

Développement de liens affectifs basés sur le phénomène d’empreinte pour moduler l’exploration et l’imitation d’un robot.

Arnaud J. Blanchard et Lola Cañamero

Adaptive System Research Group
School of Computer Science
University of Hertfordshire
College Lane, Hatfield, Herts AL10 9AB, UK
{A.J.Blanchard, L.Canamero}@herts.ac.uk

Résumé en français

Les comportements des enfants varient en fonction du contexte, notamment en fonction des liens affectifs qu’ils développent avec d’autres personnes en présence. Ceci influence par exemple leur facultés à explorer ou imiter. Pour mieux comprendre ces phénomènes, nous proposons un modèle basé sur le phénomène de l’empreinte de liens affectifs et de leurs effets. Après avoir proposé des solutions pour simuler ces liens, nous montrerons comment nous pouvons les utiliser ou ils peuvent être utilisés afin de moduler les comportements d’exploration et d’imitation d’un robot réel. Finalement, nous discuterons du nouveau regard que peut apporter cette modélisation sur le comportement et le développement affectif des enfants.

Mots clés : Empreinte, attachement, développement, liens affectifs, exploration, imitation.

Abstract in english (English)

Development of affective bonds based on the imprinting phenomenon in order to modulate exploration and imitation in a robot.

An infant’s behavior varies (depending on the context) to a large degree as a function of the affective bonds that they have with the people that are also present. This influences their ability to explore or imitate, for example. In order to better understand these phenomena, we propose a model of affective bonds and their effects based on the imprinting phenomenon. After proposing solutions for simulating these bonds, we show how we can use them to modulate exploratory and imitative behaviors in a real robot. Finally, we discuss the new light that this model sheds on the affective behavior and development of children.

Key words : Imprinting, attachment, development, affective bonds, exploration, imitation.

I.Introduction

Théorisé par John Bowlby, l'attachement est un des besoins primaires du jeune enfant. Le bébé s'attache à la personne qui s'occupe de lui (qu'on appelle care-taker et qui est le plus souvent la mère) car il en a besoin pour être rassuré et protégé. Il développe pour cela un ensemble de réactions et comportements afin de s'assurer de la présence, de la proximité et de la disponibilité du care-taker. Cet attachement existe chez tous les primates, mais il est encore plus vital pour les humains qui sont les plus démunis à la naissance, les plus longtemps dépendants d'adultes. Cependant l'attachement, loin de n'être qu'une dépendance, est un moyen pour l'enfant de développer un sentiment de sécurité qui le mènera vers la possibilité d'explorer autour de lui, puis vers l'autonomie. Le développement de liens affectifs est complexe et ne s'appuie pas seulement sur l'obtention de récompenses données par le care-taker auquel il va s'attacher mais aussi sur la stabilité et qualité des interactions qu'il aura avec [Nadel et al., 2005] ou sur ses prédispositions à préférer telles ou telles caractéristiques physiques [Harlow and Harlow, 1969].

L'un des précurseurs sur les problèmes d'attachement fut Konrad Lorenz qui dans les années trente a montré que les oiseaux, notamment des oies cendrées, suivent la première chose qu'elles voient après l'éclosion. Habituellement, il s'agit de leur mère, mais il peut très bien s'agir d'un homme ou même d'un objet en mouvement. Plus tard, [Harlow & Harlow, 1969] montrèrent que les macaques s'attachent d'avantage à une poupée recouverte de tissu qu'à une poupée en fils de fer même si cette dernière fournit de la nourriture. Ils montrèrent que les macaques ont plutôt tendance à explorer et jouer en présence de l'objet d'attachement (ici la poupée en tissu) qu'en son absence, même en présence de l'objet nourricier (la poupée de fil de fer). En cas de danger les bébés retournent spontanément vers leur objet d'attachement. Ce phénomène se retrouve exacerbé chez le bébé humain pour qui, l'interaction (stimulation, imitation, jeu) plus que les caractéristiques ou les récompenses de l'objet d'attachement est un facteur essentiel de l'attachement [Dunn, 1967; Nadel et al. 2005] Les liens ainsi créés favorisent le développement de l'enfant, lui permettant grâce au sentiment de sécurité donné par l'objet d'attachement d'explorer son univers [Ainstrow, 1969; Dunn, 1977; Power, 2000]. Les liens affectifs favorisent aussi l'imitation qui est un important moyen d'apprentissage mais aussi un moyen de communication et de socialisation [Hatfield, 1994; Kugiumutzakis, 2005; Nadel et al., 2005].

