificielle : domaine de recherche qui cherche à expliquer la définition précédente* »

Pour arriver à une définition de la vie artificielle nous nous attarderons plutôt sur ce qui la constitue, notamment, ces êtres vivants. Un système artificiel, selon J. Doyne Farmer et Alleta d'A. Belin¹⁸, est caractérisé par le fait qu'il est :

- ✓ une structure dans l'espace.
- ✓ Créé par l'homme.
- ✓ Autonome.
- ✓ Interagissant avec son environnement.
- ✓ Émergeant dans son environnement.

2. *Histoires des créatures artificielles :*

L'homme a toujours été fasciné par la création de créatures artificielles qui imitent le vivant et cela depuis la nuit des temps. Dans les prochains paragraphes, je vous présenterai un panorama des créatures artificielles et leur évolution au cours du temps.

Parmi les créatures artificielles de la préhistoire qui ont laissé une empreinte manifeste, pour ne citer qu'un seul exemple, prenons celui de Galatée, la fabuleuse sculpture d'une femme d'une beauté marquante qui commence à vivre au grand étonnement de son créateur. Il s'agit du mythe de Pygmalion et Galatée. Pygmalion, témoin du grand mal qui ronge le cœur de sa société (vices, débauche notamment la conduite perfide des Propétides¹⁹), préfère alors mener une vie de solitaire. N'ayant pas de compagne il décide alors de sculpter une statue en ivoire représentant une femme d'une beauté éblouissante. Il l'admire à un tel point qu'il tombe amoureux d'elle. Il lui parle persuadé qu'elle peut l'entendre, il la touche croyant qu'il touche sa chair. Faisant d'elle sa compagne, il finit par prier Venus de lui offrir une femme semblable à sa statue. Ses vœux sont exaucés et Galatée prend vie.

¹⁷ Jean-Philippe Rennard est docteur en économie et informaticien, professeur à Santa Fe Institut. Il manifeste un grand intérêt dans les systèmes complexes.

¹⁸ http://www.limsi.fr/~jps/enseignement/examsma/2003/MAMLOUK_BENOUIRANE/definition.htm

¹⁹ Dans la mythologie grecque, les femmes qui habitent l'île Chypre étaient connues par leur pratique de la sorcellerie et de la prostitution. La déesse Aphrodite décide alors de les transformer en rocher, car elles refusaient d'abandonner leurs comportements illicites.

Après les mythes des sculptures antiques divines, l'homme prouve le besoin de concevoir des créatures autonomes. Il n'est plus question de force divines, mais plutôt une force mécanique. Les inventions de Philon de Byzance²⁰ et Héron d'Alexandrie²¹ ont permis aux créatures artificielles de franchir un grand pas en avant et cela grâce à l'automatisation. Le développement de la mécanique a permis la création d'automate, parmi les travaux de Héron, on cite l'oiseau en bronze qui est capable de boire en cas de soif. Quoique les automates à cette époque ne servent à rien sauf à susciter l'étonnement, ils avaient cependant des objectifs pédagogiques comme illustrer les théorèmes mathématiques, physiques ou biologiques.

Les inventions occidentales ont été marquées par les travaux des savants arabes notamment les frères *Bânn Mûsâ Ib Shâkir* qui dans leur œuvre *Kitâb Al hiyal* (le livre des procédés ingénieux) décrivent plusieurs automates mécaniques. Ou encore l'ingénieur arabe *Al-Jazari* dont les ouvrages présentent sa grande connaissance en mécanique hydraulique et les fameuses horloges astronomiques à automates.

La culture occidentale a été traversée par deux courants de pensée différents le dualisme platonicien ensuite le dualisme cartésien. Donc, il n'est pas étrange que dans l'histoire des créatures artificielles on retrouve aussi le partage entre, d'un côté, la conception des automates des lumières poursuivant la lignée des statues antiques et qui ont engendré par la suite les robots (dont je parlerai dans la prochaine partie), et de l'autre côté, la conception de cerveaux artificiels ouvrant la voie aux ordinateurs et l'intelligence artificielle.

Le 18e siècle a été marqué par les automates et qui dit automate, dit avant tout le canard de Vaucanson. Il s'agit d'un automate de canard créé par l'inventeur et mécanicien français Jacques de Vaucanson en 1738. Le but de Vaucanson était d'étudier la digestion, on y trouve tout le processus, du gosier au sphincter. En voilà une description donnée par son inventeur : *« le jeu de toutes les parties nécessaires à ces actions y est exactement imité : il allonge son cou pour aller prendre du grain dans la main, il l'avale, le digère et le rend par la voie ordinaire, toute digérée ; tous les gestes d'un canard qui avale avec précipitation et qui redouble de vitesse dans le mouvement*

²⁰ Héron d'Alexandrie ou encore Héron l'Ancien est un ingénieur, mathématicien et mécanicien qui auraient vécu pendant le I^{er} siècle avant J.-C.

²¹ Philon est un ingénieur et scientifique grec qui aurait vécu entre 280 et 220 avants J.-C

de son gosier, pour faire passer son manger jusque dans l'estomac, y sont copiés d'après nature ; l'aliment y est digéré comme dans les vrais animaux [...]. »²²

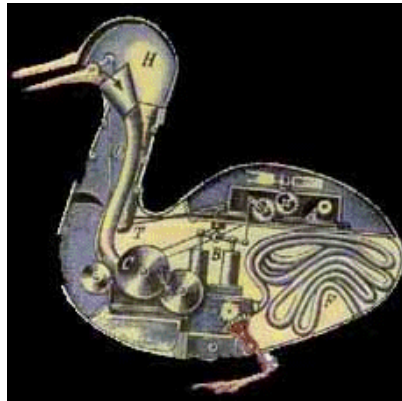


Figure 13 Le Canard de Vaucanson

D'après ce petit survol rapide de l'évolution des créatures artificielles, on constate qu'elles présentent trois caractéristiques fondamentales indépendantes de leurs époques respectives ou de leurs natures. La première est d'ordre matériel et technique : formes picturales, formes sculpturales ou encore entités artificielles comme des marionnettes, des automates, des robots, etc. ; la deuxième caractéristique est de nature artistique ; finalement, la troisième caractéristique renvoie à un questionnement dans un premier temps spirituel et ultérieurement scientifique.

2.1. *Qu'est-ce qu'un Animat :*

Animat est la contraction du mot animal et matériel qui veut dire animale artificielle. Ce terme joint également les robots et toute sorte de simulations virtuelles. Le mot a été introduit pour la première fois par Stewart W. Wilson en 1991 lors de la première expérience de simulation de comportement adaptative connue sous « *From Animals to Animats* »

Animat est une approche expérimentale simulant des comportements animaux dans des entités virtuelles ou dans des robots. Un Animat est caractérisé par son autonomie, autrement dit, il a la capacité d'observer, de décider et d'agir en s'adaptant avec son

²² HEUDIN, J.-C. (2008). *Les créatures artificielles des automates au monde virtuels*. Villeneuve-d'Ascq: Odile Jacob.

environnement sans être prévenu, à l'avance, des changements possibles. Il peut ainsi interagir et s'intégrer à l'environnement, car il a la capacité de s'adapter à un éventuel changement de celui-ci en se basant sur sa propre expérience qu'il mémorise grâce à l'apprentissage. Ceci lui permet de participer à la crédibilité de son univers virtuel.

III. Intelligence artificielle, vie artificielle et science:

Dans les deux parties précédentes, j'ai traité de l'intelligence artificielle et de la vie artificielle séparément. Je vais aborder maintenant les domaines d'application de l'IA et la vie artificielle, que ce soit dans les domaines scientifiques ou dans la vie quotidienne.

1. Les systèmes experts :

Les systèmes experts sont propres à l'IA. Un système expert est un système comportant un ensemble de logiciels qui facilite la prise de décision. Un système expert est constitué d'un moteur d'inférence²³ et une base de connaissance. C'est en quelle que sorte, la transposition logiciel des différentes compétences et méthode de raisonnement d'un ou plusieurs experts. Mitchell Feigenbaum dit à ce propos « *[un système expert] vu comme un modèle de l'expertise du meilleur praticien dans le domaine* »²⁴. Il est caractérisé par le fait qu'il est évolutif dans le sens où grâce à son système d'acquisition, il évite de réécrire ces programmes. D'une manière plus simple, les systèmes experts sont conçus pour aider leur utilisateur de prendre la meilleure solution ou décision pour leur questionnement.

