

# ASSISTANCE COOPERATIVE POUR LA TELEOPERATION

Nancy Rodriguez, Olivier Heguy, Jean-Pierre Jessel, Herve Luga  
IRIT

118 route de Narbonne  
31400 Toulouse

rodri, heguy, jessel, luga @irit.fr

**Résumé** - *Pour aider l'opérateur à accomplir sa tâche, les systèmes de téléopération peuvent intégrer des outils de visualisation graphique, différents dispositifs d'interaction, des systèmes pour la planification de tâches, etc. Il est possible aussi de donner à l'opérateur une assistance spéciale, offerte par d'autres utilisateurs ou par des robots autonomes. Dans notre projet, nous nous proposons d'explorer comment intégrer les systèmes de téléopération, la réalité virtuelle et des systèmes adaptatifs pour réaliser une mission de téléopération grâce à la collaboration de plusieurs utilisateurs et l'utilisation de robots autonomes coopératifs.*

**Mots clé** - téléopération, systèmes adaptatifs, réalité virtuelle, travail coopératif.

## 1 Introduction

Un système de téléopération permet à un opérateur de réaliser une tâche à distance, en l'éloignant de l'environnement de travail et des machines qu'il contrôle. La téléopération élimine ainsi les risques relevant de travaux dangereux tels que l'exploitation spatiale ou la manipulation de substances toxiques. Pour aider l'opérateur à réaliser son travail d'une façon plus efficace, il est possible de lui donner de l'assistance offerte par d'autres utilisateurs ou par de robots avec un certain degré d'autonomie. Les robots d'assistance complètent les facultés humaines et permettent au système de profiter des capacités de la machine pour réaliser des travaux répétitifs ou difficiles au niveau physique, et de l'habileté de l'expert humain pour regarder, sentir et réagir au moment précis. Parmi les applications de la coopération homme-machine se trouvent la téléchirurgie et la manipulation coopérative. Dans la téléchirurgie, le but est de combiner la haute technologie avec l'expérience chirurgicale pour obtenir des chirurgies moins traumatisantes et qui demandent moins de ressources [OTT96]. Dans la manipulation coopérative, on cherche une coordination efficace entre l'homme et la machine pour manipuler des objets. Par exemple, Arai et al [ARA00] ont développé un système dans lequel un robot aide un opérateur humain à transporter un objet long. Grâce à la combinaison de la perception et de l'interprétation de l'environnement de la part de deux entités, il est possible d'accomplir une tâche impossible à réaliser par une entité seule. Dans notre projet, nous nous proposons d'étudier la coopération homme-machine pour la réalisation des missions

téléopérés, dans un système qui utilise la réalité virtuelle et les systèmes adaptatifs pour permettre la participation et l'interaction entre les opérateurs humains et les robots autonomes.

## 2 Contexte

Notre projet utilise deux grandes technologies de base : la réalité virtuelle et la simulation comportementale. La réalité virtuelle permet d'avoir une interface naturelle et intuitive, et d'intégrer différentes sources d'information pour améliorer la perception de l'opérateur. La simulation comportementale, quant à elle, permet d'avoir des robots autonomes qui offrent leur assistance à l'utilisateur.

### 2.1 La réalité virtuelle

La réalité virtuelle est une combinaison de technologies qui offre une interaction naturelle avec un monde simulé, créé par ordinateur. Ce monde peut être un lieu qui n'existe pas mais peut être aussi un lieu réel, ce qui a un grand intérêt pour les applications d'entraînement et de téléopération. En utilisant un environnement virtuel comme interface utilisateur d'un système de téléopération, on donne à l'opérateur l'information spatiale dont il a besoin pour travailler, éliminant ainsi la nécessité d'avoir plusieurs images vidéo. En outre, la réalité virtuelle utilise une simulation physique pour donner aux objets du monde simulé leurs caractéristiques et leur comportement dynamique. Ceci permet à l'opérateur d'explorer un

environnement et de l'expérimenter sans risque. La simulation dans un système de téléopération permet aussi de détecter des collisions entre le robot et les objets du site de travail, détecter des problèmes avant d'exécuter les instructions et montrer le résultat des instructions sans attendre la réponse ou en étant découplé du système réel. Des méthodes pour générer des comportements cohérents, robustes, utiles et adaptatifs dans des environnements dynamiques représentent aujourd'hui une part très active de la recherche en réalité virtuelle. En effet, des entités de plus en plus réalistes, doivent pouvoir interagir avec un environnement changeant et doivent même pouvoir aider à l'utilisateur pour réaliser une tâche commune.