L'étude de l'attachement a de nombreux intérêts mais nous avons focalisé notre étude sur deux points :

1. Aider à mieux comprendre le phénomène biologique en permettant d'avoir un autre regard sur la théorie de l'attachement, notamment en montrant qu'il n'y a pas forcément besoin de fonctions cognitives de haut niveau.
2. Proposer des architectures pour permettre à des robots d'être plus autonomes et d'adapter leurs comportements en fonction du contexte. Ils doivent explorer judicieusement pour pouvoir apprendre sans prendre de risques. Ils doivent aussi être capable de décider qui imiter pour apprendre à bon escient.

Nous proposons que le phénomène d’empreinte initie les liens affectifs qui s’affinent plus tard en fonction de des expériences avec l’extérieur. De plus, comme semblent le montrer les études citées précédemment [Dunn, 1967; Ainstrow, 1969; Hatfield, 1994; Power, 2000], la présence de l’objet d’attachement augmente la tendance à explorer et imiter tandis que son absence l’inhibe. Dans la section II, nous présenterons une architecture modélisant l’imprégnation dans des tâches simples. Dans la section III, nous verrons comment cette imprégnation peut s’adapter en fonction des expériences vécues. Dans la section IV, nous analyserons comment l’attachement peut influencer l’exploration et l’imitation. Enfin, dans la dernière section nous conclurons et discuterons des intérêts et problèmes de cette modélisation.

II. Imprégnation et attachement

L’imprégnation telle qu’observée par Konrad Lorenz dans les années trente consiste à ce que pendant une période de temps précise (36 heures après l’éclosion pour les oies), l’animal s’attache à la sensation qu’il a à ce moment. La modalité des sensations imprégnées telle que l’odeur, la vision, le son, etc. pourra différer selon l’espèce et la salience de la sensation. Cependant, Bateson [Bateson, 2000] a montré que le phénomène n’était pas strict et que la fenêtre temporelle d’imprégnation était flexible, que la sensation imprégnée pouvait se modifier en fonction des expériences vécues.

En fonction de ces observations, nous proposons une architecture la plus simple possible basée sur des fonctions biologiquement plausibles et qui permettra avec peu de modifications, d’expliquer et générer d’autres phénomènes. Pour ce faire, nous utilisons une approche perception-action (Per-Ac [Gaussier and Zrehen, 1995]) qui consiste à considérer que la perception et l’action sont intimement liées. Cette considération est basée sur des observations psychologiques [Prinz, 1997] et neurologiques [Decety, 1996] où il a été montré que les mêmes structures cérébrales s’activaient lorsqu’une action est perçue ou exécutée. En plus de reproduire des observations biologiques, cette approche permet de simplifier la génération d’imitation de bas niveau avec un robot [Gaussier & al., 1998; Demiris & Dearden., 2005]. Pour tester notre approche, nous utilisons un robot pouvant se déplacer et détecter la distance des objets devant lui. L’objectif est de voir comment le robot peut s’attacher à la sensation d’un care-taker, c’est à dire à une sensation précise de distance, la distance de l’expérimentateur au robot étant la “signature” du care-taker—elle aurait pu être la couleur, l’odeur, la forme, etc.

Pour reproduire le phénomène d’imprégnation, l’idée la plus simple est de faire mémoriser au robot la première sensation perçue, cependant il serait trop sensible à la moindre perturbation qui pourrait se produire accidentellement à ce moment. Par conséquent, on va lui faire mémoriser la moyenne de ses premières sensations comme étant la sensation “imprégnée” que le robot essaiera de conserver et que nous nommons *sensation désirée*. Comme nous l’avons montré dans [Blanchard & Cañamero, 2005, 2006a; Cañamero et al., 2006] la mémorisation de la moyenne des sensations peut se modéliser facilement par une simple règle d’apprentissage par conditionnement où le taux d’apprentissage décroît avec le temps. Enfin, pour que le robot agisse afin d’atteindre cette sensation désirée, nous tirons parti de la conception Per-Ac en activant