MYCIN, est le plus ancien et surtout le plus connu dans l'histoire des systèmes experts. Dans les années 1970, une équipe de chercheurs de *Stanford University* ont mis au point un programme, dans le cadre d'une expérimentation se basant sur l'hypothèse qu'il est possible de représenter le raisonnement médical sous forme de règles, capable d'aider les médecins à diagnostiquer des maladies infectieuses et également des

²³ Un moteur d'inférence est une partie du système qui assure l'élaboration de solution et cela en choisissant les règles de production en vue de résoudre un problème bien défini.

²⁴ Hervé CHAUDET, L. P. (1998). *Intelligence artificielle et psychologie cognitive*. Paris: DUNOD.

maladies liées à la coagulation du sang. La première version, dite de base, avait pris deux ans de réalisation (de 1972 à 1974) avec une équipe composée de médecins experts en pharmacologie clinique des infections bactériennes et des informaticiens. La version de base a fait d'emblée ses épreuves : sur quinze cas représentant des infections bactériennes, onze recommandations proposées par MYCIN étaient approuvées par cinq experts. Par la suite, de 1978 et 1979, MYCIN a encore une fois de plus prouvé son efficacité dans le cas des maladies liées au sang, comme dans le cas des méningites.

MYCIN réalise quatre tâches :

Demande d'informations sur le cas à traiter.

Applique ses connaissances à partir de sa base de données de connaissances.

Donne son jugement et conseil.

Répond aux questions sur son raisonnement.

Il répond également à quatre questions :

Quelles sont les infections importantes existantes ?

Quel microbe est la cause de chaque infection ?

Quels médicaments sont efficaces ?

Quel est le meilleur médicament ?

Ceci est un exemple de conclusion pris par MYCIN selon ses connaissances :

SI

*le site de culture est le sang, et que le germe est positif à la coloration de Gram,
et que la porte d'entrée est l'appareil gastro-intestinal, et que*

[A] – l'abdomen est le site d'infection où

[B] – le bassin est le site d'infection

ALORS

*Il y a de très fortes présomptions pour que les entérobactéries soient la classe d'organismes que la thérapie devra traiter.*²⁵

Il prescrit les antibiotiques adéquats précisant même les dosages.

À tout instant *MYCIN* peut être sollicité par l'utilisateur pour répondre à ces demandes ; pourquoi (*why ?*) : par conséquent, donner une trace du raisonnement en cours et comment (*how ?*) : pour présenter une trace de la source du fait.

Mais *MYCIN* n'a jamais vraiment dépassé le stade du prototype et donc n'a jamais été utilisé en réalité.

Nous pouvons conclure et dire que malgré les résultats prometteurs de ce type de système expert, il reste tout de même difficile à concevoir, à maintenir et à utiliser étant donnée sa complexité.

2. Les Robots :

Plusieurs mécanismes de la vie artificielle typiquement les algorithmes évolutionnaires, ont été mis en œuvre afin de concevoir des agents automates tels que les robots. Il n'est plus question de se contenter d'élaborer des algorithmes fiables théoriquement ou simulés sur ordinateur, mais également de les réaliser physiquement. Qu'elle est l'histoire des Robots ? Quels avantages apportent-ils à l'homme ?

Avant de me perdre dans le fil de l'histoire des Robots, j'ai cherché l'origine du mot. En effet, le mot Robot a été introduit pour la première fois par le dramaturge tchèque Karel Capek en 1921 et qui signifie « travail forcé ». Il l'avait utilisé dans sa pièce de théâtre intitulée *R.U.R. (Rossum's Universal Robots)*. Il faut noter qu'avant cela, en 1818, la créature nommée *Frankenstein* de la romancière Mary Shelly qui avait l'allure d'un homme, même si le mot n'a pas été formulé ainsi, représentait bien le concept robot que nous connaissons aujourd'hui. En outre, si le concept lui a été introduit depuis un peu moins que 200 ans, il a fallu attendre les années 1940 et avec l'appui des ordinateurs, pour que les robots des temps modernes fassent leurs

²⁵ Daniel, C. (mai 1997). *à la recherche de l'intelligence artificielle*. (B. Natalie, Trad.) manchecourt : Flammarion.

prémices. Quant au terme robotique qui répond à l'étude de l'utilisation des robots ont été introduits en 1941 par le chercheur et écrivain Isaac Asimov dans un chapitre intitulé Cycle fermé de son recueil Les Robots. Dans ce chapitre, il a suggéré trois lois de la robotique. Qui sont :

« Première loi : un robot ne peut porter atteinte à un être humain ni, restant passif, laisser cet être humain exposé au danger.

Deuxième loi : Un robot doit obéir aux ordres donnés par les êtres humains, sauf si de tels ordres sont en contradiction avec la première loi.

Troisième loi : Un robot doit protéger son existence dans la mesure où cette protection n'est pas en contradiction avec la première ou la deuxième. »

Et ce n'est que dans les années 1960 que le concept du robot s'est bien développé. Maintenant, si on se base sur cette définition concise qui qualifie toute machine programmable qui est apte d'imiter les actions d'une créature intelligente, alors on peut distinguer trois types de robot :

Le premier type s'agit des automates. Les automates sont des machines programmées à l'avance permettant l'accomplissement de différentes actions répétitives. On trouve ce type de robot dans le domaine de l'industrie. Le premier robot industriel exploité en Amérique de nord a été mis en place dans une confiserie dans les années 1960. Notons également que l'industrie de l'automobile exploite 50 % des robots industriels. Dans le domaine médical, on trouve le robot Da Vinci qui est une machine chirurgicale pilotée par un médecin permettant ainsi la réalisation d'opération. Da Vinci est équipé de trois ou quatre bras, selon les versions, dont l'un d'eux est muni d'une caméra endoscopique donnant une vue en 3 dimensions (3D). Les autres bras tiennent le matériel chirurgical. L'avantage de manipuler ce type de robot médical réside dans le fait qu'il porte une grande précision grâce au sept degrés de liberté²⁶, à la différence du poignet humain qui lui ne possède que trois. Au demeurant, les opérations réalisées par ce type de robot médical diminuent le risque de complication postopératoire et cela par rapport à une opération réalisée par un médecin dans le sens où elle est moins réfractive.

²⁶ Il s'agit là des trois axes de translation et des trois axes de rotation plus le maintiennent.



Figure 14 Robot industriel



Figure 15 Da Vinci

Le second type s'agit des robots munis de capteur simulant les sens. On cite à titre d'exemple des capteurs de température, photoélectronique, à ultrasons, etc., qui leur permettent d'éviter des obstacles ou également de changer de trajectoire. Ces capteurs permettent à ce type de robots d'acquérir une certaine autonomie pour une meilleure adaptation aux éventuels changements fortuits de leur environnement. Citons à ce propos le robot aspirateur qui appartient à cette catégorie.



Figure 16 Robot aspirateur

La troisième catégorie regroupe les robots évolués on les appelle également intelligents se basant sur des modèles mathématiques complexes comme les réseaux de neurones. Les premiers robots ne faisaient que reproduire les comportements animaux. Ces systèmes bio-inspirés n'étaient pas conçus ex nihilo, mais plutôt évolués. Seulement, l'inconvénient est que ces derniers portent leur évolution sur l'intelligence et non sur leur morphologie. Parmi les robots évolués, on trouve *Asimo*. Asimo est l'acronyme d'*Advanced Step in Innovative MObility*. Ce robot humanoïde est un robot de recherche, une fois à terme il sera en mesure d'aider les individus âgés, ou encore présentant un handicap à l'instar d'effectuer des tâches qualifiées dangereuses pour l'homme. *Asimo* est capable de changer de trajectoire en marchant, de monter et de descendre les escaliers de sourire et également de comprendre la parole humaine et de répondre.

