

PROJET  
**MiMETIC**

# SYNTHESE DE VULGARISATION

UNE PLATEFORME VIRTUELLE POUR ENTRAÎNER LA  
COLLABORATION MOTRICE DANS L'AUTISME

LOGICIEL POUR L'ENTRAÎNEMENT  
COMBINÉ À L'INTERACTION SOCIALE  
COLLABORATIVE ET À L'APPRENTISSAGE  
MOTEUR DANS LE TROUBLE  
DU SPECTRE DE L'AUTISME

**Centre TEDyBEAR pour  
enfants avec TSA :**

Jacqueline NADEL

**LIMSI-CNRS :**

Jean-Claude MARTIN

Travail réalisé par :

Un projet lauréat de l'Appel à projets  
« Autisme et Nouvelles Technologies »,  
coordonné par la FIRAH et soutenu par  
La Fondation UEFA pour l'enfance et la Fondation Orange



# Une plate-forme virtuelle pour entraîner la collaboration motrice dans l'autisme

## Résumé

Cette synthèse rapporte la création d'une plate-forme virtuelle destinée à entraîner la collaboration motrice entre un enfant avec trouble du spectre de l'autisme (TSA) et un personnage virtuel. L'objectif et le défi de ce travail pluridisciplinaire est de s'adresser à une population oubliée par les nouvelles technologies : celle des enfants non verbaux ou de très faible niveau langagier, et peu aptes à comprendre les symboles verbaux ou les codes pictographiques. Outre le fait qu'elles s'adressent surtout aux enfants verbaux et de bon niveau cognitif, les nouvelles technologies appliquées à l'autisme se consacrent soit à l'entraînement aux compétences sociales soit à l'entraînement aux compétences motrices, mais jamais à la conjonction des deux. Pourtant, quel que soit le niveau de l'enfant, apprendre l'entraide par le moyen de tâches de collaboration motrice a une importance majeure pour l'inclusion citoyenne, scolaire et sportive, et pour la participation aux activités de la vie quotidienne (déplacer une table à deux, porter ensemble un panier très lourd, faire du canoë-kayak à deux...). En effet ces actions nécessitent un dialogue moteur, c'est-à-dire une prise en compte du mouvement de l'autre dans son propre mouvement. Une telle prise en compte introduit à l'interaction sociale tout autant qu'elle introduit à la synchronie motrice. C'est ce que notre travail s'efforce de montrer dans ses quatre phases : 1) construction de la plate-forme en tant que système interactif et mise au point du protocole d'entraînement, 2) adaptation aux spécificités des enfants non verbaux avec TSA, 3) étude d'usage auprès d'enfants tout-venants de même âge chronologique, soit entre 5 et 9 ans, et 4) test de l'efficacité de l'entraînement sur une population de 12 enfants avec TSA non verbaux ou très peu langagiers, d'âge de développemental compris entre 36 et 84 mois. Les résultats de notre suivi d'enfants sur de nombreuses séances nous ont montré les bénéfices que l'on pouvait tirer d'une analyse précise de leurs performances motrices. Nous avons ainsi dégagé 4 paramètres : le contrôle du geste, l'ajustement du trajet au trajet de l'avatar, la synchronie avec l'avatar, la compréhension de l'intention motrice de l'avatar. Les résultats montrent d'abord que les 11 enfants qui ont participé choisissent l'objet à porter en fonction de la prise du personnage virtuel. Ceci montre que ces enfants de niveau cognitif très modeste peuvent capter l'intention motrice de l'autre. Mieux encore, la meilleure réussite d'entraînement est réalisée par un enfant totalement non verbal. Les paramètres de synchronie et de coordination motrice sont analysés grâce à un traitement informatique de données enregistrées automatiquement. Ces paramètres peuvent aussi renseigner au niveau micro-analytique de chacun des 456 scénarios réalisés par les 4 enfants qui sont parvenus à collaborer avec l'agent virtuel autonome.