directement l'action s'opposant à la différence entre la sensation actuelle et la sensation désirée. La correspondance entre cette différence de sensations et une action pourrait être innée (génétique) ou apprise (par l'expérience). Dans notre cas nous l'avons pré-programmé, c'est à dire que nous avons programmé qu'une sensation de distance actuelle plus proche que désirée doit générer un mouvement de recul et une sensation de distance actuelle plus loin que désirée doit générer un mouvement d'avancement. Cependant il est possible de le faire apprendre [Andry et al., 2002; Demiris & Dearden., 2005]. Ainsi, si l'on veut faire que le robot retourne vers sa sensation désirée, on le fait exécuter les actions correspondantes aux différences de sensations.

Pendant les expériences, l'expérimentateur faisant office de care-taker, se place devant le robot et le démarre. Puis, l'expérimentateur se déplace s'approchant et s'éloignant du robot, modifiant alors les sensations de distance du robot (voir Fig. 1).



Fig. 1. Dispositif expérimental. Le care-taker (à gauche) se place devant le robot (à droite) à différentes distances selon l'expérience puis se déplace pendant que l'on enregistre le comportement du robot.

Nous avons effectué des dizaines d'expériences avec différentes positions de l'expérimentateur et nous présentons dans les graphiques supérieurs de la figure 2, la sensation réelle (ligne continue) et désirée (ligne discontinue) du robot au cours de deux expériences représentatives, lors desquelles l'expérimentateur se place initialement à des distances différentes du robot. Lors des deux expériences, nous voyons que les fluctuations de la sensation désirée sont beaucoup plus importantes au début qu'à la fin où la sensation désirée se stabilise vers la sensation moyenne (la plus familière). Les mouvements provoqués par la différence entre les sensations désirées ou réelles sont représentés dans les graphiques inférieurs de la figure 2. Nous observons que les mouvements du robot sont proportionnels à l'amplitude de la différence entre les deux types de sensation et tendent à réduire la différence. La recherche de sensation familière produit un comportement similaire à un animal imprégné par un stimulus, comme par exemple, le suivi du care-taker.