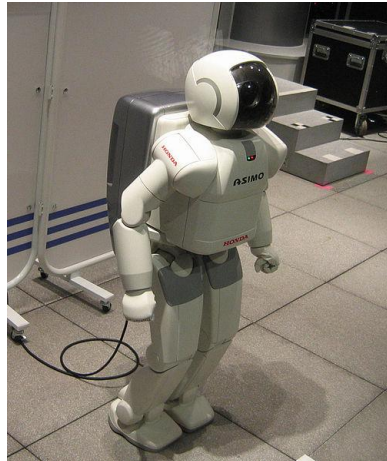


Figure 17 Un robot Asimo

IV. Intelligence artificielle, vie artificielle et art numérique :

Certains trouvent que l'art numérique ne mérite pas le mot Art. Ils pensent que l'art numérique est hanté par des appellations d'art technologique, d'art cybernétique. Il est vu comme étant entaché par la technologie et non augmenté par la technologie. D'autre le trouve proche de la science, de l'intelligence artificielle, de la robotique et des

créatures artificielles qui se caractérise par une auto-crédation en temps réel grâce à l'interaction avec un public curieux. Qu'est-ce que l'Art numérique et qu'apporte-t-il de nouveau ?

1. Art numérique :

L'art numérique renouvelle une perspective où la technologie et le savoir technique se mêlent avec la « technoscience »²⁷ et où l'art numérique est issu du langage spécifique de l'ordinateur. Ce nouvel outil entraîne l'apparition d'une nouvelle expression artistique et esthétique qui toutefois s'inscrit dans une continuité avec les techniques précédentes comme le développe Edmond Couchot :

« ... rompant avec toutes les techniques antérieures de figuration [...] rompant avec tous les modes de socialisation des œuvres (reproduction, conservation, diffusion, monstration), réintroduisant par sa très forte technicité la présence active de la techno science au sein de l'art, le numérique, en tant que technique de simulation, porte cependant en lui les moyens de s'inscrire dans le prolongement des techniques traditionnelles utilisées par les artistes, voire dans le prolongement de ce dé-spécification technique propre à l'art du XX^e siècle. Le numérique est facteur à la fois de rupture et de continuité. C'est à ce paradoxe que s'affrontent tous ceux qui utilisent un ordinateur pour faire œuvre. De la manière dont ils conjuguent le calculable et le sensible, le nouveau et le traditionnel, se définit leur esthétique. »²⁸

L'œuvre apporte une nouvelle définition des rapports entre le spectateur²⁹, l'auteur et elle-même. Avec l'apparition de l'art numérique, on voit surgir un nouveau triangle créatif. Les œuvres non interactives étaient à jamais définitives, elles ne réagissaient pas et elles n'avaient pas besoin de l'action du spectateur pour advenir dans leur totalité.

²⁷ Le terme « technoscience » a été introduit dans les années 1970 par le philosophe belge Gilbert HOTTOIS, la notion de technoscience tend à réduire l'écart entre les sciences et les techniques compte tenu du fait que les inventions scientifiques et les découvertes techniques se mettent dans le même contexte social et donc de mettre en valeur leurs liens étroits.

²⁸ (Edmond COUCHOT, 2009) L'art numérique page 36.

²⁹ On remarque ici que j'ai utilisé le mot spectateur pour désigner cette personne qui se trouve en face de l'oeuvre, car dans ce cas on parle plus de la même personne. On est plus face à un public passif, mais plutôt par opposition active. Dans le recueil intitulé « La place du spectateur » de Michael Fried, l'artiste se demande sur la nature de la relation entre l'œuvre et le spectateur et cela en se basant sur la théâtralité en le présentant comme un acteur de la scène.

Elles étaient l'incarnation de la pensée de son auteur, prenant forme par exemple dans un tableau, une statue ou encore un morceau de musique, une poésie, un roman, etc. Ainsi, on est face à un flux qui part de l'artiste et qui arrive vers le spectateur en passant par l'œuvre dans un mouvement unidirectionnel.

Pour Michel Bret « *Dans la conception classique de l'art, l'artiste est une sorte de démiurge. L'œuvre terminée est à jamais figée. C'est une pièce de musée. Avec les arts numériques, le processus de création va jusqu'à la liberté totale de l'œuvre elle-même* »³⁰.

Avec le développement technologique et scientifique, les artistes ont trouvé un autre moyen de dialoguer avec le spectateur en lui donnant en quelque sorte le moyen de répondre à l'artiste. Donc on serait devant un mouvement bidirectionnel. Dans le premier cas, on est face à une œuvre invariante physiquement où seule sa réception par le percepteur est imprévisible. Dans le deuxième cas, on se trouve devant une œuvre interactive qui a ouvert une nouvelle expérience entre elles-mêmes son auteur et le spectateur.

L'œuvre interactive a rompu avec les liens traditionnels pour laisser place à un nouveau rapport grâce au dialogue plurisensoriel entre le spectateur et elle-même. On provoque, si cela est possible, tous les sens du spectateur afin qu'il interagisse et participe ainsi à la création de l'œuvre. Dès les années 1960 et 1970, il y a eu ce questionnement sur la participation du spectateur dans le processus de la création artistique. L'œuvre se crée petit à petit grâce aux interventions des spectateurs. D'une action sur du matériel (objet physique) naissent des événements. L'œuvre au départ est inerte, mais dès qu'un spectateur la sollicite d'une manière ou d'une autre, celle-ci ne lui est pas insensible. On peut donc parler d'une œuvre initiale et d'une œuvre émergente. Elle est créée par deux auteurs, d'une part l'auteur qui lui a donné les règles de participation du spectateur, d'autre part le spectateur qui dialogue avec elle et se laisse surprendre par cette interaction créatrice. « *On peut donc dire que l'œuvre est in fine créée par deux auteurs. Un auteur-amont, à l'origine du projet, qui en prend l'initiative et qui définit programmatiquement les conditions de la participation du spectateur (et de sa liberté qui n'est jamais totale) et un auteur-aval qui s'introduit*

³⁰ Michel Bret avait commentait cela en mars 2007 dans « *Innovation Le Journal* » sur la question de *qu'est-ce que l'art numérique ?*

dans le déploiement de l'œuvre et en actualise les potentialités. Ce qui est interdit à un spectateur traditionnel qui n'a aucune prise sur l'œuvre capable d'en modifier l'aspect. »³¹

À la vue de sa complexité architecturale et du nombre d'instructions à exécuter limité, l'ordinateur peut être perçu comme un handicap pour la création artistique, comme incapable d'exprimer le sensible par l'informatique. Mais si au contraire, cette contrainte est considérée comme source d'inspiration, cette idée nous laisse libres, cours à notre sensibilité pour innover, pour découvrir d'autres formes d'expression.

La création a souvent été vue comme provenant d'un génie, d'une révélation, d'une pensée. Avec l'art numérique et l'apparition des œuvres interactives, elle est plutôt considérée comme un double mouvement celui émanant de l'artiste et celui issu de l'« interacteur³² » qui ensemble crée le monde virtuel et y interviennent. C'est l'option que j'ai choisie pour mon projet de recherche. L'œuvre est non seulement perçue par l'« interacteur », elle est dotée elle-même de perception et elle contribue à sa propre naissance à travers plusieurs processus d'action, comme le simple toucher de l'écran dans le cas de mon projet. L'œuvre devient adaptative, dans la mesure où celle-ci douée de processus non déterministes issus d'apprentissages par réseaux de neurones, créent une vie surprenante, cohérente et crédible.

2. Intelligence artificielle, vie artificielle et art numérique:

2.1. La funambule :

³¹ Gouchot Edmond, Hillaire Norbert, *L'art numérique, comment la technologie vient au monde de l'art ?* Pages 109,110.

