

Perception des Agents et Acteurs Artificiels dans les Mondes Virtuels : Les Cartes Cognitives Floues au Travail

Marc Parenthoën*, Jacques Tisseau*, Patrick Reignier**, Fabien Dory*

* Laboratoire d'Informatique Industrielle (*Li*², EA 2215 UBO/ENIB)
ENIB - Parvis Blaise Pascal - 29280 Plouzané - BP 30815 - F-29608 Brest Cedex FRANCE
Phone : +33 (0)298 05 66 31 Fax : +33 (0)298 05 66 29 Web : [{parenthoen, tisseau, fdory}@enib.fr](http://www.enib.fr/chercher/LI2)

** Informatique Graphique, Vision, Robotique (GRAVIR, UMR 5527 IMAG/INRIA)
ZIRST Montbonnot, 655 Avenue de l'Europe, 38330 Montbonnot Saint Martin - FRANCE
Phone : +33 (0)4 76 61 54 11 Fax : +33 (0)4 76 61 52 10 Web : <http://www-gravir.imag.fr>
reignier@imag.fr

Domaine : Agents Autonomes, Agents Crédibles, Mondes Interactifs, Vie Artificielle

Mots-clés : Cartes Cognitives Floues, Caracteur, Perception, Films Interactifs

Résumé

Cet article s'inscrit dans le cadre des histoires virtuelles interactives et propose l'utilisation des cartes cognitives floues comme outil de modélisation du comportement émotionnel d'acteurs virtuels improvisant en interaction libre dans le cadre d'un scénario "nouvelle vague" à la Godard. Nous décrivons l'implémentation réalisée à partir de travaux en psychologie cognitive et l'illustrons par une improvisation entre un berger, un chien et des moutons virtuels.

1 Introduction

A ce jour, une majorité des travaux en Réalité Virtuelle (RV) concerne l'immersion multi-sensorielle de l'utilisateur humain au sein d'univers virtuels. Ces univers, de plus en plus réalistes, manqueront de crédibilité tant qu'ils ne seront pas peuplés d'entités autonomes. Cette autonomie repose sur une autonomie sensori-motrice: chaque entité est dotée de capteurs et d'effecteurs lui permettant d'être informée et d'agir sur son environnement; une autonomie d'exécution: le contrôleur de l'exécution de chaque entité est indépendant des contrôleurs des autres entités; une autonomie de décision: chaque entité décide selon sa propre personnalité (son histoire, ses intentions, son état et ses perceptions). L'autonomie des humains virtuels est un des enjeux actuels de la RV comme le souligne D. Thalmann dans une prospective récente [Thalmann 00].

Les premiers travaux sur la modélisation des acteurs virtuels focalisent sur le comportement physique des avatars (*MIRALab Project* [Magenat 91], *Jack Project* [Badler 93]). Une autre catégorie de travaux abordent le problème de l'interaction entre un acteur virtuel et un opérateur humain : agent compagnon (*ALIVE Project* [Maes 95]), agent formateur (*STEVE Project* [Rickel 99]), agent animateur [Noma 00]. Enfin, d'autres s'intéressent à l'interaction entre acteurs virtuels. En particulier, le *Oz Project* [Bates 92] est centré autour d'un directeur de la réalisation qui contrôle l'évolution du scénario [Mateas 97]. A l'inverse, le *Virtual Theater Project* repose sur un jeu d'improvisations [Hayes-Roth 96].

Cet article propose l'utilisation des cartes cognitives floues {en anglais: Fuzzy Cognitive Maps} (FCMs) comme outil de modélisation du comportement émotionnel d'acteurs virtuels improvisant en interaction libre dans le cadre d'un scénario "nouvelle vague" à la Godard. Les FCMs sont issues des travaux des psychologues. En 1948, Tolman introduit le concept clé des "cognitive maps" pour décrire des comportements complexes de mémorisation topologique chez les rats [Tolman 48]. Dans les années 70, Axelrod décrit les "cognitive maps" sous la forme de graphes binaires, orientés et interconnectés et les utilise en théorie de la décision appliquée au domaine politico-économique [Axelrod 76]. En 1986, Kosko étend les graphes d'Axelrod au mode "fuzzy" qui deviennent ainsi les FCMs [Kosko 86]. En 1988, Styblinski et Meyer utilisent les FCMs pour analyser des circuits électriques [Styblinski 88]. En 1994, Dickerson et Kosko proposent l'utilisation des FCMs pour obtenir une modélisation globale d'un monde virtuel [Dickerson 94].

Dans ce papier nous décrivons comment nous avons délocalisé les FCMs au niveau de chaque agent pour modéliser des agents autonomes au sein d'un monde virtuel. Dans la section suivante, nous définissons les FCMs telles que nous les avons implémentées dans l'environnement multi-agents *oRis* [Harrouet 00]. La section 3 montre l'utilisation des FCMs pour définir des acteurs à caractère: les caractères, et à titre d'exemple, la section 4 met en scène un berger, son chien et son troupeau de moutons.