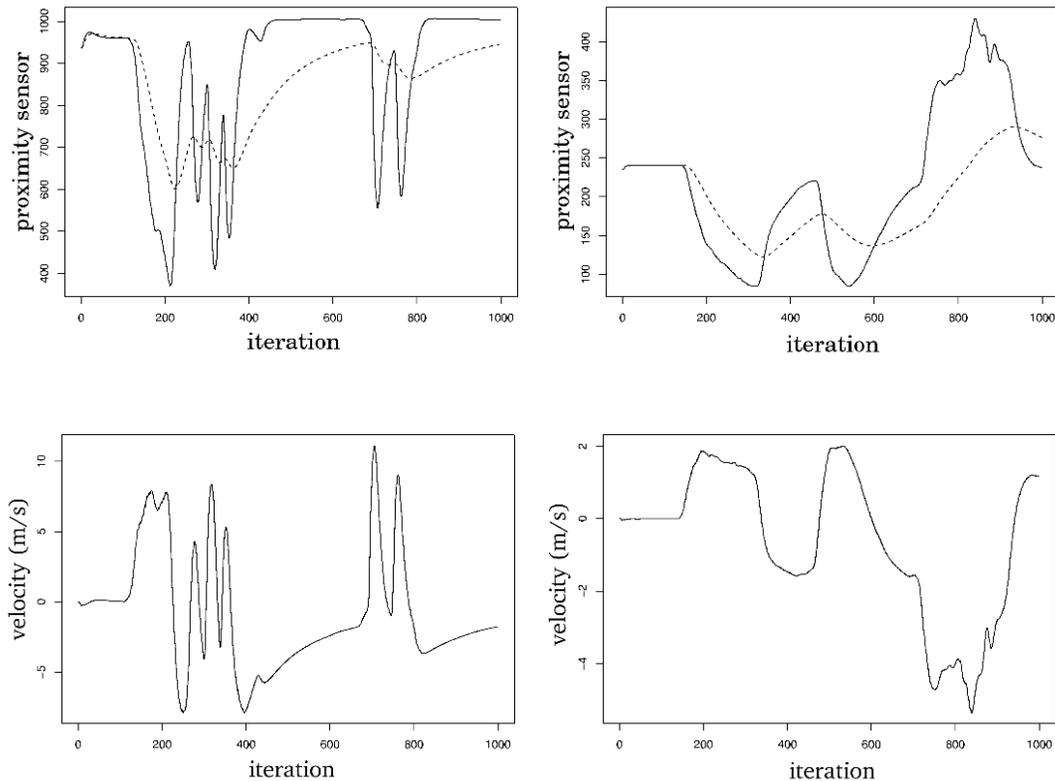


Fig. 2. Graphiques supérieurs: sensation de proximité réelle du robot en ligne continue et sa sensation désirée en ligne discontinue pour 2 expériences. Graphiques inférieurs: vitesse du mouvement du robot lors de ces mêmes expériences.

Cependant, cette modélisation est limitée car il a été montré après Lorenz que l'imprégnation n'était pas un phénomène complètement figé [Bateson & Martin, 2000] et il faudrait permettre au robot, de s'adapter en fonction du contexte, par exemple si l'objet d'attachement disparaît ou si le robot se retrouve dans une situation totalement nouvelle.

III. Recherche de stabilité et adaptation

Pour améliorer le modèle, nous avons deux problèmes à résoudre :

1. Modification de l'attachement en fonction du contexte; faire en sorte que le robot puisse changer l'objet d'attachement si celui-ci n'est pas judicieux.
2. Adapter la vitesse d'apprentissage afin de rendre le robot capable de s'adapter à de nouvelles situations sans oublier ce qu'il a appris précédemment.

Pour moduler l'apprentissage en fonction du contexte, nous proposons d'utiliser la notion de *bien être*. Le bien être est une valeur mesurée en fonction de l'écart entre les états internes et leurs valeurs idéales (température du corps, hydratation, quantité de stimulation, etc.). Le bien être est alors utilisé pour modifier le taux d'apprentissage

de la sensation désirée. Ainsi, lorsque le bien être est faible, l'apprentissage est lent et la sensation associée à un bien être faible n'a que peu d'influence sur la sensation désirée. En revanche si le bien être est élevé, le taux d'apprentissage est grand et la sensation associée à un bien être élevé a beaucoup d'influence sur la sensation désirée. Ainsi, la sensation désirée n'est pas seulement la sensation la plus familière, mais aussi la sensation associée à un bien être élevé ce qui permettra au robot de rechercher les situations familières ou provoquant un bien être élevé.

Le bien être permet de savoir quand moduler le taux d'apprentissage, mais ne permet pas de connaître le taux d'apprentissage global idéal. En effet, selon les situations, il faut réagir plus ou moins vite, s'adapter plus ou moins vite. Afin de ne pas avoir à choisir à priori, nous proposons de faire apprendre au robot différentes sensations désirées apprises avec différentes échelles de temps (apprentissage plus ou moins rapide). Avec les échelles de temps longues, l'apprentissage est lent et peu influencé par le bien être, en revanche avec une échelle de temps courte, l'apprentissage est rapide et fortement influencé par les variations du bien être. Ceci permet que dans une nouvelle situation, le robot puisse apprendre rapidement quelles sont les meilleures sensations dans cette situation sans oublier les meilleures sensations globales.

Maintenant que le robot est capable de mémoriser différentes sensations désirées à différentes échelles de temps, le problème est de décider à quelle échelle de temps le robot doit considérer pour agir. Rappelons que :

1. Les sensations désirées à court terme correspondent aux sensations avec lesquelles le robot est peu familier mais qui ont été associées à un bien être élevé. Par conséquent, par manque d'expérience avec ces sensations, le robot ne pourra être sûr que le bien être ne soit jamais mauvais.
2. Les sensations désirées à long terme correspondent aux sensations avec lesquelles le robot a le plus d'expérience, par conséquent même si le bien être associé est moyen, l'agent est presque sûr de ne jamais avoir un bien être très mauvais.

Il serait donc bon que le robot prenne des risques pour essayer d'améliorer significativement son bien être uniquement quand il n'est pas dans une situation à risque, c'est à dire lorsque ses états internes ne sont pas trop proches de valeurs critiques. En revanche, il devrait essayer d'atteindre les situations familières et donc sûres lorsqu'il est dans une situation à risque.