Pour améliorer la sensation de présence dans l'environnement virtuel, il est aussi nécessaire de stimuler différents sens de l'opérateur et particulièrement, dans le domaine de la téléopération, le retour de force est essentiel pour réaliser les tâches qui requièrent la manipulation précise des objets. Par exemple, le simulateur de F16 du Laboratoire Armstrong, développé pour l'entraînement des pilotes, a permis de démontrer que le retour de force augmente la précision de la tâche d'atterrissage et diminue l'effort de l'opérateur [BUR96]. Les systèmes comme NPSNET ont montré aussi l'utilité de la réalité virtuelle dans l'entraînement [MAC95]. Ce système est un environnement virtuel distribué et multi-utilisateur qui permet recréer des missions militaires complexes. Le système DIVE (Distributed Interactive Virtual Environment) est un système de réalité virtuelle qui permet à plusieurs utilisateurs d'explorer un espace 3D et d'interagir avec les autres participants. DIVE supporte le développement d'environnements virtuels distribués et les interfaces homme-machine pour les systèmes utilisant la réalité virtuelle [HAN96]. Le système VIPER développé à l'IRIT [TOR98] est aussi une plate-forme de réalité virtuelle distribuée multi-utilisateur, générique qui fonctionne sur des architectures physiques hétérogènes, qui sert de base à plusieurs applications. D'autres systèmes ont appliqué la simulation et la réalité augmentée à la téléopération. Par exemple, le système ARGOS utilise des images générées par ordinateur superposées aux images vidéo pour améliorer la perception spatiale du site de travail [DRA93]. Mais comme ARGOS, la plupart des systèmes conçus pour la téléopération sont des systèmes dépendant de l'application et des dispositifs utilisés, ce qui complique la réutilisation du logiciel et la modification des systèmes existants. Pour cette raison, nous proposons une plate-forme générique pour le développement de systèmes de téléopération dans notre système ASSET.

## 2.2 La simulation comportementale

La simulation comportementale est une partie de l'animation qui se rapproche des systèmes réels de par son principe de fonctionnement en assignant aux acteurs ou systèmes animés des comportements indépendants. Ces derniers ne seront alors plus régis par un système global gérant le mouvement de tous les acteurs mais par un mécanisme de décision local placé dans chaque individu. Chaque personnage de la simulation prendra donc les décisions comportementales concernant son mouvement au pas de temps suivant, selon son état et celui de l'environnement l'entourant à cet instant de la simulation. La simulation comportementale est donc un moyen de faire interagir de manière naturelle des acteurs en simulant leurs capacités dans un environnement. Terzopulos [TER94] a été le premier à définir un modèle comportemental. Un découpage en trois éléments distincts : Capteurs, Module comportemental et Effecteur lui ont permis de réaliser des animations réalistes de bancs de poissons naviguant au milieu de vestiges de l'ancienne Rome. Depuis ce modèle a été repris de nombreuses fois ([BEC98], [SAN99]...) et est quasiment devenu un standard. Chaque individu d'une simulation modifie son comportement en fonction de données fournies par des capteurs et retransmet ses actions à l'environnement au travers des effecteurs. L'utilisation exclusive de ce couple acteurs/effecteurs limite la connaissance et l'effet d'un individu à leurs seules capacités d'acquisition et d'action. La simulation comportementale est utilisée en réalité virtuelle pour permettre l'animation d'entités autonomes.

## 3 Les systèmes ASSET et A<sup>3</sup>

Nous développons deux systèmes qui forment la base de notre projet. Un système de simulation comportementale sur la base de robots autonomes ou télé-autonomes ( l'utilisateur peut fournir des informations au robot ) dont la mission est d'aider, voire de guider, l'utilisateur à travers un monde complexe qui ne lui est pas forcément familier. En effet une approche distribuée des tâches, un parallélisme inhérent à celle-ci et une simplification de l'action à accomplir par l'utilisateur permettent de résoudre de manière efficace et rapide divers problèmes. Un système réactif aux divers événements de cet environnement dynamique doit également être mis en place afin d'apporter une certaine robustesse.