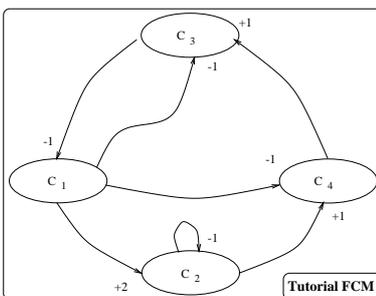
Nous montrons ainsi que les FCMs sont particulièrement bien adaptées à la caractérisation des rôles d'agents crédibles.

2 Les Cartes Cognitives Floues (FCMs)

On désigne par K l'un des anneaux \mathbb{Z} ou \mathbb{R} , par δ l'un des nombres 0 ou 1, par \mathcal{V} l'un des ensembles $\{0, 1\}$, $\{-1, 0, 1\}$, ou $[-\delta, 1]$. Soient $(n, t_0) \in \mathbb{N}^2$ et $k \in \mathbb{R}_+^*$.

Une FCM \mathcal{F} est un sextuplé $(\mathcal{C}, \mathcal{A}, L, A, f_a, \mathcal{R})$, où (Figure 1) :

- $\mathcal{C} = \{C_1, \dots, C_n\}$ est l'ensemble des n concepts formant les noeuds d'un graphe.
- $\mathcal{A} \subset \mathcal{C} \times \mathcal{C}$ est l'ensemble des arcs (C_i, C_j) orientés de C_i vers C_j .
- $L : \begin{cases} \mathcal{C} \times \mathcal{C} & \rightarrow K \\ (C_i, C_j) & \mapsto L_{ij} \end{cases}$ est une fonction de $\mathcal{C} \times \mathcal{C}$ vers K associant L_{ij} à un couple de concepts (C_i, C_j) , avec $L_{ij} = 0$ si $(C_i, C_j) \notin \mathcal{A}$, ou avec L_{ij} égale le poids de l'arc orienté de C_i vers C_j si $(C_i, C_j) \in \mathcal{A}$. Remarquons que : $L(\mathcal{C} \times \mathcal{C}) = (L_{ij}) \in K^{n \times n}$ est une matrice de $\mathcal{M}_n(K)$. C'est la matrice des liens de la FCM \mathcal{F} que, pour simplifier, on note L si ce n'est pas ambigu.



La FCM ci-contre est formée de 4 concepts et possède 7 arcs. A l'instant t , chaque concept C_i a un degré d'activation $a_i(t)$. Les activations $a(t) \in \mathcal{V}^4$ et les liens $L \in \mathcal{M}_4(\mathbb{R})$ sont :

$$a(t) = \begin{pmatrix} a_1(t) \\ a_2(t) \\ a_3(t) \\ a_4(t) \end{pmatrix}, \quad L = \begin{pmatrix} 0 & +2 & -1 & -1 \\ 0 & -1 & 0 & +1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & +1 & 0 \end{pmatrix}.$$

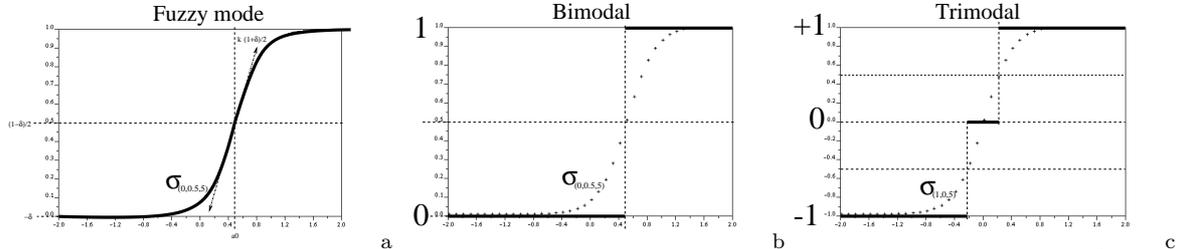
Un zéro dans la matrice des liens $L_{ij} = 0$ désigne l'absence d'arc du concept C_i vers le concept C_j et un élément non nul de la diagonale $L_{ii} \neq 0$ correspond à un arc du concept C_i sur lui-même.

Figure 1: Une FCM comme graphe d'influences.

- $A : \begin{cases} \mathcal{C} & \rightarrow \mathcal{V}^N \\ C_i & \mapsto a_i \end{cases}$ est une fonction qui à chaque concept C_i associe la suite de ses degrés d'activation telle que pour $t \in \mathbb{N}$, $a_i(t) \in \mathcal{V}$ soit son degré d'activation à l'instant t . On notera $a(t) = [(a_i(t))_{i \in \llbracket 1, n \rrbracket}]^T$ le vecteur des activations à l'instant t .
- $f_a \in (\mathbb{R}^n)^N$ une suite de vecteurs d'activations forcées tels que pour $i \in \llbracket 1, n \rrbracket$ et $t \geq t_0$, $f_{a_i}(t)$ soit l'activation forcée du concept C_i à l'instant t .
- \mathcal{R} est une relation de récurrence sur $t \geq t_0$ entre $a_i(t+1)$, $a_i(t)$ et $f_{a_i}(t)$ pour $i \in \llbracket 1, n \rrbracket$ traduisant la dynamique de la FCM \mathcal{F} . \mathcal{R} est explicitée sur la figure 2.