Nous avons implémenté l'ensemble de ces nouvelles fonctionnalités sur le robot précédant et on peut voir son comportement dans [Blanchard & Cañamero, 2005 ; Cañamero et al., 2006]. On observe bien que lorsque le bien être est élevé, le robot essaie d'obtenir les sensations récemment associées à un bien être élevé tandis que si son bien être est faible alors il essaie d'obtenir les sensations avec lesquelles il est le plus familier.

La limitation de cette architecture est que le robot essaie d'obtenir des sensations familières donc déjà connues. Par conséquent s'il n'y a pas de stimulation extérieure (par exemple l'action d'un care-taker) le robot va toujours rester dans la même situation. Or ce comportement n'est ni naturel [Panksepp, 1999, voir chapitre 8; Power,

2000], ni souhaitable en robotique puisque pour apprendre les robots doivent explorer [Kaplan & Oudeyer, 2004]. C'est pourquoi, nous devons compléter l'architecture pour permettre au robot d'explorer. De plus, nous allons essayer de montrer que le mécanisme de régulation de l'exploration permet de réguler des comportements d'exploitation et d'imitation.

IV. Exploration, exploitation et imitation

Pour faire explorer un robot, on peut lui faire exécuter les actions au hasard [Andry et al., 2000; Demiris & Dearden, 2005], les actions qui ont été le moins essayées ou encore les actions qui lui permettent de maximiser son apprentissage [Kaplan & Oudeyer, 2004]. Mais trop d'explorations peut être dangereux et n'est pas forcément bénéfique [Kaplan & Oudeyer, 2004]. Il est donc nécessaire de réguler l'exploration. Chez l'animal, comme chez l'enfant, l'objet d'attachement régule fortement l'exploration en servant de base de repli en cas de situations nouvelles ou de danger, son absence ou éloignement inhibe les comportements exploratoires [Harlow, 1958; Ainsworth, 1969; Dunn, 1977; Power, 2000]. Nous proposons d'utiliser aussi l'attachement par l'intermédiaire des sensations désirées pour moduler l'exploration du robot et nous allons montrer que la même architecture permet aussi de générer des comportements d'exploitation et d'imitation [Blanchard & Cañamero, 2006a].

Nous utilisons la notion d'*affect* pour représenter l'évaluation immédiate de la situation actuelle. Cette évaluation est basée sur la similitude entre la sensation actuelle et les sensations désirées, plus le robot est proche de ses sensations désirées plus son affect sera élevé. La valeur de l'affect est alors utilisée pour activer ou inhiber un comportement exploratoire (dans notre cas, avancer). Le robot explore d'avantage lorsqu'il est proche d'une situation familière il s'arrête lorsque qu'il est trop loin de situations familières mais avec le temps la nouvelle situation devient familière et il explore alors de nouveau.

Durant l'exploration, le robot peut découvrir par hasard une source de bien être mais il risque d'explorer de nouveau ailleurs avant d'en avoir profité. C'est pourquoi nous utilisons la notion de *plaisir* consistant à mesurer la variation du bien être afin d'amplifier les effets des actions augmentant le bien être (plaisir positif) et de s'opposer aux effets des actions diminuant le bien être (plaisir négatif). Les effets d'une action peuvent se mesurer en mesurant les différences entre les sensations précédentes et la sensation actuelle, nous nommons ces différences, les *actions perçues*. Grâce à notre approche Per-Ac, il est très simple d'agir afin d'amplifier ou de s'opposer aux actions perçues en activant les actions correspondantes ou opposées. Cette activation est régulée par ce que nous appelons la *motivation à continuer* étant la somme de l'affect et du plaisir afin que le robot amplifie ce qui se passe tant que son bien être augmente (plaisir positif) ou que l'évaluation de la situation (affect) est positif.

Un effet secondaire intéressant apparaît lorsque l'action n'est pas générée par le robot, mais par un agent extérieur (par exemple l'expérimentateur). Le robot ne pouvant pas distinguer si les changements de sensations sont dues à ses propres actions ou des actions externes, il réagit exactement de la même façon. Par conséquent lorsque sa motivation à continuer est élevée, il va amplifier l'action faite par l'agent externe tan-

dis que lorsque sa motivation à continuer est faible ou négative, il va négliger l'agent externe ou même s'opposer à ses actions. Or la motivation à continuer dépend du plaisir (augmentation du bien être) ou de l'affect lié à la familiarité ou au "souvenir" d'expériences positives, par conséquent, le robot va imiter l'agent qui lui produit du plaisir ou avec lequel il est attaché et négliger ou éviter l'agent qui lui produit du déplaisir, inconnu ou avec lequel il a eu de mauvaises expériences.