³² Le terme «interacteur» a été introduit pour la première fois par Jean Louis WEISSBERG dans son livre *Présence à distance*. Dans son recueil il fait référence à la notion d'interactivité qui la considère propre à l'informatique des années 1980. Cette *notion tentait de désigner une forme de communication entre programmes et sujets humains...* []



Figure 18 "La funambule virtuelle" Michel Bret³³ et Marie H el ene Tramus³⁴ (2000)

Dans le cadre de ma recherche sur l'apport de l'intelligence artificielle à la création artistique, un des exemples illustratifs de cette démarche est l'installation interactive « La funambule » crée par Michel Bret et Marie H el ene Tramus en 2000. Le dispositif³⁵ se présente sous la forme d'un écran sur lequel est projetée une funambule virtuelle qui évolue sur son fil. L'écran est face au spectateur. Le monde virtuel se prolonge dans le monde réel via le fil qui est dessiné sur le sol. Les capteurs permettent le traitement en temps réel des variations de position et de pression transmise à l'ordinateur sont placés sous le fil dessiné au sol. La funambule est sensible à tout ce qui se passe dans son environnement, dès qu'un spectateur pose le pied sur le fil dessiné cela provoque le déséquilibre de la funambule. La funambule tend à retrouver son équilibre en se r f rent à ce qu'elle a déjà appris grâce aux réseaux de neurones et on créant de nouvelles positions sans que l'on sache comment elle s'y est prise, le changement de position et d'orientation du spectateur soit en avançant ou reculant sur le fil réel sont prises comme les nouvelle entrées des réseaux de neurones à partir desquelles elle essaie de généraliser ce qu'elle a déjà appris ce qu'il lui confère son autonomie. Lorsque le public entre en relation avec elle, elle réagit par des mouvements qui lui permettent de garder son équilibre. La funambule ne cherche pas à reproduire les mêmes mouvements et gestes du spectateur, mais plutôt à rétablir son équilibre perturbé par ce dernier à partir de la mémoire de son apprentissage.   fur et à mesure naissent de nouveaux mouvements et un lien fort et clair se tisse entre le spectateur et la funambule.

³³ Professeur en *Arts et Technologies de l'Image*   l'université Paris 8, ATI, Université Paris 8, 2 rue de la liberté, Saint-Denis, 93

³⁴ Professeur en *Arts et Technologies de l'Image*   l'université Paris 8, ATI, Université Paris 8, 2 rue de la liberté, Saint-Denis, 93 ; Courriel : mh.tramus@club-internet.fr

³⁵ Version 2002 du Festival *Premier contact* de Cube   Issy-les-Moulineaux

Un dialogue poétique voit le jour une sorte de chorégraphie de dance improvisé. Une fois que le spectateur prend conscience de l'impact de son déplacement sur le fil, une complicité naît entre eux et cela devient quasi naturel, fluide. Le spectateur et cette créature artificielle se laissent surprendre chacun à son tour, laissant place à une danse. La funambule a, dans un premier temps, appris un certain nombre de situations de déséquilibre et d'apprentissage rééquilibrage. Une fois entrée en dialogue interactif avec le spectateur, elle improvise de nouvelles réactions. Tous les gestes élaborés par la funambule sont singuliers et propres à cet instant. Ce ne sont pas les mêmes gestes que les gestes appris, mais le fruit d'une émergence entre le déjà acquis et le présent.

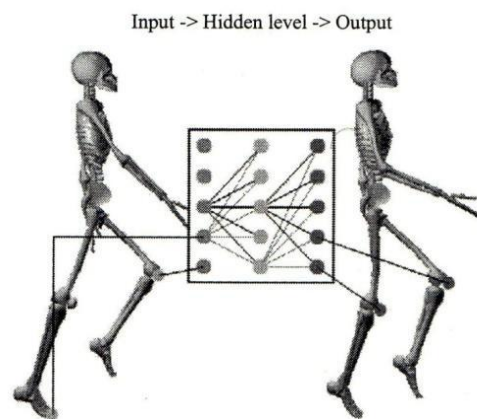


Figure 19 Réseau neuronal de type Perceptron multicouches des acteurs virtuels de Michel Bret et Marie Hélène Tramus

2.2. AquaFish:

2.2.1. Historique :

Le projet a commencé à voir le jour quand j'ai fait mon stage ici à ATI (département Arts et Technologies de l'Image) au sein du laboratoire de recherche Inrev. L'objectif étant de fournir en open source une panoplie de programme exportable et réutilisable et que cela soit libre de droit. En vue de mon parcours en tant qu'informaticienne je me suis penchée sur l'intérêt de l'intelligence artificielle et vie artificielle pour la création en art numérique. Pour cela il fallait trouver un sujet qui illustre en quelque sorte cette problématique. C'est la raison pour laquelle j'ai choisi de développer des poissons dotés de petits cerveaux qui leur permettront d'être autonomes et d'interagir avec leur environnement à l'intérieur d'un aquarium virtuel dans lequel ils sont immergés.

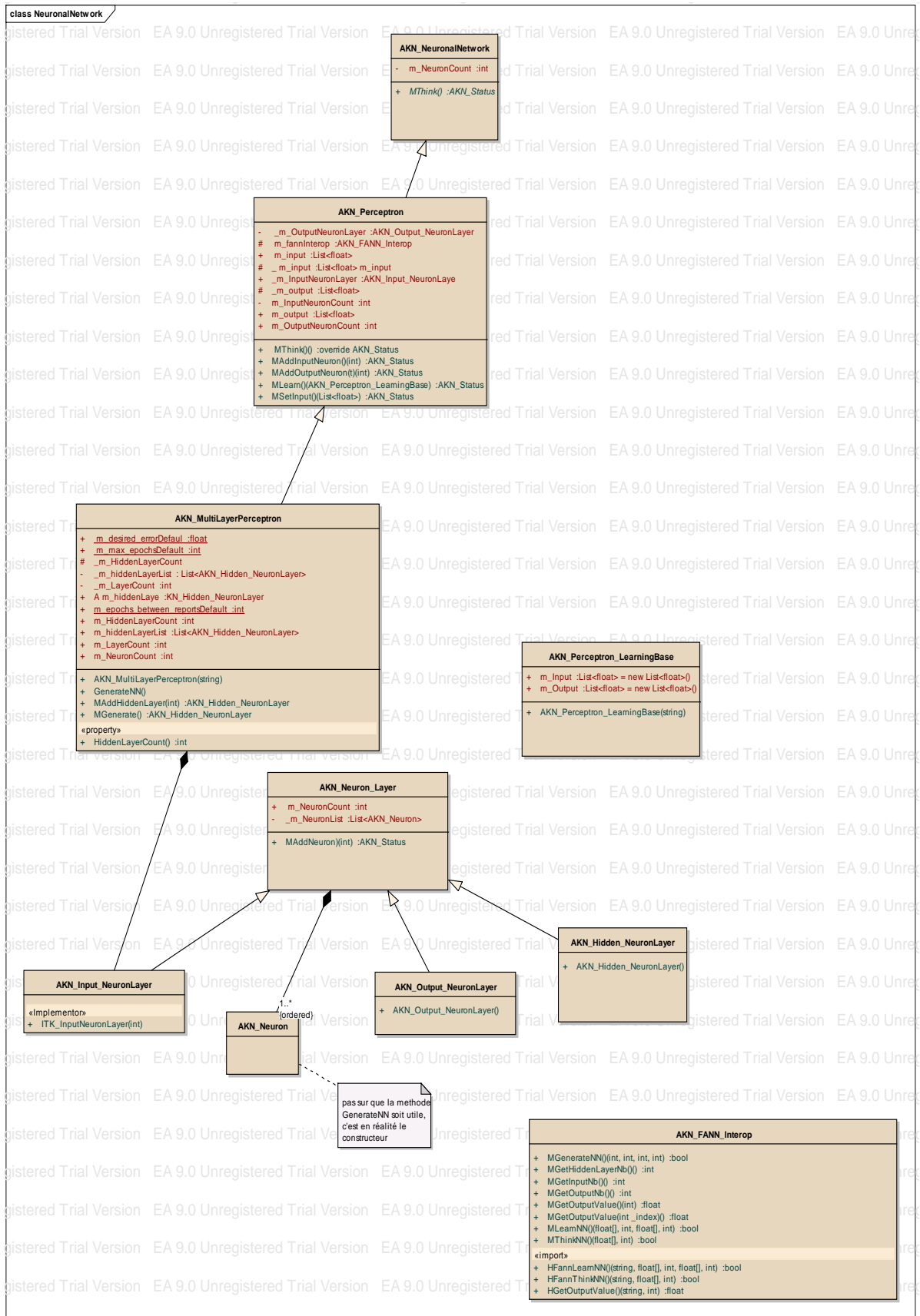
L'image n'est plus considérée comme figée, immobile qui est là seulement pour être vue par un récepteur³⁶, mais plutôt quelque chose de vivant en dialogue avec celui-ci, non plus seulement par la vision, mais aussi par le toucher dans le cas de mon projet de recherche. L'image n'est plus considérée comme une simple représentation symbolique d'une réalité, mais comme source d'une multitude d'événements déclenchés, non plus par un récepteur contemplateur, mais par un véritable «interacteur» grâce au toucher.