$$\forall i \in \llbracket 1, n \rrbracket, a_i(t_0) = 0 ; \forall i \in \llbracket 1, n \rrbracket, \forall t \geq t_0, a_i(t+1) = \text{sig} \left(f_{a_i}(t), \sum_{j \in \llbracket 1, n \rrbracket} L_{ji} a_j(t) \right)$$

où $g : \mathbb{R}^2 \rightarrow \mathbb{R}$ est une fonction de \mathbb{R}^2 vers \mathbb{R} , par exemple: $g(x, y) = \min(x, y)$ ou $\max(x, y)$ ou $\alpha x + \beta y$, et où $\sigma : \mathbb{R} \rightarrow \mathcal{V}$ est une fonction de \mathbb{R} vers l'ensemble des degrés d'activation \mathcal{V} normalisant les activations comme suit:



- (a) En mode continu, $\mathcal{V} = [-\delta, 1]$, σ est la fonction sigmoïde $\sigma_{(\delta, a_0, k)}$ centrée en $(a_0, \frac{1-\delta}{2})$, de pente $k \cdot \frac{1+\delta}{2}$ en a_0 et de limites en $\pm\infty$ respectivement 1 et $-\delta$:

$$\sigma_{(\delta, a_0, k)} : \begin{cases} \mathbb{R} & \rightarrow [-\delta; 1] \\ a & \mapsto \frac{1 + \delta}{1 + e^{-k(a-a_0)}} - \delta \end{cases}$$

- (b) En mode binaire, $\mathcal{V} = \{0, 1\}$, $\sigma : a \mapsto \begin{cases} 0 & \text{si } \sigma_{(0, 0.5, k)}(a) \leq 0.5 \\ 1 & \text{si } \sigma_{(0, 0.5, k)}(a) > 0.5 \end{cases}$.

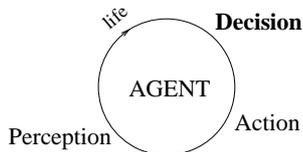
- (c) En mode ternaire, $\mathcal{V} = \{-1, 0, 1\}$, $\sigma : a \mapsto \begin{cases} -1 & \text{si } \sigma_{(1, 0, k)}(a) \leq -0.5 \\ 0 & \text{si } -0.5 < \sigma_{(1, 0, k)}(a) \leq 0.5 \\ 1 & \text{si } \sigma_{(1, 0, k)}(a) > 0.5 \end{cases}$.

Figure 2: Différentes fonctions de standardisation σ d'une FCM

Autrement dit, une FCM est un graphe d'influences dont les noeuds sont des concepts, les arcs des liens d'influence et la dynamique est calculée mathématiquement par produit matriciel normalisé. Chaque arc entre deux concepts de C_i vers C_j est associé à un poids L_{ij} traduisant une relation d'inhibition ($L_{ij} < 0$) ou d'excitation ($L_{ij} > 0$) du concept C_i vers le concept C_j . Le vecteur des activations évolue dans le temps selon les liens existant entre les concepts. La dynamique d'une FCM se résume pour un cycle (passage de t à $t+1$) en une mise à jour du vecteur des activations comme étant la normalisation du couple d'activations $(f_a(t), L^T \cdot a(t))$. Une FCM aide à prédire l'évolution du système (simulation de comportement), peut être utilisée en mode discret pour trouver des points fixes ou des cycles limites dans les états futurs et peut être dotée de capacités d'apprentissage comme le proposent Dickerson et Kosko [Dickerson 94]. La différence fondamentale entre une FCM et un réseau de neurones est dans le fait que tous les noeuds du graphe orienté de la FCM ont une sémantique forte définie par la modélisation du concept alors que les noeuds du graphe orienté d'un réseau de neurones qui ne sont pas des entrées ou des sorties ont une

sémantique faible, uniquement définie par des relations mathématiques. Concernant la capacité d'apprentissage, il faut donner pour une FCM les vecteurs d'activations de tous les concepts, alors que pour un réseau de neurones, les vecteurs d'activations des neurones périphériques uniquement.