## Introduction

Dans la vie de tous les jours, aider l'autre physiquement est non seulement une façon d'interagir socialement mais aussi une nécessité : un objet trop lourd pour le porter seul, un objet trop grand pour le tenir des deux mains, un objet trop glissant pour le retenir des deux bras... toutes ces situations demandent de coordonner ses gestes avec ceux de l'autre. Du fait que ces situations impliquent l'autre, on peut se demander de quoi les enfants avec un Trouble du Spectre de l'Autisme (TSA) sont capables dans ce domaine, eux dont les symptômes cardinaux sont les dysfonctionnements de l'interaction sociale et de la communication (APA, 2013). Nos questionnaires remplis par les familles indiquent que ces enfants n'aident pas spontanément et que les parents ne leur demandent pas de collaborer, en partie parce qu'ils pensent que leurs enfants n'en seraient pas capables, et en partie parce que ce serait trop long et trop compliqué à obtenir.

Sélectionnée dans le cadre de l'appel d'offre FIRAH-Orange *Autisme et nouvelles Technologies*, pour créer un « Logiciel pour l'entraînement combiné à l'interaction sociale collaborative et à l'apprentissage moteur dans le trouble du spectre de l'autisme », notre équipe pluridisciplinaire a fait l'hypothèse que développer la collaboration motrice peut améliorer les relations sociales en même temps que les capacités motrices. Les psychologues du développement ont d'ailleurs montré que la motricité est la première base des interactions sociales (McDonald, Lord & Ulrich., 2013). Cette question est d'autant plus intéressante qu'aider l'autre physiquement ne nécessite pas de se parler, et donc qu'une situation de collaboration motrice peut inclure des personnes non verbales. Or il se trouve que jusqu'à présent les nouvelles technologies ont laissé pour compte la vaste population des enfants porteurs d'un autisme sévère avec une déficience intellectuelle associée, et sans langage oral. Notre approche vise à faire bénéficier cette population défavorisée des possibilités offertes par la réalité virtuelle ou augmentée. Mais comment ?

L'addition de deux motricités individuelles ne suffit pas pour réussir une collaboration motrice. Il faut se coordonner. Ainsi, on peut lacer ses chaussures à deux ou les lacer tout seul. Les deux cas impliquent une coordination motrice, mais de niveau différent. Lorsque l'on pratique le laçage tout seul, ce sont nos deux mains qui se coordonnent en interne, tandis que si l'on lace à deux, il faut coordonner notre main avec la main de l'autre. Ce n'est pas sans poser des problèmes : le partenaire peut avoir des mouvements plus rapides ou plus lents que les nôtres, il peut vouloir croiser le lacet tandis que nous voulons un laçage droit, il peut commencer à faire une boucle simple alors que nous cherchons à réaliser une boucle double. Décidément pour lacer ses chaussures à deux il faut se mettre d'accord avec le partenaire, synchroniser nos rythmes, avoir un plan d'action. Ces compétences sont des variables dyadiques c'est-à-dire qu'elles s'expriment dans le cadre d'un système dynamique constitué par deux personnes (de Jaegher & Di Paolo, 2007 ; Nadel & Camaioni, 1993). Lorsque des

individus s'ajustent pour réaliser une action à deux, les capacités sociales et motrices sont en jeu de façon indissociable.

La revue de questions que nous avons réalisée nous a mené à deux conclusions. Tout d'abord, les actions conjointes doivent impérativement se réaliser en synchronie pour la commodité de la réalisation et la cohésion sociale qu'elle établit avec le partenaire (Hove & Risert, 2009). En second lieu, la forme la plus simple de synchronie motrice est celle où les mouvements à exécuter sont similaires (Marsh, Richardson & Schmidt, 2009; Richardson et al., 2015). En effet, l'autre type de mouvements synchrones que sont les mouvements complémentaires demande de coordonner des buts différents pour réaliser l'objectif commun (par exemple, tirer pendant que l'autre pousse comme dans les tâches de Columbi et al., 2006) : c'est plus difficile que de faire la même chose en même temps (Nadel, 2016).