Et si l'œuvre échappait à son auteur en lui faisant découvrir de nouvelles formes de propositions grâce à son petit cerveau (réseaux de neurones) ? Ainsi, le créateur délèguerait à son œuvre cette maîtrise et le créateur se laisserait aller à être surpris par ses propres créations issues de l'interaction entre artiste et spectateur. Le créateur n'aurait plus à anticiper sur son œuvre et sur la façon dont cette dernière se dévoilerait soudainement à lui. En quelque sorte, il deviendrait le spectateur de son œuvre.

Pour pouvoir donner à mon poisson la possibilité d'immerger dans son aquarium et de se comporter d'une manière autonome, j'ai commencé tout d'abord par mettre en place un plug-in pour la bibliothèque FANN pour Fast Artificial Neuronal Network.

2.2.2. Diagramme de classe :

³⁶ Si le public se contente à la seule action de la réception c'est-à-dire de seulement convertir les signaux visuels en un simple sentiment de plaisir esthétique ou dégoût ou les deux ensembles risque d'être passive et vue comme une simple machine à convertir les différents signaux reçus.



Pour une meilleure réutilisation de mon réseau de neurones, il fallait que je le teste sur un exemple simple. La phase d'ébauche de mon réseau de neurones a tout d'abord

commencé par définir un exemple concret. Le tout, est de se mettre dans la peau d'un utilisateur qui ne connaît rien en programmation. Dans mon cas, je me suis dit qu'il me faut un réseau qui comporte deux neurones en entrée, un neurone en couche cachée et neurone de sortie et cela pour résoudre le XOR.

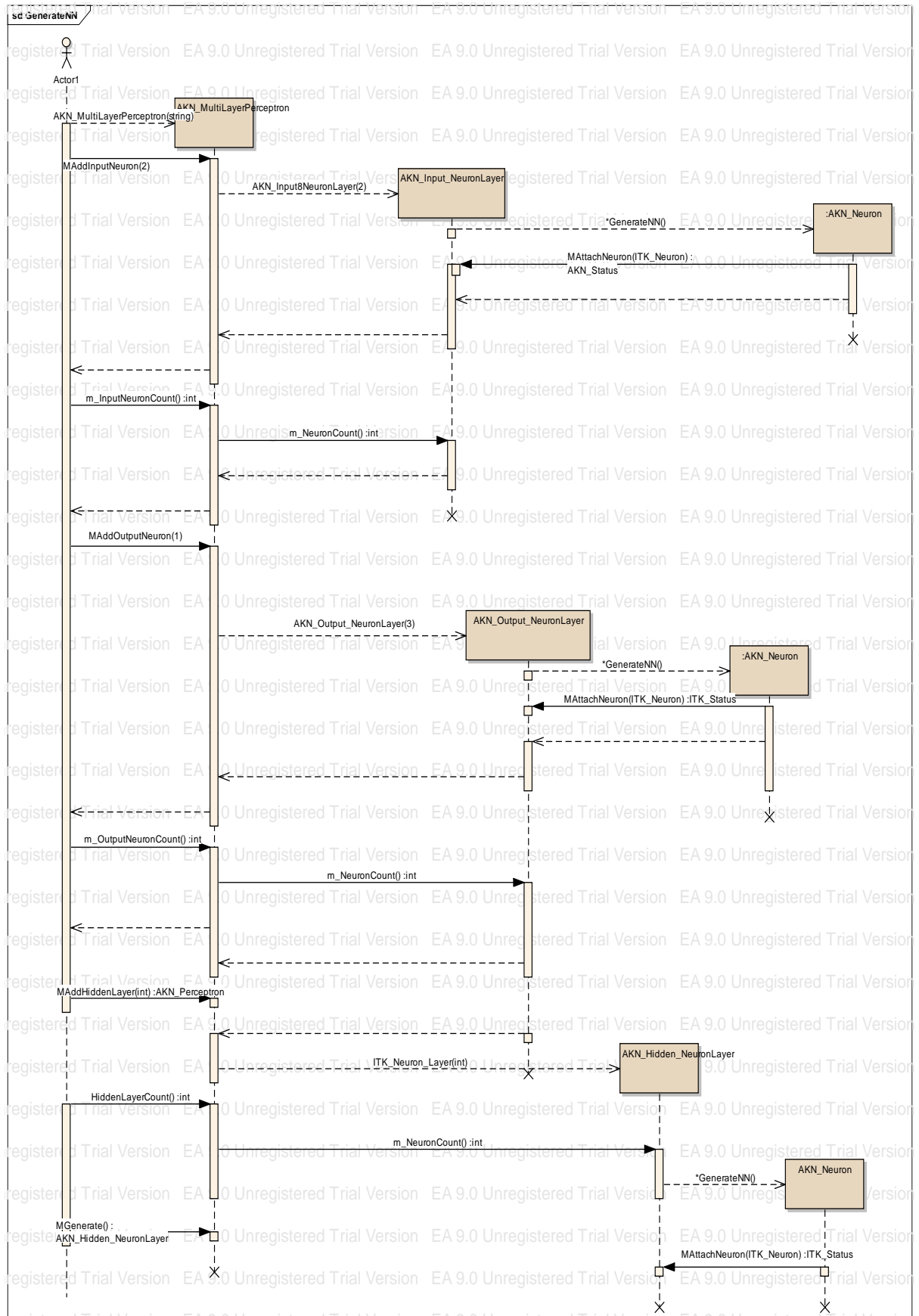
Ci-dessous la table de vérité

X ₁	X ₂	X ₁ Xor X ₂
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

La sortie ne renvoie 1 que si l'une des deux entrées est égale à 1. Donc pour le réaliser j'avais besoins d'une classe *AKN_MultiLayerPerceptron* qui me permettait d'instancier des objets de type Perceptron multicouche autrement dit des réseaux de neurones artificiels. Dans cette classe, je dois pouvoir rajouter des entrées autant que je veux et c'est la méthode *MAddInputNeuron (int _neuronToAdd)* qui prend comme paramètre un entier qui désigne le nombre de neurones d'entrées. Une méthode pour le rajout de neurones de sorties *MAddOutputNeuron (int _neuronToAdd)*. Une classe *AKN_Hidden_NeuronLayer* qui contient une méthode *MAddHiddenLayer()* avec laquelle je peux créer des objets de type des couches cachées comportant des neurones grâce à sa méthode *MAddNeuron()* et qui prend comme paramètre le nombre de neurones. Alors une fois mon réseau créé, il faut lui apprendre que s'il a (0,1) comme entrées et bien il faut par conséquent me renvoyer 1. Comme tout apprentissage, je lui passe les valeurs d'entrées et la valeur de sortie pour qu'il l'apprenne et cela via la méthode *MLearn()* qui prend pour paramètre une base d'apprentissage. Pour voir s'il a bien appris je le questionne grâce à la méthode *MThink()* qui veut dire, réfléchi. Je lui initialise les valeurs de sont entrée à (0,1), je récupère sa réponse, je la compare avec la valeur désirée si elle se rapproche de valeur donc, il a bien appris sinon je le lui fais réapprendre. D'une manière générale il faut que mon test passe. Cette étape me permet, comme pour un architecte ou un peintre d'avoir une esquisse une structure globale à raffiner, sculpter à fur et à mesure de l'avancement et la complexité de programmation. Pour vous dire, cette étape quoi qu'elle semble simple, m'avais pris le deux tiers de mon

temps pour la réaliser, car c'est la base de mon programme. Ci-dessous, un diagramme de séquence qui illustre la création d'un réseau de neurones.

2.2.3. Diagramme de séquence



Une fois le test mis en place, je me suis intéressée à la modélisation.