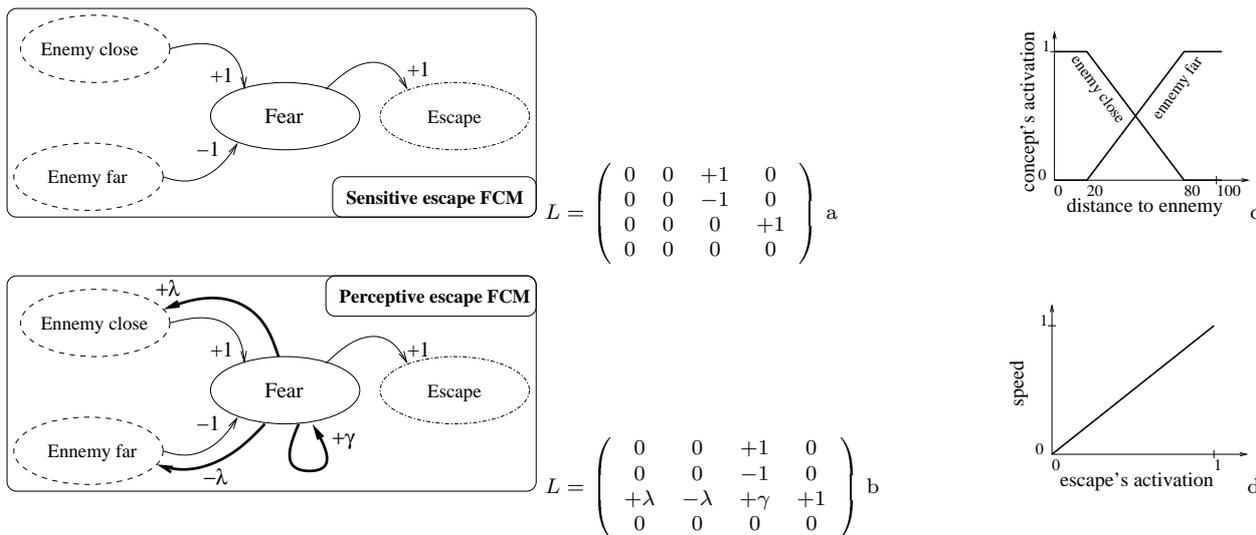
3 La décision d'un agent modélisée par les FCMs



Un agent perçoit son environnement, prend la décision en fonction de sa perception de modifier ses effecteurs et réalise les actions ainsi déterminées. Un nouveau cycle commence...

Figure 3: Le cycle de vie d'un agent (perception/décision/action).

L'agent possède des capteurs, des effecteurs et décide de son comportement (Figure 3). La FCM que l'on utilise possède des concepts sensitifs et des concepts moteurs. La décision de l'agent associée à la FCM est obtenue par l'activation et la dynamique de la FCM, les concepts sensitifs étant activés par fuzzyfication de capteurs, les concepts moteurs activant des effecteurs par défuzzyfication.



Les concepts sensitifs en tiretés sont activés par fuzzyfication de capteurs. Les concepts moteurs en tiretés-pointillés activent les effecteurs par défuzzyfication. En (a), le concept C_1 = "ennemi proche" excite C_3 = "peur" alors que C_2 = "ennemi loin" l'inhibe et "peur" excite C_4 = "fuir". Cela définit une FCM purement sensitive. En (b), la FCM est perceptive : la peur peut s'auto-entretenir (mémoire) et même influencer les sensations (perception). En (c), la fuzzification de la distance à un ennemi donne deux concepts sensitifs : "ennemi proche" et "ennemi loin". En (d), la défuzzyfication de "fuir" règle linéairement la vitesse de fuite.

Figure 4: FCM du comportement de fuite d'un agent.

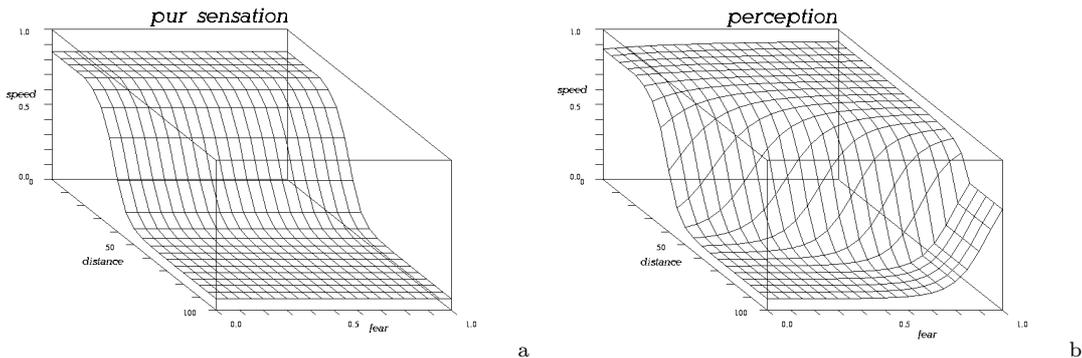
A titre d'exemple, on veut modéliser un agent percevant sa distance à un ennemi. En fonction de cette distance et de sa peur il va décider de s'enfuir ou non. Plus l'ennemi est proche, plus il est effrayé et inversement. Plus il est effrayé plus il s'enfuit rapidement. Nous modélisons cette fuite par la FCM de la Figure 4a. Cette FCM possède 4 concepts et 3 liens : "ennemi proche", "ennemi loin", "peur" et "fuir", avec des liens excitateurs (+1) de "ennemi proche" vers "peur" et de "peur" vers "fuir", et un lien inhibiteur (-1) de "ennemi loin" vers "peur". On choisit le mode continu ($\mathcal{V} = [0, 1]$, $\delta = 0$, $k = 5$), non forcé ($f_a = 0$). L'activation des concepts sensitifs "ennemi proche" et "ennemi loin" est réalisée par fuzzyfication du capteur de la distance à l'ennemi (Figure

4c) tandis que la défuzzyfication de l’envie de fuir donne une vitesse de fuite à cet agent (Figure 4d).