## **Principes de réalisation**

Dans le but d'entraîner à la collaboration motrice des enfants avec TSA modéré à sévère, notre dispositif de réalité virtuelle devait combiner plusieurs critères. Tout d'abord, l'objectif moteur devait être compréhensible par tous, nous devions choisir une procédure très simple. Pour faire au plus simple, il fallait que l'avatar et l'enfant coordonnent leurs mouvements de façon à s'imiter en synchronie. La procédure choisie a consisté à déplacer un objet à deux, le partenaire étant un personnage virtuel. Mais si l'action à réaliser est simple, les contraintes techniques pour réaliser le dispositif étaient en revanche compliquées. En effet, il fallait que l'enfant ait l'impression de déplacer quelque chose de lourd avec l'avatar alors qu'une partie de l'objet à déplacer est virtuelle, il fallait que la réalisation de l'action conjointe se fasse en synchronie avec un partenaire virtuel, et il fallait animer le personnage pour qu'il soit compris comme un agent intentionnel. Ces problèmes ont dû être résolus techniquement par l'équipe informatique, tout en réalisant une présentation minimaliste pour répondre aux spécificités autistiques dégagées par l'équipe de psychopathologie développementale, et notamment éviter les distracteurs. Les techniques et dispositifs existants les plus récents comme les exergames utilisant la caméra de profondeur Kinect pour capter le mouvement (Staiano, & Calvert, 2011), YouMove pour éditer la capture du mouvement (Anderson, Grossman, Matejka, & Fitzmaurice, 2013), le logiciel Pictogram Room pour l'interaction avec un avatar (Herrera et Pérez-Fuster, 2018), l'animation d'avatars (Martin, 2018), les tables interactives pour la tangibilité (Hornecker, E., & Buur, J., 2006) ont inspiré la création d'une plate-forme virtuelle répondant à un objectif jamais recherché jusqu'alors : entraîner une population hétérogène d'enfants avec TSA, en essayant d'inclure un maximum de personnes non verbales, à une collaboration motrice généralisable aux situations de la vie quotidienne. Les

aspects techniques de la création de la plate-forme seront présentés dans un symposium international en 2021 ainsi que la publication correspondante (Giraud et al., 2021).

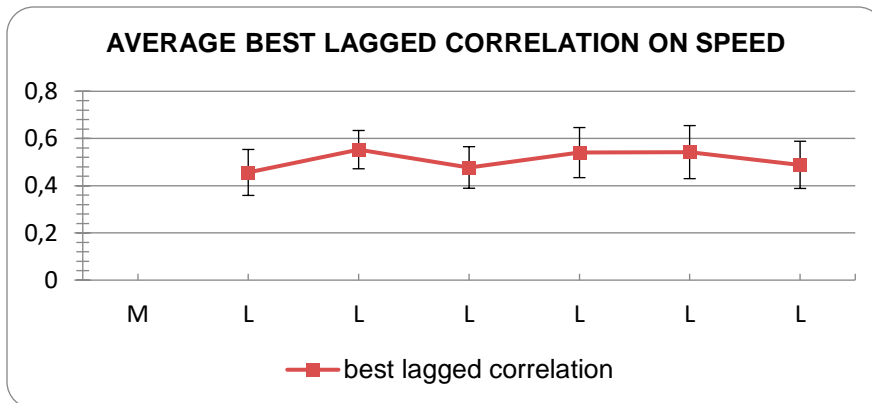


Fig.1-La plate-forme avec Lola prête à déplacer la boîte

## Réalisation

La réalisation du dispositif de collaboration motrice a compris 4 phases. La phase technique a pris en compte les réalisations existantes en intégrant des logiciels déjà disponibles, libres et/ou gratuits (Unity, Blender, Pictogram Room) donc facilement réutilisables, et les a adaptés à l'objectif. La deuxième phase a concerné l'adaptation du système technique aux spécificités de l'autisme. Le programme développé a été conçu par les spécialistes de l'autisme membres de l'équipe, et évalué par les professionnels de terrain de l'équipe, en étroite collaboration avec des collègues diagnostiqués, des référents d'associations de parents au premier rang desquelles l'ARAPI, et des familles d'enfants avec TSA. Elle a abouti à la réalisation d'un système composé d'un personnage virtuel projeté sur une surface sur laquelle un objet tangible est magnétisé : l'utilisateur et le personnage virtuel tiennent tous deux une partie de l'objet, mi-tangible pour l'enfant et mi-virtuel pour l'avatar, simulant ainsi une action collaborative. Michou, l'un des avatars, suit l'enfant, mais l'autre, Lola est autonome et requiert que l'enfant s'adapte à la direction et la vitesse de son déplacement. Les paramètres de quantification automatique des succès et des échecs, de la précision et de la synchronie des déplacements ont été conçus à ce stade. La figure 2 donne un exemple de la visualisation de cette quantification.