La figure ci-dessous représente le modèle final de mon poisson

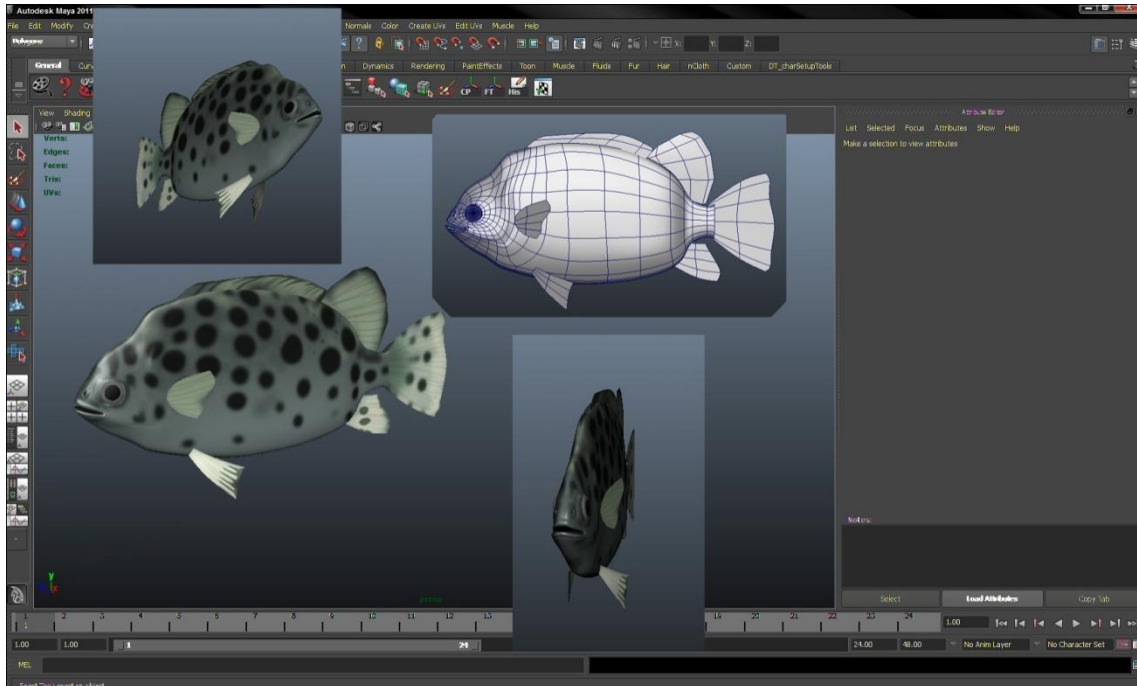


Figure 20 Le modèle de mon poisson

Pour mon cas j'ai trouvé un peu de difficulté pour la modélisation. De plus, j'avais une contrainte d'un nombre de polygones à ne pas dépasser en raison du fait que mon installation est dédiée au temps réel. Grâce à l'aide d'un ami Saïfi, j'ai pu modéliser le poisson. Par la suite, je l'ai « setup », qui est une phase qui suit le modelage 3D qui consiste à mettre les joints qui permettront au poisson de bouger. C'est-à-dire, en terme plus simple il faut attribuer au modèle un squelette qui coïncide avec la morphologie du poisson. Une fois cette phase achevée vient la phase du « rigging » qui vise à simuler les contractions des muscles ou encore a rattaché le squelette à la peau. Et finalement, l'étape de « skinning » qui consiste à bien délimiter les zones d'influence qu'exerce la contraction des muscles sur la peau. À la fin de ces trois processus, j'obtiens le poisson avec d'une part son corps et de l'autre son cerveau (le réseau de neurones). L'étape qui suit consiste à regrouper les deux ; mon poisson inanimé d'un côté et le cerveau de l'autre. Cette phase je l'ai trouvée la plus amusante. Je vous explique, une fois j'ai greffé au poisson un cerveau j'ai remarqué que je ne pouvais pas appréhender ses mouvements. D'abord, je lui ai créé un cerveau avec trois entrées et trois sorties. Les entrées sont ces axes X, Y et Z qui prennent comme valeur la position actuelle du

poisson qui est la sortie du réseau de neurones. Cela me permet de voir si ma structure du réseau de neurones s'applique à un autre exemple. Le schéma ci-dessous illustre ce que je viens de dire c'est le *feedback* ou encore le rétro-propagation.

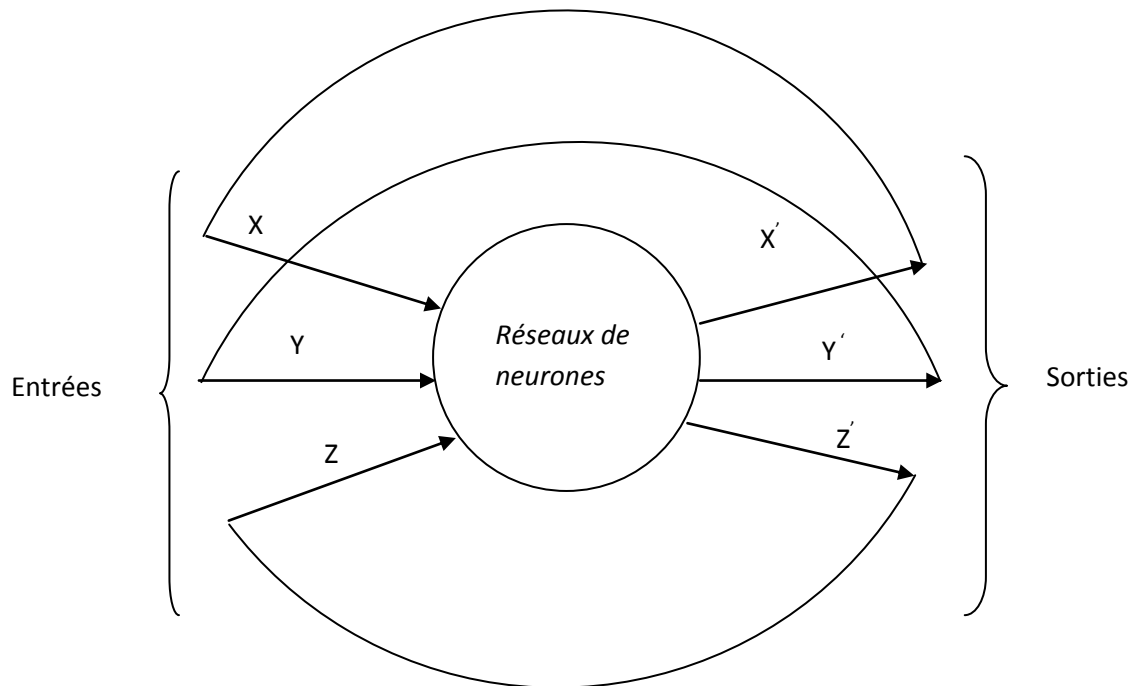


Figure 21 Le réseau de neurones du poisson

Le résultat comme vous pouvez l'imaginer est un peu prévisible. Ce qu'on voit sur l'écran, est un poisson qui tourne sur lui-même. Cela prouve que mon réseau de neurones fonctionne. Le seul inconvénient de ma structure de réseau de neurones est qu'il ne permet de créer qu'une seule couche cachée de neurones. Pour y remédier, il faut une variable dynamique qui permet de créer autant de couches et leur associer le nombre de neurones. Après avoir testé le bon fonctionnement de mon réseau de neurones, je lui apprend de suivre la souris. Je récupère les coordonnées de la souris, je calcule le vecteur direction que je le normalise mathématiquement parlant c'est rendre la norme d'un vecteur égale à 1. Ensuite, je calcule le vecteur erreur qui est la différence entre le vecteur direction dit aussi goal et la sortie de mon réseau de neurones. Je récupère ce vecteur pour vérifier si mon poisson apprend bien pour que dans le cas contraire je lui fasse apprendre encore plus. Par la suite, je rajoute au poisson à fur et à mesure des comportements nouveaux, comme de chercher sa nourriture, d'éviter le décor dans l'aquarium ou encore d'avoir peur.

Conclusion

Au tout début du projet, je cherchais à créer une entité virtuelle capable de s'adapter dans son environnement. Mon intérêt se portait essentiellement sur l'intelligence artificielle et vie artificielle. Je n'avais pas en tête la fibre artistique qui pouvait mettre en valeur l'aspect technique. Je me suis plongée dans les livres des sciences cognitives, des articles traitant la psychologie en quête du savoir. De fil en aiguille, je prenais conscience de ce que la technique portait à l'aspect artistique et je commençais à voir clair. C'est exactement cela, c'est toute la robustesse technique qui rendait le projet purement artistique. On est toujours à la recherche de nouvelles formes d'expressions. J'étais fascinée par cette forme de délégation de contrôle. De pouvoir voir l'évolution de mon poisson sans pour autant être en mesure d'intervenir. Et j'aimerais à ce propos y travailler encore plus pour l'améliorer.