Nous distinguons la sensation de la perception: la sensation rsulte des capteurs seuls; la perception est la sensation influence par l’tat interne. Une FCM permet de modéliser la perception grâce aux liens entre des concepts centraux et des concepts sensitifs. Par exemple, ajoutons 3 liens à la FCM de fuite précédente (Figure 4b). Un premier auto-excitateur ($\gamma \geq 0$) sur “peur” pour modéliser le stress, un deuxième excitateur ($\lambda \geq 0$) de “peur” vers “ennemi proche” avec un dernier inhibiteur ($-\lambda \leq 0$) de “peur” vers “ennemi loin” modélisent le phénomène de paranoïa. Notre agent devient alors perceptif selon son degré de paranoïa λ et de stress γ (Figure 5).

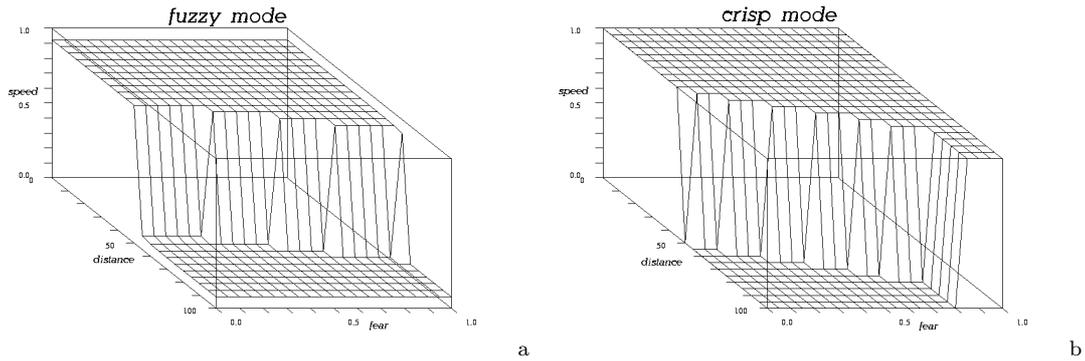
Un agent peut également utiliser une FCM dans un espace imaginaire et simuler un comportement. Ainsi, avec ses propres FCMs il accède à une perception de lui-même en s’observant dans un domaine imaginaire. S’il connaît les FCMs d’un autre agent, il aura une perception de l’autre et pourra mimer un comportement ou coopérer. En effet, si un agent possède une FCM, il peut l’utiliser en simulation en forçant les valeurs des concepts sensitifs et en faisant agir les concepts moteurs dans un espace imaginaire comme projection du monde réel ; un tel agent est capable de prédire son propre comportement ou celui d’un agent décidant selon cette FCM, en faisant réaliser plusieurs cycles à la FCM dans son espace imaginaire ou en déterminant un attracteur (point fixe ou cycle limite en mode discret) de la FCM. La Figure 6 illustre ce mécanisme avec la FCM de la Figure 4b utilisée pendant 20 cycles en mode “fuzzy” et un vecteur de forçage initial valant ξ entre 0 et 1 sur la peur uniquement puis nul le reste du temps : $f_a(t_0) = (0, 0, \xi, 0)^T, \forall t > t_0, f_a(t) = 0$. Avec les mêmes conditions de forçage, le mode “crisp” converge vers un point fixe : $a(t > t_c) = (0, 1, 0, 0)^T$ ou $a(t > t_c) = (1, 0, 1, 1)^T$; *id est*: l’ennemi est loin, il n’a pas peur et ne s’enfuit pas ou le contraire.

De plus, si un agent connaît les FCMs d’un autre agent, il peut prévoir le comportement de cet agent en simulant un scénario réalisé en déroulant les cycles de leurs FCMs dans un espace imaginaire. Cette technique ouvre les portes à une véritable coopération entre agents, chacun pouvant se représenter le comportement de l’autre.



La perception de la distance d’un ennemi peut être influencée par la peur : en fonction de la proximité d’un ennemi et de la peur, la dynamique de la FCM décide d’une vitesse obtenue ici au 3^{ème} cycle de la FCM. En (a), $\lambda = \gamma = 0$, l’agent est purement sensitif et sa perception de la distance à l’ennemi ne dépend pas de sa peur. En (b), $\lambda = \gamma = 0.6$, l’agent est perceptif : sa perception de la distance à un ennemi est modifiée par sa peur.

Figure 5: Vitesse de fuite décidée par la FCM de la figure 4b



Simulation et point fixe de la vitesse décidée par la FCM de fuite avec $\lambda = \gamma = 0,6$. En (a), le mode est continu et ce comportement est obtenu à l'issue du vingtième cycle de la FCM. En (b), le mode est binaire et le vecteur des activations de la FCM se stabilise sur un point fixe tel que : soit tous les concepts sont à 1 sauf "ennemi loin" qui est à 0 et la vitesse est à 1, soit le contraire et la vitesse est à 0. On remarque que si l'agent est effrayé au moment de la simulation, quelle que soit la distance de l'ennemi, il le percevrait comme s'il était forcément proche.