Figure 2- Degré de synchronisation d'un enfant au cours des séances où il doit s'adapter à la vitesse de l'agent autonome



La troisième phase a répondu à la nécessité de vérifier l'ergonomie du dispositif pour de jeunes enfants et de concevoir son adaptabilité à différentes tailles et différentes statures de jeunes. Cette phase a fait appel à 10 enfants tout-venants dans l'objectif de préparer le système pour une population d'enfants présentant un TSA.

La quatrième phase a été celle de l'évaluation du système par l'entraînement de 12 enfants avec TSA modéré à sévère, peu ou pas du tout verbaux. L'entraînement a compris 3 étapes : une étape de familiarisation avec le dispositif, une étape d'apprentissage de l'adhérence entre l'objet tangible et l'objet réel avec Michou, l'avatar qui suit, et une étape d'entraînement à se synchroniser avec l'avatar autonome Lola qui propose 3 conditions de vitesse et varie l'orientation de ses déplacements en fonction de 4 scénarios de déplacement d'objet (boîte) ou de mobilier (tabouret). Il aurait été facile, et sans doute plus satisfaisant au niveau des résultats quantitatifs, de sélectionner la population d'étude pour que tous les enfants participants soient capables de parvenir à coopérer avec Lola. Mais le bénéfice aurait été mince. Car ***pour nous, dans notre démarche citoyenne, tester le dispositif, c'est aussi et surtout tester s'il est ouvert à des enfants sévèrement handicapés, et notamment à des enfants non verbaux.***

## Résultats

### Etape de familiarisation

Au total, 126 essais concernent globalement la phase de familiarisation avec les lieux et le dispositif. Les résultats montrent un avantage de la compréhension verbale pour l'étape de la familiarisation puisqu'une seule séance de familiarisation suffit pour 6/7 des enfants un peu langagiers. En revanche le fait que la meilleure réussite de synchronisation avec l'avatar autonome soit réalisée par un enfant totalement non verbal indique l'accessibilité du dispositif et son efficacité pour une population largement laissée pour compte par les nouvelles technologies. De même, durant cette phase, tous les enfants qui acceptent les lieux (11/12) choisissent l'objet à tenir en fonction de l'objet que tient l'avatar parmi trois objets possibles : il s'agit d'une bonne surprise qui laisse augurer la possibilité de travailler l'intention motrice avec ces enfants. Durant cette phase néanmoins, deux enfants à autisme sévère, refusent de revenir. L'une, verbale, supporte mal que le tabouret ne soit pas aligné sur la table, et l'autre, non verbal, n'accepte pas de devoir recommencer un essai raté.

### Etape d'entraînement avec Michou, l'avatar qui imite le trajet de l'enfant

Quatre enfants réussissent l'entraînement en une seule séance sur plusieurs essais (entre 4 et 28 selon les enfants).

Arriver facilement à faire coller la partie réelle de l'objet à la partie virtuelle sur l'écran est un bon prédicteur de la capacité ultérieure à se synchroniser avec l'agent autonome, Lola.

Toutefois l'adéquation réel-virtuel peut se réaliser comme un placage physique sans prise en compte du partenaire virtuel : on colle les deux parties de l'objet pour arriver à effectuer le déplacement et on ne s'occupe pas de Michou. . On avait déjà vu ce phénomène chez les plus jeunes enfants tout-venants.

En modulation de ce point, on remarque une recherche du personnage virtuel chez la plupart de nos enfants. Tout se passe comme si la tâche de déplacer ensemble comprenait deux parties dissociées : la présence d'un partenaire d'une part, et le déplacement en collant l'objet réel à la partie virtuelle d'autre part. Une question se pose alors : la symbolique de la collaboration réel-virtuel pose-t-elle problème à nos enfants ?

### Etape d'entraînement à la collaboration motrice avec Lola, l'agent autonome

Pour suivre l'avatar autonome, il faut analyser :

- 1) la position de départ, qui informe sur l'objet d'intérêt (le tabouret, la table ou la boîte)

- 2) la posture, qui informe sur la cible et indique la trajectoire du déplacement (à droite, à gauche, en haut, en bas)
- 3) la vitesse pour rester synchrone. Trois niveaux de synchronie sont proposés : Lola en vitesse optimale, Lola rapide, Lola lente. Ces trois protocoles de synchronie ont été conçus pour être de niveau de difficulté croissante et se sont avérés tels.