### 3.1 Le système A<sup>3</sup>

Le système A<sup>3</sup> (Agents Autonomes Adaptatifs) est un système de simulation comportementale sur la base de robots autonomes. Le but de ce projet est non seulement de fournir au robot un comportement autonome pour réagir dans un environnement dynamique, mais aussi de lui fournir les outils nécessaires afin de pouvoir aider un utilisateur pour réaliser diverses tâches. Pour cela on va donc définir un modèle et se servir d'outils cognitifs mais aussi de différents outils basés sur la vie artificielle. Les modèles comportementaux utilisés en robotique restent sensiblement les mêmes que ceux utilisés dans les espaces virtuels car les problèmes rencontrés sont presque les mêmes: réagir au mieux dans un environnement dynamique. Cependant, il y a d'autres contraintes car les temps de réaction peuvent être importants entraînant des erreurs d'évaluation de l'espace dans lequel on évolue. De plus, l'espace est bruité, faussant les entrées du robot et pouvant causer des différences entre l'action souhaitée et l'action réalisée. Pour remédier à cela, le module comportemental est composé de différents comportements élémentaires qui permettent de relier les capteurs et les effecteurs en établissant une structure contrôlée a priori ou établie dynamiquement afin de pouvoir évoluer par apprentissage. Notre approche est un modèle en trois couches (Figure 1.) :

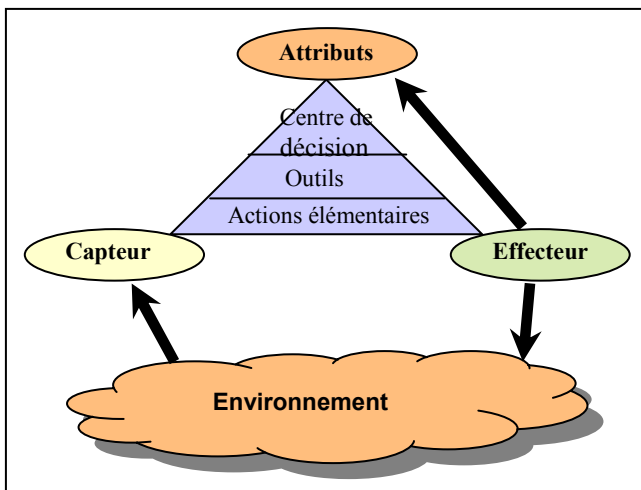


Figure 1. Architecture de A<sup>3</sup>

- Une couche de haut niveau qui sert de centre de décision.
- Une couche intermédiaire permettant de fournir à l'entité, des outils de plus haut niveau, afin de faciliter la tâche à accomplir (planification de route, équilibrage...)

- Une couche physique qui représente un modèle élémentaire d'actions pouvant être effectuées par l'entité (avance, tourne à droite, attrape...)

Il faut rajouter à ces couches, des couches au niveau des capteurs et des effecteurs qui permettent de filtrer les informations de manière à hiérarchiser la structure afin de pouvoir s'adapter à toute forme d'entités et de plate-formes. On peut également établir des liens directs entre certaines couches afin d'accélérer le traitement et de permettre, si besoin est, un comportement réactif.

Il faut rajouter à ces couches, des couches au niveau des capteurs et effecteurs qui permettent de filtrer les informations de manière à hiérarchiser la structure afin de pouvoir s'adapter à toute forme d'entités et de plate-formes. On peut également établir des liens directs entre certaines couches afin d'accélérer le traitement et de permettre, si besoin est, un comportement réactif.

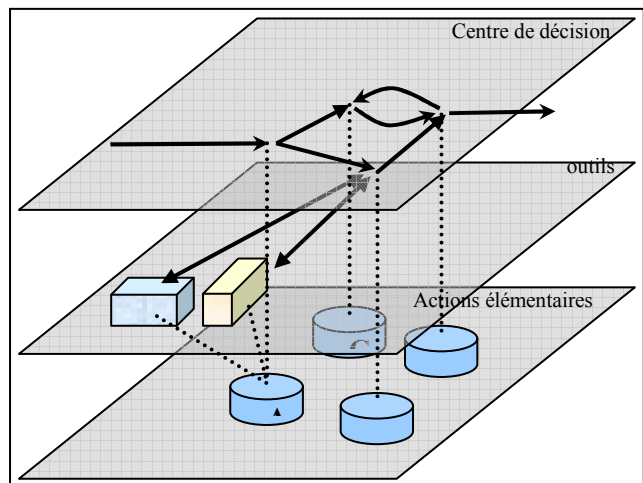


Figure 2. Principe du Module comportemental

Le modèle comportemental est divisé en deux éléments distincts :

Une partie réactive qui permet de réagir immédiatement à un événement extérieur sans impliquer un calcul coûteux et qui est implémentée en reliant directement les capteurs, la couche physique et les effecteurs, sans passer par les couches supérieures. On peut ainsi résoudre certains conflits liés à un retard de mise à jour ou d'erreurs d'évaluation du monde actuel tels qu'une collision imprévue.