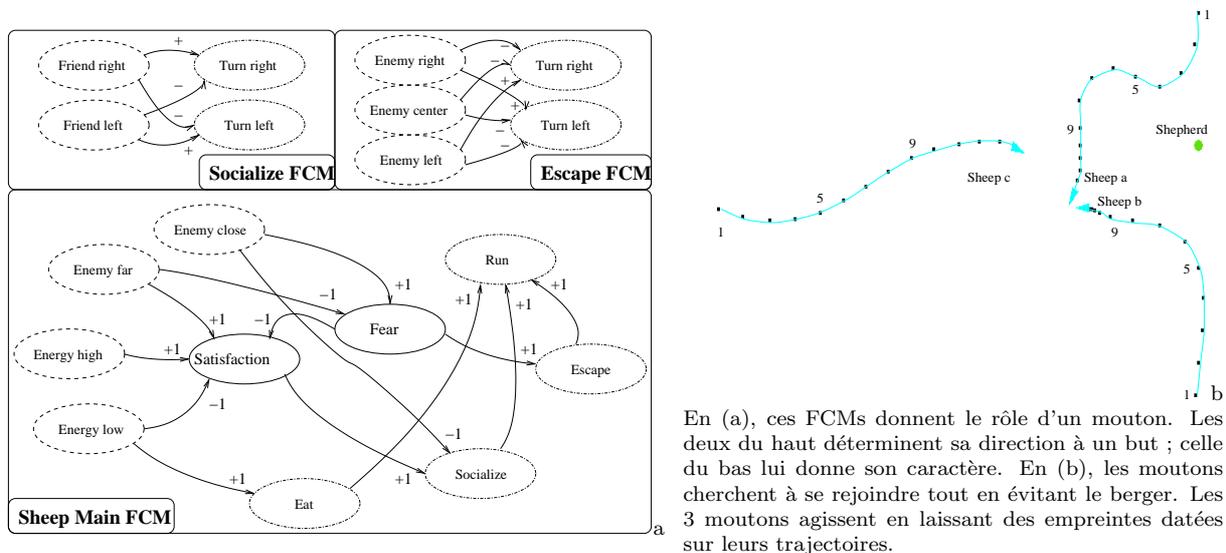
Figure 6: Simulation d'une FCM, perception de soi ou des autres

4 Définition des Caractères par des FCMs

Nous allons voir comment réaliser un film interactif proposant l'histoire d'un chien de berger avec l'aide de FCMs. Les idées cinématographiques utilisées s'inspirent de l'école cinématographique de "la nouvelle vague" proposant au réalisateur de donner non pas un script aux acteurs mais plutôt une trame temporelle d'événements obligatoires entre lesquels les acteurs improvisent selon leurs rôles. Illustrons nos propos par une histoire d'alpages. Il était une fois un berger, des moutons et un chien :

Le berger se déplace dans son pâturage, peut parler et donner au chien des savoir-faire. Il veut regrouper ses moutons dans une zone qu'il détermine à mesure des besoins. Par défaut il reste assis; c'est un acteur humain qui prend toutes les décisions du berger.

Chaque mouton distingue un ennemi (un chien ou un homme) d'un mouton et d'une herbe comestible. Il capte la distance et la direction relative (gauche ou droite) d'un agent qu'il distingue. Il sait identifier l'ennemi le plus proche. Il sait tourner à gauche ou à droite et courir jusqu'à



En (a), ces FCMs donnent le rôle d'un mouton. Les deux du haut déterminent sa direction à un but ; celle du bas lui donne son caractère. En (b), les moutons cherchent à se rejoindre tout en évitant le berger. Les 3 moutons agissent en laissant des empreintes datées sur leurs trajectoires.

Figure 7: Les moutons socialisent et évitent leurs ennemis.

une vitesse maximum. Il possède une réserve d'énergie qu'il régénère en mangeant et dépense en courant. Par défaut, il va tout droit et finit par s'épuiser. On veut que les moutons mangent de l'herbe répartie aléatoirement, aient peur des chiens et des hommes quand ils sont trop près et, selon l'instinct de Panurge, qu'ils socialisent. On choisit alors une FCM principale comportant comme concepts la réunion des concepts sensitifs {"ennemi proche", "ennemi loin", "énergie haute", "énergie basse"} des concepts moteurs {"manger", "socialiser", "fuir", "courir"} et des concepts centraux {"satisfaction", "peur"} (Figure 7). Cette FCM décide la vitesse de déplacement par défuzzyfication du concept "courir", et de la direction du déplacement par défuzzyfication des 3 concepts "manger", "socialiser" et "fuir" chaque activation correspondant à un poids sur la direction relative à suivre (à gauche ou à droite) respectivement pour aller vers l'herbe, rejoindre un mouton et fuir un ennemi.