Seuls quatre enfants réussissent à collaborer avec Lola, l'agent qui décide de l'objet à déplacer, du trajet à effectuer et de la vitesse du déplacement. Tous les quatre comprennent la position de départ comme indice de l'objet à tenir, et où déplacer l'objet en observant la posture de Lola. Ils savent donc déchiffrer une posture comme l'indication d'un but, d'une intention.

Pour ajuster leur vitesse à celle de Lola, la démarche est facilitée lorsque la vitesse est optimale, c'est-à-dire correspond à celle utilisée spontanément par l'enfant pour collaborer avec Michou. Dans ce cas, il s'agit juste de synchroniser son déplacement avec celui de Lola. En revanche les choses se compliquent lorsque Lola accélère le rythme. L'enfant non verbal y parvient dès la deuxième séance avec Lola. Pour les autres, il faut plus d'essais et plus de séances. En ralenti, seul cet enfant se montre capable de freiner son rythme propre dès le premier essai. Les autres ont beaucoup de mal à gérer leur impulsivité.

Des indices observables montrent que l'étape Lola est propice à faire de l'agent virtuel un personnage auquel on attribue des intentions. Ainsi une enfant s'adresse à l'avatar en disant 'Allez Lola !' 'Vas-y Lola'. Les 3 autres enfants ayant réussi des scénarios avec Lola cherchent l'avatar en regardant sous la plate-forme ou en passant derrière, ou même en essayant d'ouvrir la cabine. Plusieurs enfants verbaux qui ne s'intéressent pas à la tâche cherchent aussi les agents virtuels dans l'espace de la pièce.

Il faut noter que deux enfants plutôt langagiers ne se sont intéressés qu'au compteur de scores, cherchant à le faire évoluer en faisant n'importe quoi. Malgré nos efforts pour réaliser un dispositif minimaliste, il restait encore matière à se distraire du focus du dispositif.

Le traitement des 456 scénarios relevés automatiquement en termes de logs des écarts temporels et spatiaux entre déplacements virtuels et réels est en cours. Il vise à analyser les deux conditions nécessaires pour faire quelque chose ensemble : aller au même rythme et suivre le même itinéraire.





Fig2- Le trajet de l'enfant (en bleu) respecte bien au départ celui de Lola (en noir) puis le mouvement devient imprécis et la synchronie cesse puisque l'enfant précède l'avatar

## Conclusion

Les résultats de notre suivi d'enfants sur 26 séances nous ont montré les bénéfices que l'on pouvait tirer d'une analyse précise de leurs performances motrices. Nous avons ainsi dégagé 4 paramètres : le contrôle du geste, l'ajustement du trajet au trajet de l'avatar, la synchronie avec l'avatar, la compréhension de l'intention motrice de l'avatar. La bonne surprise a été que tous les enfants ont compris quel objet prendre sur la base de la posture de l'avatar. Nous avons remarqué aussi que certains enfants cherchaient à contourner la plate-forme ou se mettaient à plat-ventre pour regarder en-dessous, à la recherche du personnage virtuel dont ils avaient donc fait une personne avec des motifs propres, un véritable agent.

Ceci nous a amené à organiser des thérapies *à la carte*. Selon les enfants, il s'agit par exemple de développer la capacité à prendre en compte la posture de l'avatar comme un indice de son but (il va vers la table, il va prendre la boîte...) et d'entraîner ainsi l'accès à l'attention conjointe, ou d'arriver à un contrôle du geste faisant adhérer l'objet réel à l'objet virtuel, ou d'arriver à se synchroniser sur la vitesse de l'avatar, etc. La flexibilité du dispositif et son caractère ludique nous permettent d'accéder à une vraie dimension applicative.

Mais évidemment, pour des professionnels de terrain qui n'ont pas participé au programme de recherche, l'intérêt des résultats et livrables est déjà celui de l'applicabilité : le dispositif est performant et simple à manœuvrer, comme nous avons pu le constater en passant la main à un éducateur remplaçant le directeur pédagogique.