La partie "réfléchie" est basée essentiellement sur un graphe de comportement défini a priori par l'utilisateur. A chaque nœud du graphe est associée une cellule comportementale. Une cellule est composée de

variables, peut nécessiter une composition d'actions élémentaires et l'utilisation de certains outils. Lorsque plusieurs chemins du graphe se présentent, on applique une méthode d'apprentissage par renforcement afin de choisir entre ceux-ci. De même lorsque plusieurs outils sont en concurrence, pour la planification de route par exemple, on applique une telle méthode pour trouver l'outil le plus adéquat à la situation.

L'interaction avec l'utilisateur s'effectue par le moyen d'une mémoire à courte durée permettant d'anticiper sur les actions à venir. A partir de là, trois cas sont à envisager :

Premier cas, l'espace de travail est dégagé et le but de la coopération est de déplacer un objet qui est trop imposant pour une seule entité. Le travail consiste alors uniquement à équilibrer la poussée de l'utilisateur ou d'une autre entité autonome pour guider l'objet le long d'un axe fourni entre le départ et l'arrivée.

Deuxième cas, l'espace de travail est chargé (murs, obstacles...) et l'utilisateur désire choisir le chemin à emprunter. Il saisit alors sous forme de points de passage le chemin pour atteindre son but. Le travail consiste alors en une répétition de la tâche ci-dessus avec en plus le problème de l'orientation de l'objet à déplacer : il peut ne pas passer entre deux obstacles s'il est déplacé selon la largeur mais passer si on le présente dans le sens de la longueur.

Dernier cas, l'espace de travail est chargé et l'utilisateur ne spécifie rien. Il faut alors trouver des points de passages valides permettant de déplacer l'objet à partir des actions précédentes de l'utilisateur. L'utilisation d'algorithmes de déplacements adaptés est alors prépondérante. Deux algorithmes ont été mis en place, un basé sur l'algorithme A\* étendu à des objets volumiques, ainsi qu'un basé sur les algorithmes génétiques afin d'obtenir la suite d'action à effectuer pour atteindre le but.

### 3.2 Le système ASSET

Le système ASSET (Architecture pour des Systèmes de Simulation et d'Entraînement en Téléopération) est un outil spécialisé pour le développement de nouveaux systèmes de téléopération qui offre aux programmeurs les services liés à la réalisation d'une mission téléopérée. ASSET offre des services de visualisation 3D, de détection de collisions, de gestion de dispositifs et de communications, de définition de comportement pour chaque objet de la simulation et de lecture de modèles Java3D et VRML2.0. Ce système peut être aussi utilisé pour la construction rapide de prototypes et pour tester des modèles de simulation ou de nouveaux dispositifs.

Dans cette architecture il y a trois groupes de composants : le module d'interaction avec l'utilisateur (Gestionnaire Utilisateur), le module de contrôle du système réel (Gestionnaire Système Réel) et le module central (Administrateur) qui coordonne les entités participantes, utilisateurs et robots. Dans le Gestionnaire Utilisateur on trouve les dispositifs d'interaction et visualisation, le simulateur et la gestion des communications et des événements. Le Gestionnaire Système Réel est constitué d'une façon similaire mais, à la place des dispositifs d'interaction et de visualisation, on a des capteurs et des effecteurs. L'administrateur a deux composants qui s'occupent de coordonner les interactions entre les entités et de répondre aux événements du système réel.