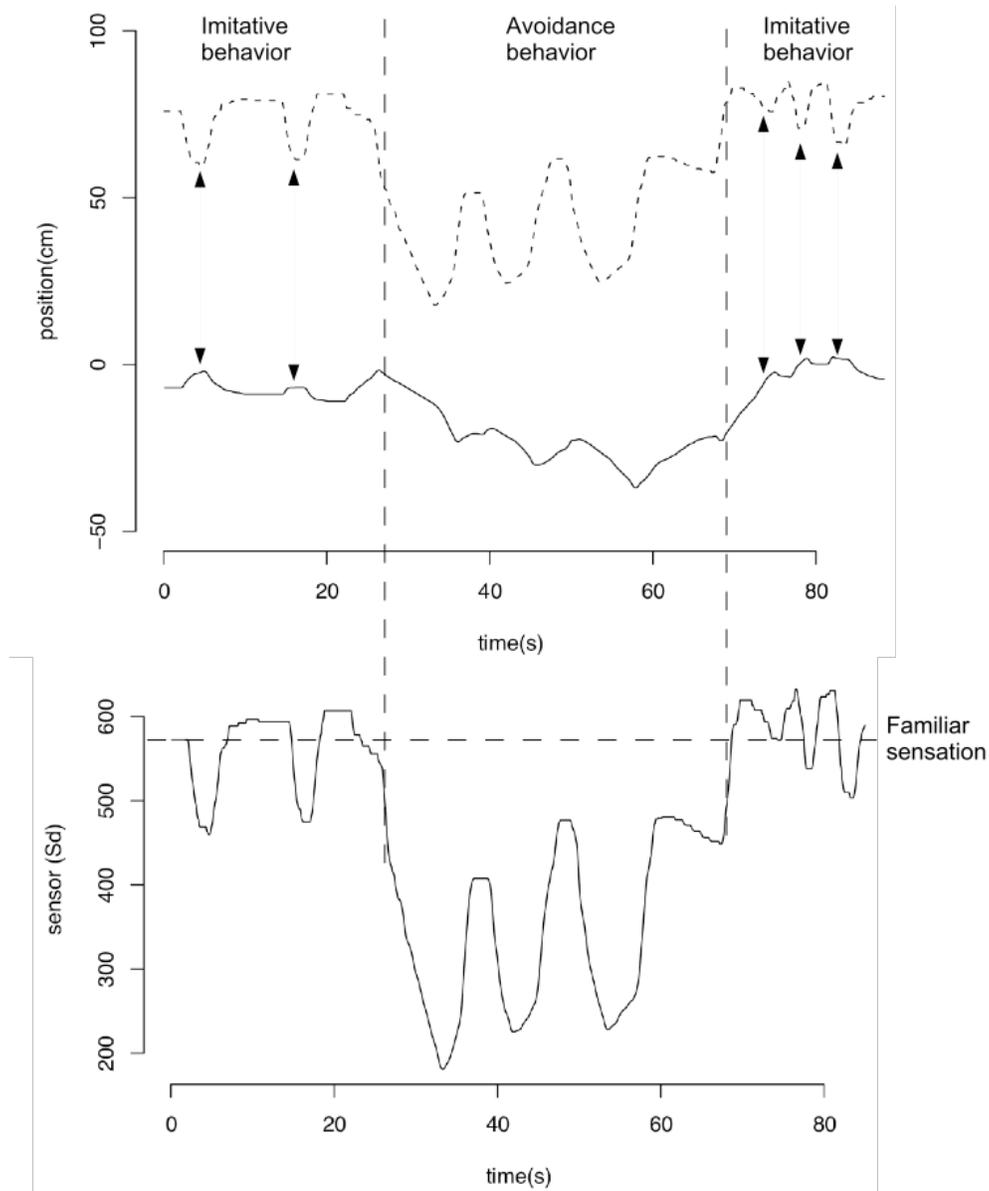


Fig. 3. Graphique supérieur: positions successives du robot en ligne continue et position successives de l'agent externe en ligne discontinue. Graphique inférieur: sensations successives du robot en ligne continue et sa sensation familière schématisée avec la ligne horizontale discontinue.