Il est encore trop tôt pour évaluer l'impact à long terme de l'entraînement avec notre plate-forme, mais nous pouvons considérer les réactions des professionnels de TEDyBEAR qui n'ont pas participé à la recherche. Ces réactions concernent le caractère généralisable de nos

résultats. En effet nos collègues ont été impressionnés de constater combien ils reconnaissent les caractéristiques motrices des enfants dans leurs résultats à la plateforme : impulsivité motrice, lenteur de mise en route, imprécision des mouvements, tout ce qui ressortait des résultats de chacun représentait des constats faits dans d'autres types d'activités. Le fait que ces caractéristiques individuelles puissent être modulées par des séances suivies avec le dispositif et que ce dispositif puisse pousser à mieux les analyser est déjà pour nous une première victoire, le fait enfin qu'il soit accessible aux enfants non verbaux est sans doute la meilleure.

### **Exploitation**

Le dispositif est livrable fin Janvier 2021 à la FIRAH et à Orange, partenaires financiers du projet. Il est conçu pour être à disposition gratuite sur le site de la FIRAH, avec tous les fichiers permettant sa construction, la formation des professionnels susceptibles de l'utiliser, les premiers résultats et leur exploitation pour réaliser des entraînements *a la carte*.

### **Remerciements**

Ce projet APant 2016-14 a été financé dans le cadre de l'appel d'offres "Autisme et Nouvelles Technologies" coordonné par la FIRAH et soutenu par la Fondation EUFA pour l'enfance et la Fondation Orange

<https://www.firah.org/logiciel-pour-l-entrainement-combine-a-l-interaction-sociale-cooperative-et-a-l-apprentissage-moteur.html>

### **Références**

- Anderson, F., Grossman, T., Matejka, J., & Fitzmaurice, G. (2013). YouMove: Enhancing Movement Training with an Augmented Reality Mirror. In Proceedings of the 26th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (p. 311–320). New York, NY, USA: ACM.
- Herrera, G., & Pérez-Fuster, P. (2018). Pictogram Room : son efficacité dans l spectre de l'autisme. *Enfance*, 70, 1, 31-50.
- Hornecker, E., & Buur, J. (2006). Getting a Grip on Tangible Interaction: A Framework on Physical Space and Social Interaction. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (p. 437–446). New York, NY, USA: ACM.
- Hove, M., & Risert, J. (2009). It's all in the timing : interpersonal synchrony increases affiliation. *Social cognition*, 27, 6, 949-960.

Giraud, T., Ravenet, B., Chi-Taï, Nadel, J., Prigent, E., Andre, E., & Martin, J-C (2021). Can you help me moving this over there ? Training children with ASD to joint action through tangible interaction and virtual agents. *TEI21*

De Jaegher , H., & Di Paolo, E. (2007). Participatory sense-making. *Phenomenology and the cognitive sciences*, 6, 485-507.

McDonald, M.M., Lord, C., & Ulrich, D. (2013). The relationships of motor skills and social communicative skills in school-aged children with autism spectrum disorder. *Adapted Physical Activity Quarterly*, 30, 3, 271-282.

Marsh, K., Richardson, M., & Schmidt, R. (2009). Social Connection Through Joint Action and Interpersonal Coordination, *Topics in Cognitive Science*, 1, 2, 320-339.

Martin, J.-C. (2018). Agents virtuels pour l'apprentissage de compétences sociales dans l'autisme : une revue. *Enfance*, (1), 13-30.

Nadel (2016). *Imiter pour grandir : Développement du bébé et de l'enfant avec autisme*. Paris : Dunod.

Nadel J. et Camaioni L. (1993). *New Perspectives in Early Communicative Development*. Londres : Routledge.

Staiano, A. E., & Calvert, S. L. (2011). Exergames for Physical Education Courses: Physical, Social, and Cognitive Benefits. *Child development perspectives*, 5(2), 93-98.

-----

<sup>1</sup> Centre médico-social TEDyBEAR , 153 Ave d'Italie,75013 Paris e-mail : [j.nadel@centretedybear.com](mailto:j.nadel@centretedybear.com);

Living Lab Lutin, Cité des Sciences et de l'Industrie, 30 Avenue Corentin Cariou, 75019 Paris e-mail : [jacqueline.nadel06@gmail.com](mailto:jacqueline.nadel06@gmail.com)

<sup>2</sup> LIMSI CNRS, Rue John von Neumann Campus Universitaire d'Orsay Bât 508 91405 Orsay cedex e-mail : [jean-claude.martin@u-psud.fr](mailto:jean-claude.martin@u-psud.fr)