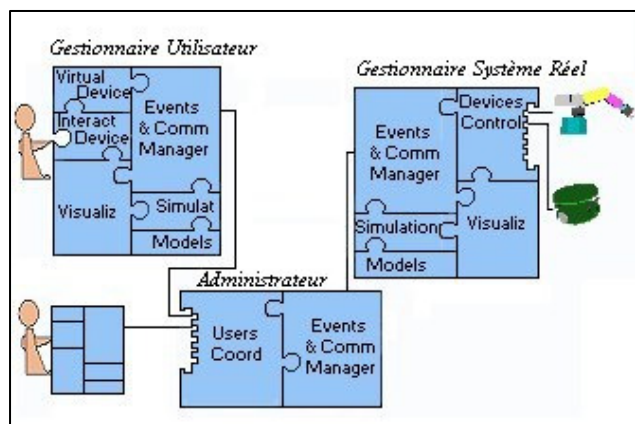


Figure 3. Le système ASSET

En plus de cette architecture, ASSET définit les différents mécanismes d'interaction entre composants et modules, et les stratégies qui permettent le déroulement des activités du système :

#### Espace de données et Management des événements.

Pour la communication entre les différents composants d'un module, on a défini un espace de données. Cet espace possède l'information des dispositifs et des messages adressés aux objets de simulation ou aux dispositifs. L'espace de données génère des événements quand un composant ajoute un message et, de cette façon, les dispositifs et les objets peuvent les récupérer. Toute la communication entre la simulation, la gestion des communications et la gestion des dispositifs se réalise à travers l'espace de données et les événements que celui-ci génère.

**Simulation.** Dans ASSET, il y a un simulateur dans le Gestionnaire Utilisateur et un dans le Gestionnaire Système Réel. Le simulateur dans le Gestionnaire Utilisateur permet de donner un retour à l'utilisateur

sans aucun retard. D'un autre côté, grâce au simulateur dans le Gestionnaire Système Réel, celui-ci n'est pas forcé de transmettre son état à la fin de l'intervalle de simulation. Le gestionnaire compare après l'avancement de la simulation, si l'état du système réel est très éloigné de l'état de la simulation ; il envoie l'état réel pour actualiser la simulation du Gestionnaire Utilisateur, seulement dans ce cas.

**Etat.** Pour savoir si l'état réel et l'état simulé sont différents, ASSET utilise les conditions définies par l'utilisateur. L'utilisateur définit l'ensemble des variables qui constituent l'état du système et pour chaque variable, la valeur d'erreur maximum. S'il y a une ou plusieurs variables qui ont atteint leur valeur d'erreur maximum, la simulation doit être actualisée. La possibilité de définir l'état du système et la différence acceptable entre deux états au moyen d'un fichier de configuration permet de calibrer facilement le système au taux d'actualisation voulue. D'un autre côté, le type des variables et le concept de distance peuvent être modifiés par l'utilisateur car le système permet de charger les classes développées par l'utilisateur pour gérer les variables.

**Gestion de dispositifs.** Afin que les logiciels construits avec ASSET soient indépendants des dispositifs particuliers, on utilise des dispositifs virtuels. Ces dispositifs offrent un ensemble de services qui peuvent être achevés avec différents dispositifs physiques. Le dispositif virtuel est un médiateur entre le dispositif réel et le gestionnaire d'événements qui permet d'assurer cette indépendance.

## 4 Le projet EVIPRO

Les systèmes A<sup>3</sup> et ASSET forment la base du projet EVIPRO. Ces deux systèmes ensemble permettent d'avoir l'assistance de robots autonomes pendant la réalisation d'une mission de téléopération. La figure 4 montre un exemple d'application du système EVIPRO, avec deux utilisateurs qui coopèrent entre eux et avec un robot autonome.

Les traits rouges dans la figure 4 montrent les commandes que les utilisateurs ont adressé au robot numéro 1. Ces commandes sont communiquées aux simulateurs et après à l'Administrateur, qui coordonne les actions et qui envoie le résultat au Gestionnaire du Système Réel. Chaque Gestionnaire Utilisateur a associé un système A<sup>3</sup>, qui réagira d'accord à l'état de la simulation local. Ses résultats serviront à donner d'information visuelle aux utilisateurs. Le robot autonome sera contrôlé uniquement pour l'unité comportementale associée au simulateur du

Gestionnaire Système Réel (traits en orange), ce qui permet au système A<sup>3</sup> de travailler sur des données globales déjà validées, d'abord pour la simulation de chaque Gestionnaire Utilisateur et puis pour le composant de coordination entre utilisateurs de l'Administrateur.