Nous présentons Fig. 3. le résultat d'une expérience caractéristique parmi des dizaines où le robot démarre avec une certaine sensation de distance qui est imprégné comme une situation familière. Puis le care-taker se déplace un peu, le robot ayant globalement la même sensation, l'affect est positif et donc amplifie les nouvelles sensations et par conséquent bouge symétriquement avec le care-taker (25 premières secondes). Ensuite le care-taker se déplace de beaucoup plus, les sensations du robot sont très différentes de sa sensation familière, et donc le robot essaie de minimiser la nouveauté, en ne bougeant pas ou même en s'opposant à la nouveauté avec un comportement d'évitement (entre la 25ème et 75ème seconde), puis le care-taker revient à sa position initiale, le robot se retrouvant dans une situation familière de nouveau se remet à amplifier la nouveauté (après la 75ème seconde).

V. Conclusions et perspectives

En utilisant une approche où la perception et l'action sont intimement liées, correspondant aux observations faites en psychologie et neurosciences, nous avons proposé de modéliser l'imprégnation grâce à de simples règles de conditionnement. Nous avons ensuite montré qu'en modulant la vitesse d'apprentissage du conditionnement, il était possible d'adapter les comportements à de nouvelles situations. Enfin, en modulant la valeur du lien entre l'action perçue et l'action effectuée en fonction de la motivation à continuer du robot (composée de l'affect et du plaisir), on a montré qu'il était non seulement capable d'exploiter des situations inattendues mais aussi de produire de l'imitation de bas niveau en fonction de son attachement avec les sensations produites par l'agent externe.

Bien sûr, l'implémentation sur un robot d'une architecture permettant de simuler des comportements d'attachement ou d'imitation ne peut prouver que l'attachement et l'imitation chez l'homme et l'animal se déroule de la même manière. En revanche, on peut montrer qu'il n'y a pas forcément besoin de facultés cognitives de haut niveau ou symboliques pour l'expliquer. Ceci est d'autant plus intéressant que les phénomènes d'attachement sont observés dans de nombreuses espèces animales dont l'homme et apparaissent dès la naissance (probablement avant). En robotique, l'intérêt est double car notre architecture, permet d'une part d'améliorer l'autonomie des robots en leur permettant de moduler leur comportement d'exploration, d'exploitation et même d'imitation en fonction de leurs états internes et du contexte. Mais elle permet aussi d'améliorer l'interaction personne-machine car parallèlement au fait que le robot va devoir s'habituer à l'utilisateur pour prendre de plus en plus d'initiatives, l'utilisateur appréciera mieux les initiatives du robot une fois qu'il se sera familiarisé avec lui.

Cependant, l'architecture que nous avons proposé pour moduler des comportements est encore très simple, et ne permet que de faire apprendre au robot une seule sensation désirée par échelle de temps. Cependant, il est possible d'apprendre plusieurs sensations désirées comme nous l'avons montré dans [Blanchard & Cañamero, 2006b]. Nous travaillons aussi actuellement à la gestion des sensations désirées à partir de combinaison de différents types de sensations non directement liées à l'action.