Le chien est capable d'identifier les hommes, les moutons, la zone du pâturage et le point de garde. Il distingue visuellement et auditivement son berger d'un autre homme et sait repérer le mouton le plus loin de la zone parmi un groupe de moutons. Il sait tourner à gauche ou à droite et courir jusqu'à une vitesse maximum. Initialement jeune et fou, il a un comportement consistant à courir après les moutons ; ce qui a pour effet de les disperser rapidement (Figure 8a). Dans un premier temps, le berger veut que le chien obéisse à l'ordre de ne pas bouger, ce qui aura comme conséquence une socialisation des moutons. Cela est réalisé en donnant au chien une FCM sensible au message du berger et inhibant l'envie de courir (Figure 8b). Le comportement du chien est décidé par la FCM et le chien s'immobilise quand son berger crie : "stop" (diffusion du message "stop"). Ensuite, le berger donne au chien une FCM structurée d'après les concepts associés à la zone du troupeau, au fait qu'un mouton soit hors ou dans cette zone, ainsi que les concepts permettant de ramener un mouton (Figure 8cde) et de maintenir le troupeau dans la zone en se plaçant au point de garde, c'est à dire sur le bord et à l'opposée du berger.

Le scénario du film de type "nouvelle vague" pourrait être le suivant :

Un berger se promène dans son alpage. Pour regrouper ses moutons, il doit beaucoup marcher. Un jour, il amène un jeune chien pour le dresser à garder les moutons. Comme tous les jeunes chiens, celui-ci court après les moutons. Un autre jour, le jeune chien sait obéir quand son maître, et personne d'autre, lui dit "stop". Le berger donne d'autres connaissances à son chien qui progressivement devient un véritable chien de berger. Finalement, le berger reste assis : le chien sait comment regrouper les moutons dans une zone déterminée.

Il est remarquable d'observer que la trajectoire en "S" du chien de berger virtuel émergeant de cette simulation *in virtuo* et non explicitement programmée est une stratégie adoptée et observable *in vivo* par un chien de berger réel qui ramène un groupe de moutons.