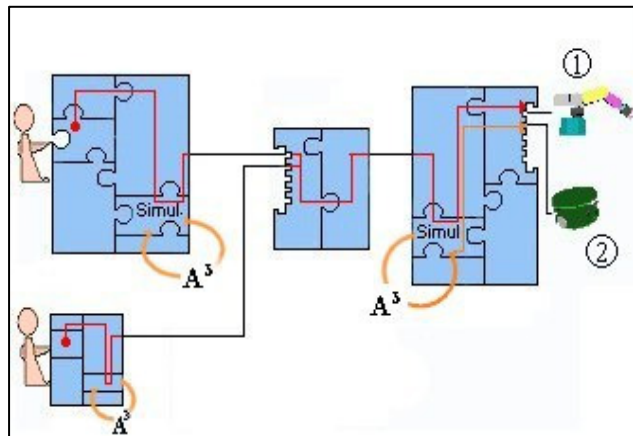


Figure 4. Le système EVIPRO

Le module comportemental est donc inclus dans l'espace de données tout comme les différents composants de la simulation. En effet, par ce biais, il peut connaître l'état de chacun des autres composants de la simulation et peut donc réagir au mieux. Les capteurs de l'entité vont donc filtrer les informations pour obtenir uniquement les données dont elle a besoin. Elle peut alors les interpréter puis, suite à un choix de comportement, chaque action met à jour l'état de celle-ci.

Le système ASSET comme le système A<sup>3</sup> sont un ensemble de classes Java qui peuvent être adaptées facilement aux conditions particulières d'une application de téléopération. L'architecture proposée par le système ASSET a été développée en même temps que le système de simulation comportementale, ce qui facilite l'intégration de ces deux systèmes.

## 5 Perspectives

Il existe plusieurs axes de recherche dans notre projet dont l'interaction entre entités (robots et utilisateurs), le développement du contrôle des robots autonomes adaptatifs, la planification de tâches et les problèmes liés à la simulation distribution comme la synchronisation entre les participants et la gestion du temps. Le système, incluant des périphériques de réalité virtuelle, sera évalué et validé avec un simulateur puis avec des robots Khepera.

## Bibliographie

[**ARA00**] Hirohiko ARAI, Tomohito TAKUBO, Yasuo Hayashibara and Kazuo TANIE. *Human-Robot Cooperative Manipulation Using a Virtual Nonholonomic Constraint*. Proceedings 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation. 2000

[**BEC98**] P. BECHEIRAZ. *Un Modèle comportemental et émotionnel pour l'animation d'acteurs virtuels*. Thèse de doctorat de L'EPLF de Lausanne, juillet 1998.

[**BUR96**] Grigore C. BURDEA. *Force and Touch Feedback for Virtual Reality*. John Wiley & Sons. 1996

[**DRA93**] David DRASCIC, Julius GRODSKI Paul MILGRAM, Shuman ZHAI. *Argos: A Display System for Augmenting Reality*. ACM Conference on Human Factors in Computing Systems. 1993

[**HAG96**] O. HAGSAND. *Interactive Multiuser VEs in the DIVE System*. IEEE Multimedia Magazine. Vol. 3, No 1. Printemps 1996

[**MAC95**] Michael MACEDONIA, Donald BRUTZMAN, Michael ZYDA, David PRATT, Paul BARHAM. *NPSNET: A Multiplayer 3D Virtual Environment over the Internet*. Proceedings of the AM-1995 Symposium on Interactive 3D Graphics. 1995

[**OTT96**] Mark P. OTTENSMEYER, James M. THOMPSON and Thomas B. SHERIDAN. *Cooperative Telesurgery: Effects of Time Delay on tool Assignment Decision*. Proceedings of the Human Factors and Ergonomics society 40<sup>th</sup> Annual Meeting, 1996

[**SAN99**] Cedric SANZA, Christophe DESTRUEL, Yves DUTHEN. *Evolution of autonomous actors in an interactive real-time environment*. 1999

[**TER94**] D. TERZOPULOS, T. XIAOYUAN, R. GRZESZCZUK. *Artificial Fishes with Autonomous Locomotion, Perception, and Learning in a Simulated Physical World*. Artificial Life IV, R. Brooks et P. Maes Editors, MIT Press, pp 17-27, 1994

[**TOR98**] P. TORGUET. *VIPER : un modèle de calcul réparti pour la gestion d'environnements virtuels*. Thèse de l'Université Paul Sabatier, Toulouse, 1998