Annexes

Le fichier AKN_FANN_BI.h

```
#ifndef AKN_FANN_BI_H
#define AKN_FANN_BI_H

#include <AKN_FANN_MACRO.h>
#include <AKN_BinaryInterop.h>
# include <vector>
# include <iostream>
#include <fann.h>

namespace AKeNe
{
    namespace Binary
    {
        namespace FANN
        {
            class AKN_FANN_DLL AKN_FANN_BI: public
AKeNe::Binary::AKN_BinaryInterop
            {
            public:

                AKN_FANN_BI(string _id);
                virtual ~AKN_FANN_BI(void);

                virtual int MGetInputNb();
                virtual int MGetOutputNb();
                virtual int MGetHiddenLayerNb();
                virtual bool MGenerateNN(int _numlayers, int _input,
int _hidNeuron, int _output);
                virtual bool MLearnNN(float * _pinputValue, int
_nbInput, float * _poutputValue, int _nbOutput);
                virtual bool MThinkNN(float * _pinputValue, int
_nbInput);
            };
        };
    };
};
```

```

        virtual float MGetOutputValue(int _index);

    private:
        struct fann *m_pFann;
        unsigned int m_numlayers;
        unsigned int m_InputNb;
        unsigned int m_OutputNb;
        unsigned int m_nbHiddLay ;

    };
}
}
}
#endif

```

Le fichier AKN_FANN_BI.cpp

```

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
/// <summary> the a ke ne. </summary>
///
/// <value> a ke ne. </value>
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
#include <AKN_FANN_BI.h>
#include <AKN_FANN_MACRO.h>
#include <AKN_BinaryInterop_Manager.h>
#include <iostream>
#include <fann.h>

namespace AKeNe
{
    namespace Binary
    {
        namespace FANN
        {

```

```
AKN_FANN_DLL AKN_FANN_BI::AKN_FANN_BI
(string _id):AKeNe::Binary::AKN_BinaryInterop(_id)
{
    m_pFann = NULL;
    m_InputNb = 0;
    m_nbHiddLay = 0;
    m_OutputNb = 0;
    m_numlayers = 0;
}

AKN_FANN_DLL AKN_FANN_BI::~AKN_FANN_BI(void)
{
}

int AKN_FANN_DLL AKN_FANN_BI::MGetHiddenLayerNb()
{
    m_nbHiddLay = fann_get_num_layers(m_pFann) - 2;
    return m_nbHiddLay;
}

int AKN_FANN_DLL AKN_FANN_BI::MGetInputNb()
{
    m_InputNb = fann_get_num_input(m_pFann);
    return m_InputNb;
}

int AKN_FANN_DLL AKN_FANN_BI::MGetOutputNb()
{
    m_OutputNb = fann_get_num_output(m_pFann);
    return m_OutputNb;
}

bool AKN_FANN_DLL AKN_FANN_BI::MGenerateNN
```



```

(int _numlayers, int _input, int _hidNeuron , int _output)
{
    m_numlayers = 3;
    m_InputNb = _input;
    m_OutputNb = _output;
    m_nbHiddLay = _hidNeuron;
    m_pFann = fann_create_standard(m_numlayers, m_InputNb,
                                  m_nbHiddLay, m_OutputNb);

    if(m_pFann)
    {
        return true;
    }else{
        return false;
    }
}

bool AKN_FANN_DLL AKN_FANN_BI::MLearnNN(float * _pinputValue,
    _nbOutput)
    int _nbInput, float * _poutputValue, int

{
    fann_set_activation_function_hidden
        (m_pFann, FANN_SIGMOID_SYMMETRIC);

    fann_set_activation_function_output
        (m_pFann, FANN_SIGMOID_SYMMETRIC);

    fann_train(m_pFann, _pinputValue, _poutputValue);

    return true;
}

bool AKN_FANN_DLL AKN_FANN_BI::MThinkNN(float *
    _pinputValue, int _nbInput)

{
    float * _poutputValue = fann_run(m_pFann,
        _pinputValue);

    return true;
}

```

```

float AKN_FANN_DLL AKN_FANN_BI::MGetOutputValue(int _index)
{
    float * m_pOutputValue;
    struct fann_neuron *neurons;
    m_pOutputValue = m_pFann->output;
    return m_pOutputValue[_index];
}

}

}

extern "C"
{
    extern bool AKN_FANN_DLL HCreateFannInterop(char* _id)
    {
        AKeNe::Binary::AKN_BinaryInterop* pFannNnBinaryInterop = new
        AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI(string(_id));

        return true;
    }

    extern bool AKN_FANN_DLL HCreateFannNN (char* _id, int _numlayers, int
    _input, int _hidNeuron, int _output)
    {
        AKeNe::Binary::AKN_BinaryInterop_Manager* binInteropManager =
        AKeNe::Binary::AKN_BinaryInterop_Manager::MGetInstance();

        AKeNe::Binary::AKN_BinaryInterop* binInterop = binInteropManager-
        >MGet(string(_id));

        AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI* pFannNnBinaryInterop =
        dynamic_cast<AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI*>(binInterop);

        bool isTrue = pFannNnBinaryInterop->MGenerateNN(_numlayers, _input,
        _hidNeuron, _output);

        return isTrue;
    }

    extern int AKN_FANN_DLL HFannGetOutputNb(char* _id)
    {

```

```

        AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI* pFannNnBinaryInterop =
dynamic_cast<AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI*>(AKeNe::Binary::AKN_BinaryInterop_
Manager::MGetInstance()->MGet(string(_id)));

        return pFannNnBinaryInterop->MGetOutputNb();
    }

extern int AKN_FANN_DLL HFannGetInputNb(char* _id)
{
    AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI* pFannNnBinaryInterop =
dynamic_cast<AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI*>(AKeNe::Binary::AKN_BinaryInterop_
Manager::MGetInstance()->MGet(string(_id)));

    return pFannNnBinaryInterop->MGetInputNb();
}

extern int AKN_FANN_DLL HFannGetHiddenLayer(char* _id)
{
    AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI* pFannNnBinaryInterop =
dynamic_cast<AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI*>(AKeNe::Binary::AKN_BinaryInterop_
Manager::MGetInstance()->MGet(string(_id)));

    return pFannNnBinaryInterop->MGetHiddenLayerNb();
}

extern bool AKN_FANN_DLL HFannLearnNN(char* _id, float * _pinputValue,
int _nbInput, float * _poutputValue, int _nbOutput)
{
    AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI* pFannNnBinaryInterop =
dynamic_cast<AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI*>(AKeNe::Binary::AKN_BinaryInterop_
Manager::MGetInstance()->MGet(string(_id)));

    return pFannNnBinaryInterop->MLearnNN(_pinputValue, _nbInput,
_poutputValue, _nbOutput);
}

extern bool AKN_FANN_DLL HFannThinkNN(char* _id, float * _pinputValue,
int _nbInput)
{
    AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI* pFannNnBinaryInterop =
dynamic_cast<AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI*>(AKeNe::Binary::AKN_BinaryInterop_
Manager::MGetInstance()->MGet(string(_id)));

    return pFannNnBinaryInterop->MThinkNN( _pinputValue, _nbInput);
}

extern float AKN_FANN_DLL HGetOutputValue(char* _id, int _index)
{

```

```

        AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI* pFannNnBinaryInterop =
dynamic_cast<AKeNe::Binary::FANN::AKN_FANN_BI*>(AKeNe::Binary::AKN_BinaryInterop_
Manager::MGetInstance()->MGet(string(_id)));

        return pFannNnBinaryInterop->MGetOutputValue( _index);
    }
}

```

Le fichier FishStatBaseScript.cs

Ce fichier permet au poisson d'avoir un comportement de base qui n'est d'autre que le fait de suivre la souris. On peut imaginer plein d'autres comportements.

```

using System;
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using AKeNe.AI.NeuronalNetwork;
using AKeNe;

public class FishStatBaseScript : MonoBehaviour
{
    public UnityEngine.AnimationClip m_ClipPlauyed;
    public float m_speed = 5f;
    float[] m_Outputresult = new float[3];
    public Vector3 m_positionGoal;
    public Vector3 m_entry;
    public Vector3 m_newPos;
    public float m_error = 0.2f;
    public GameObject m_nouriture;
    AKN_MultiLayerPerceptron myMultiLayerPercep;
    // Use this for initialization
    void Start()
    {
        myMultiLayerPercep = new AKN_MultiLayerPerceptron();
        myMultiLayerPercep.MAddInputNeuron(3);
        AKN_Hidden_NeuronLayer myHiddenLauer = new AKN_Hidden_NeuronLayer();
    }
}