Bibliographie

- [Ainsworth, 1969] Ainsworth, M. D. S. (1969). Object relations, dependency, and attachment: A theoretical review of the infant-mother relationship. *Child Development*, 40(4):969–1025.
- [Andry et al., 2003] Andry, P., Gaussier, P., and Nadel, J. (2003). From sensori-motor development to low-level imitation. Dans *Proc. 2nd Intl. Wksp. on Epigenetic Robotics*, Lund University Cognitive Studies, vol. **, pages **.
- [Arkin, 2005] Arkin, R. (2005). Moving Up the Food Chain: Motivation and Emotion. Dans J.-M. Fellous & M. Arbib (eds.), *Who Needs Emotions ? The Brain Meets the Robot*, pages 245–270. Oxford University Press.
- [Blanchard and Cañamero, 2005] Blanchard, A. and Cañamero, L. (2005). From imprinting to adaptation: Building a history of affective interaction. Dans L. Berthouze, F. Kaplan, H. Kozima, H. Yano, J. Konczak, G. Metta, J. Nadel, G. Sandini, G. Stojanov and C. Balkenius (eds.), *Fifth International Workshop on Epigenetic Robotics: Modeling Cognitive Development in Robotic Systems (EpiRob2005)*, Lund University Cognitive Studies, vol. 123, pp. 23-30.
- [Blanchard and Cañamero, 2006a] Blanchard, A. and Cañamero, L. (2006). Developing affect-modulated behaviors: Stability, exploration, exploitation or imitation ? Dans *Proc. of the 6th Intl. Wksp. on Epigenetic Robotics*, sous presse.
- [Blanchard and Cañamero, 2006b] Blanchard, A. and Cañamero, L. (2006a). Avoiding to use events in order to anticipate rewards in continuous time and space. Dans *Proc. Third Workshop on Anticipatory Behavior in Adaptive Learning Systems (SAB'06 workshop ABiALS)*, Rome, Italie, 30 septembre 2006, sous presse.
- [Bateson, 2000] Bateson, P. (2000). What must be known in order to understand imprinting? Dans Heyes, C. and Huber, L., (eds.), *The Evolution of Cognition*, pages 85–102. Cambridge, MA : The MIT Press.
- [Cañamero et al., 2006] Cañamero, L., Blanchard, A., and Nadel, J. (2006). Attachment bonds for human-like robots. *International Journal of Humanoid Robotics*, 3(3), sous presse.
- [Decety, 1996] Decety, J. (1996). Do imagined and executed actions share the same neural substrate ? *Cognitive Brain Research*, 3:87–93.
- [Demiris & Dearden, 2005] Demiris, Y. and Dearden, A. (2005). From motor babbling to hierarchical learning by imitation: a robot developmental pathway. Dans *Proc. of the 5th Intl. Wksp. on Epigenetic Robotics*, Lund University Cognitive Studies, vol. 123, pages 31–37.

- [Dunn, 1977] Dunn, J. (1977). Distress and comfort. Dans J. Bruner, M., Cole, & B. Lloyd (eds.), *The Developing Child*, pages 67–75. Fontana/Open Books.
- [Gaussier and Zrehen, 1995] Gaussier, P. and Zrehen, S. (1995). Perac: A neural architecture to control artificial animals. *Robotics and Autonomous Systems*, 16:291–320.
- [Harlow and Harlow, 1969] Harlow, H. and Harlow, M. (1969). Effects of various mother-infant relationships on rhesus monkey behaviors. Dans Foss, B. (ed.), *Determinants of Infant Behavior*, volume 4. London: Methuen.
- [Hatfield et al., 1994] Hatfield, E., Cacioppo, J., and Rapson, R. (1994). *Emotional Contagion*. Cambridge University Press.
- [Kaplan and Oudeyer, 2004] Kaplan, F. and Oudeyer, P.-Y. (2004). Maximizing learning progress: an internal reward system for development. Dans Iida, F., Pfeifer, R., Steels, L., and Kuniyoshi, Y. (eds.), *Embodied Artificial Intelligence*, LNCS 3139, pages 259–270. Springer-Verlag, London, UK.
- [Kugiumutzakis et al., 2005] Kugiumutzakis, G., Kokkinaki, T., Makrodimitraki, M., and Vitalaki, E. (2005). Emotions in early mimesis. Dans Nadel, J. & Muir, D. (eds.), *Emotional development*, pages 161–182. Oxford University press.
- [Nadel et al., 2005] Nadel, J., Prepin, K., and Okanda, M. (2005). Experiencing contingency and agency. *Interaction Studies*, 6(3):447–462.
- [Panksepp, 1999] Panksepp, J. (1999). *Affective Neuroscience*. Oxford University Press.
- [Power, 2000] Power, T. (2000). *Play and Exploration in Children and Animals*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- [Prinz, 1997] Prinz, W. (1997). Perception and action planning. *European Journal of Cognitive Psychology*, 9(2):129–154.
- [Rescorla and Wagner, 1972] Rescorla, R. and Wagner, A. (1972). A theory of pavlovian conditioning: Variations in effectiveness of reinforcement and non-reinforcement. Dans Black, A. and Prokasy, W. (eds.), *Classical Conditioning II*, pages 64–99. New York: Appleton-Century-Crofts.