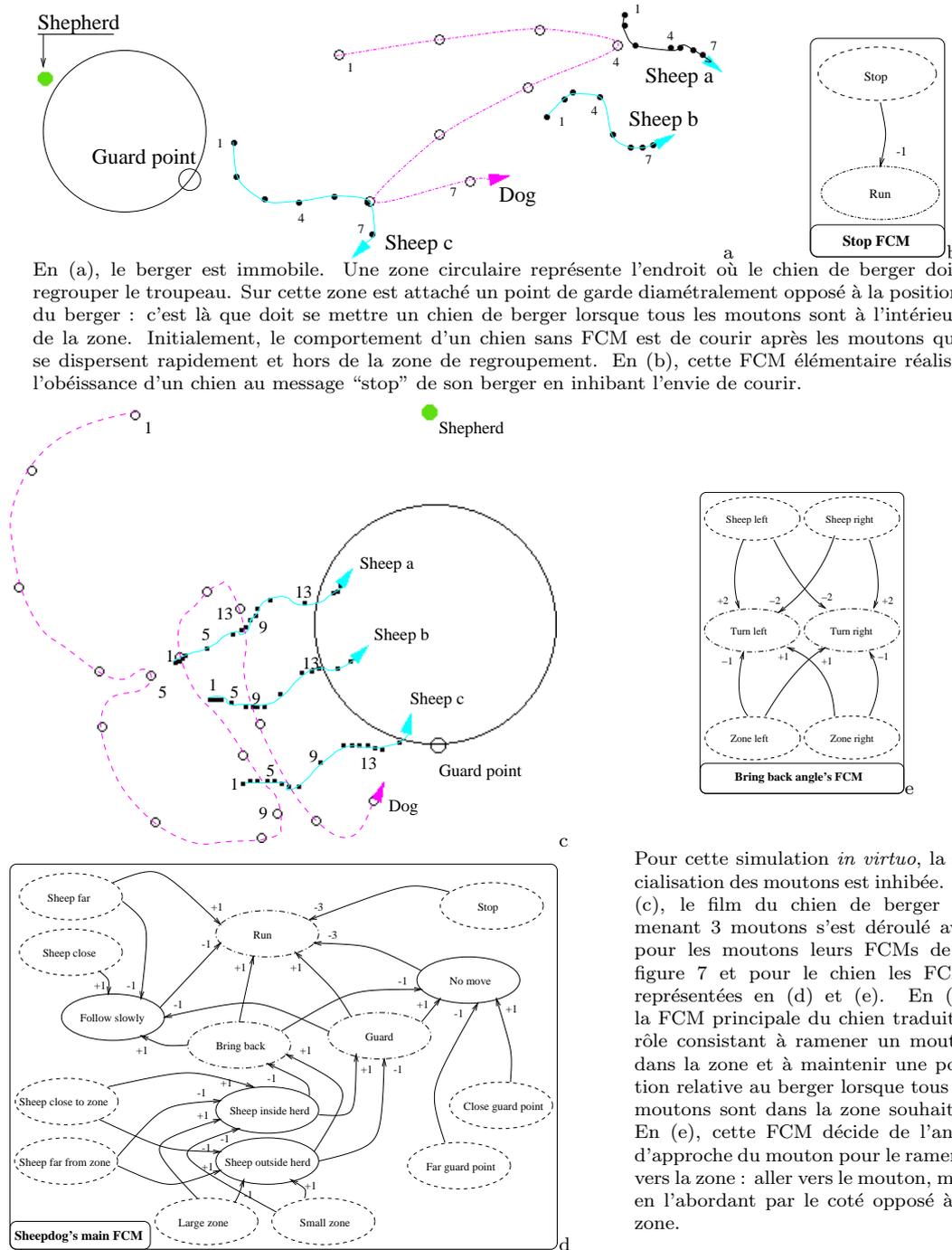


Figure 8: Un chien de berger effaye puis ramène 3 moutons d'après les rôles donnés par leurs FCMs.

5 Conclusion

Dans ce papier, nous avons associé des FCMs au niveau de chaque agent pour définir son comportement. Ces agents autonomes dans un univers virtuel jouent leurs rôles d'après la structure de leurs FCMs et improvisent entre les contraintes du scénario à la manière de "la nouvelle vague". Implémentée dans l'environnement multi-agents *oRis*, la délocalisation des FCMs au niveau de chaque agents nous permet de définir la partie décisionnelle de leurs cycles de vie. Les agents artificiels implémentés avec des FCMs sont non seulement sensitifs, mais encore perceptifs : leurs comportements dépendent de leur état interne rétro-agissant sur les capteurs.

Les FCMs peuvent forcer les valeurs de leurs concepts sensitifs et faire agir leurs concepts moteurs dans un monde imaginaire. Ceci permet de simuler un comportement sans le réaliser. Ce comportement est celui qui est décidé par ces FCMs. Elles peuvent être celles de l'agent qui simule, ou celles d'un autre agent ; ce qui peut se considérer comme la perception de soi ou la perception des autres, autorisant ainsi plus facilement la coopération entre agents.

La difficulté principale des FCMs réside dans leur construction: il faut extraire des concepts pertinents et déterminer les liens entre ces concepts. Des procédures d'apprentissage, de type Hebb, peuvent être envisagées pour faciliter cette construction.

References

- [Axelrod 76] Axelrod R., *Structure of Decision*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1976.
- [Bates 92] Bates J., Virtual Reality, Art, and Entertainment, *Presence*, 1(1):133-138, MIT Press, 1992.
- [Badler 93] Badler N., Phillips C., Webber B., *Simulating humans*, Oxford University Press, New-York, 1993.
- [Dickerson 94] Dickerson J. A., Kosko B., Virtual Worlds as Fuzzy Cognitive Maps, *Presence*, 3(2):173-189, MIT Press, 1994.
- [Harrouet 00] Harrouet F., *oRis: s'immerger par le langage pour le prototypage d'univers virtuels à base d'entités autonomes*, Thèse de Doctorat, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France, December 8, 2000.
- [Hayes-Roth 96] Hayes-Roth B., Van Gent R., Story-making with improvisational puppets and actors *Technical Report KSL-96-05*, Knowledge Systems Laboratory, Stanford University, 1996.
- [Kosko 86] Kosko B., Fuzzy Cognitive Maps, *International Journal Man-Machine Studies*, 24:65-75, 1986.
- [Maes 95] Maes P., Artificial Life meets Entertainment: Interacting with Lifelike Autonomous Agents, *Communications of the ACM*, 38(11):108-114, November, 1995.
- [Magenat 91] Magenat N., Thalmann D., Complex Models for Animating Synthetic Actors, *IEEE Computer Graphics and Applications*, 11(5):32-44, 1991.
- [Mateas 97] Mateas M., An Oz-Centric Review of Interactive Drama and Believable Agents, *Technical Report CMU-CS-97-156*, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA., June, 1997.
- [Noma 00] Noma T., Zhao L., Badler N., Design of a Virtual Human Presenter, *IEEE Journal of Computer Graphics and Applications*, 20(4):79-85, July/August, 2000.
- [Perlin 95] Perlin K., Goldberg A., Improv: a system for scripting interactive actors in virtual worlds, *Computer Graphics*, 29(3):1-11, 1995.

- [Rickel 99] Rickel, J., Johnson, W.L., Animated Agents for Procedural Training in Virtual Reality: Perception, Cognition, and Motor Control, *Applied Artificial Intelligence*, 13:343-382, 1999.
- [Styblinski 88] Styblinski M. A., Meyer B. D., Fuzzy Cognitive Maps, Signal Flow Graphs and Qualitative Circuit Analysis, *Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Neural Networks (ICNN-87)*, 2:549-556, July, 1988.
- [Thalman 00] Thalman D., Challenges for the Research in Virtual Humans, *Workshop Achieving Human-like behavior in interactive animated agent*, Barcelona, Spain, June 3, 2000.
- [Tolman 48] E. C. Tolman, "Cognitive Maps in Rats and Men", *Psychological Review*, 42, 55, 189-208, 1948.