```

```
myMultiLayerPercep.MAddHiddenLayer(8);
myMultiLayerPercep.MAddOutputNeuron(3);
myMultiLayerPercep.MGenerate();
}

// Update is called once per frame
void Update()
{
    m_positionGoal = Input.mousePosition;
    Vector3 toGoal = m_positionGoal - transform.position;
    toGoal.Normalize();
    myMultiLayerPercep.MSetInput(new List<float>() { toGoal.x, toGoal.y,
toGoal.z });
    myMultiLayerPercep.MThink();
    for (int i = 0; i < 3; i++)
    {
        m_Outputresult[i] = myMultiLayerPercep.m_output[i];
    }
    Vector3 m_newPos = new Vector3(m_Outputresult[0], m_Outputresult[1],
m_Outputresult[2]);
    Vector3 vError = toGoal - m_newPos;

    if (vError.magnitude > m_error)
    {
        AKN_Perceptron_LearningBase perceptron_LearningBase1 = new
AKN_Perceptron_LearningBase("perceptron_LearningBase1");

        perceptron_LearningBase1.m_Input.Add(m_entry.x);
        perceptron_LearningBase1.m_Input.Add(m_entry.y);
        perceptron_LearningBase1.m_Input.Add(m_entry.z);

        perceptron_LearningBase1.m_Output.Add(toGoal.x);
        perceptron_LearningBase1.m_Output.Add(toGoal.y);
        perceptron_LearningBase1.m_Output.Add(toGoal.z);
    }
}
```

```
        myMultiLayerPercep.MLearn(perceptron_LearningBase1);
    }
    print("la nouvelle position du poisson = " + m_newPos);
    transform.forward = m_newPos;
    print("la nouvelle position du poisson = " + m_newPos);
    transform.forward = m_newPos;
    transform.Translate(m_newPos);
}
}
```

Annexes de concept :

Cybernétique : la cybernétique est une émergence de l'holisme qui combine deux théorèmes. La première est celle du servomécanisme. L'autre étant le théorème de l'information et des calculateurs modernes.

Émergence : l'émergence est un essor de l'idée de l'holisme et du structuralisme. Cette idée revoit simplement à l'existence de relations mutuelles entre les diverses parties constituant un système complexe quelconque, absent dans le cas où les sous-systèmes sont isolés.

Holisme : l'holisme est une idée introduite par le philosophe est chef d'état sud-africain Jan Christiaan Smuts (né le 24 mai 1870 et mort le 11 septembre 1950), considérant la résolution ou encore la compréhension d'un objet naturel se réalise par le fait d'une observation de ce système dans sa globalité et non en partie séparées. Selon les propres mots de J. C. Smuts : « *[l'holisme] regarde les objets naturels comme des totalités... il considère la nature comme constituée de corps et d'objets concrets et distincts... [Qui] ne peuvent être complètement résolus en partie, et... qui sont plus que somme de leurs parts ; l'assemblage mécanique de leurs parties ne peut permettre de les produire, ni de rendre compte de leurs caractéristiques et de leurs comportements.* » Si on applique cette idée sur un système vivant, le fait d'assembler les différentes parties du système cela ne permet pas de le *reproduire*. Appliquée aussi sur l'esprit humain, elle soutient l'idée qu'une machine ne peut pas penser. Également, si on l'applique sur des systèmes complexes, suppose que les caractéristiques d'un système et les relations entre ses sous-systèmes appartiennent au composant du système et font appel à l'émergence.

Table des illustrations

<i>Figure 1 : Est-ce une machine ou un homme ?</i>	11
<i>Figure 2 : Analogie entre un neurone biologique et un neurone artificiel</i>	15
<i>Figure 3 Figure 4</i>	16
<i>Figure 5 Tableau de vérité des trois opérateurs booléens</i>	19
<i>Figure 6 Séparabilité linéaire et opération booléens</i>	19
<i>Figure 7 Fonction sigmoïde $Sx = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}}$</i>	20
<i>Figure 8 Schème d'un réseau de neurones artificiels</i>	21
<i>Figure 9 Feedback network</i>	21
<i>Figure 10 Feedforward</i>	21
<i>Figure 11 Apprentissage supervisé</i>	22
<i>Figure 12 apprentissage non supervisé</i>	22
<i>Figure 13 Le Canard de Vaucanson</i>	26
<i>Figure 14 Robot industriel</i>	31
<i>Figure 15 Da Vinci</i>	31
<i>Figure 16 Robot aspirateur</i>	31
<i>Figure 17 Un robot Asimo</i>	32
<i>Figure 18 "La funambule virtuelle" Michel Bret et Marie Hélène Tramus (2000)</i>	36
<i>Figure 19 Réseau neuronal de type Perceptron multicouches des acteurs virtuels de Michel Bret et Marie Hélène Tramus</i>	37
<i>Figure 20 Le modèle de mon poisson</i>	43
<i>Figure 21 Le réseau de neurones du poisson</i>	44

Bibliographie

- A.Simon, H. (2003). *Les sciences de l'artificiel*. Saint Amond: Folio essais.
- CHAZAL, G. (2000). *les réseaux du sens de l'informatique aux neurosciences*. (j.-c. beaune, Éd.) seysssel, haute-savoie, FRANCE: champ vallon.
- Daniel, C. (mai 1997). *à la recherche de l'intelligence artificielle*. (B. Natalie, Trad.) manchecourt: Flammarion.
- Darryl Charles, C. F. *Biologically Inspired Artificial Intelligence for Computer Game*. Hershey New York: Medical Information Science Reference.
- Edmond COUCHOT, N. H. (2009). *l'art numérique comment la technologies vient au monde de l'art*. malesherbes, 45330, france: champs arts.
- Guy CELLERIER, S. P. (1968). *Cybernétique et Epistémologie*. Paris, Saint germain: Bibliothèque scientifique internationale.
- Hervé CHAUDET, L. P. (1998). *Intelligence artificielle et psychologie cognitive*. Paris: DUNOD.
- HEUDIN, J.-C. (2008). *Les créatures artificielles des automates au monde virtuels*. Villeneuve-d'Ascq: Odile Jacob.
- NORVIG, S. R. (septembre 2006). *Intelligence artificielle*. 63200 Marsat: PEARSON Education France.
- RENNARD, J.-P. (mars 2006). *Réseaux neuronaux une introduction Accompagnée d'un modèle Java*. Paris: Vuibert.
- RENNARD, J.-P. (novembre 2002). *Vie Artificielle. Où la biologie rencontre l'informatique Illustré avec Java*. Paris: Vuibert Informatique.
- Vick, E. H. (2010). *Emotion Notions*. Boston USA: Course Technology.

Bibliographie web:

http://fr.wikipedia.org/wiki/Vie_artificielle(05-05-2011)

http://www.limsi.fr/~jps/enseignement/examsma/2003/MAMLOUK_BENOUIRANE/definition.htm(05-05-2011)

<http://actualite.portail.free.fr/sciences/13-03-2011/mois-de-la-robotique-introduction-a-la-vie-artificielle/>(05-05-2011)

<http://www.rennard.org/iva/>(05-05-2011)

http://www-master.ufr-info-p6.jussieu.fr/2007/Ajouts/Master_esj20_2007_2008/IMG/pdf/BG_SelectionAction1.pdf(06-05-2011)

<http://apps.patrickmcdonagh.net/Blog/?e=36704&d=09/10/2009&s=Darwin%20on%20Intelligence%2C%20or%20The%20Evolved%20Englishman>(09-05-2011)

<http://www.digital-arts-numeriques-diary.be/2010/10/14/art-numerique-description-13/>(09-05-2011)

<http://www-prima.imag.fr/jlc/Courses/1999/ENS13.SE/ENS13.SE.S2.pdf> (30 Mai 2011)

Remerciement :

Je tiens à remercier Marie-Hélène Tramus et Cédric Plessiet pour leur aide qui m'est si précieuse et leur témoigner toute ma reconnaissance. Ainsi que tous mes amis Sana, Achweq, Saïfi, Rémy ainsi que tous mes collègues de promotion.