

# 10 ans de Maquettes Virtuelles pour l'enseignement des automatismes : de WINSIM en 1998 à ITS PLC Professional Edition en 2008

Riera B.<sup>1</sup>, Vigario B.<sup>2</sup>, Chemla J-P.<sup>3</sup>, Correia L.<sup>2</sup>, Gellot F.<sup>1</sup>  
bernard.riera@univ-reims.fr

1- CReSTIC/UFR des Sciences Exactes et Naturelles/ Université de Reims Champagne-Ardenne  
Moulin de la Housse - BP 1039/51687 Reims Cedex 2 – France

2 - REAL GAMES LDA, Rua Dr. Alfredo Magalhães, Nr. 46, 4<sup>o</sup> piso, sala 8, 4000-061 Porto – Portugal

3- Université de Tours, Polytech Tours, 7 avenue M. Dassault, BP 0407/37204 Tours - France

**RESUME :** Cet article retrace notre expérience dans le domaine de la conception et de l'utilisation de maquettes virtuelles (i.e. parties opératives simulées) depuis le premier article présenté au CETSIS en 1999. Les maquettes virtuelles que nous avons développées à l'époque, même si elles étaient réalistes (3D, gestion des défaillances, rendu sonore) restaient des prototypes difficiles à utiliser par d'autres enseignants. Depuis 2008, la jeune entreprise innovante portugaise REAL GAMES propose un logiciel appelé ITS PLC Professional Edition intégrant 5 maquettes virtuelles extrêmement réalistes, dont les caractéristiques originales sont présentées dans l'article. Un partenariat scientifique et technique a été signé entre la société REAL GAMES et l'Université de Reims Champagne-Ardenne qui assure la distribution du logiciel en France.

**Mots clés :** simulation, maquettes virtuelles, Automates Programmables Industriels, retour d'expérience.

## 1 INTRODUCTION

Depuis le CETSIS de 1999 [1], nous présentons des articles dans le domaine de l'enseignement de l'automatique (systèmes continus et systèmes événementiels) exploitant des maquettes virtuelles. Nous avons pu ainsi démontrer leur intérêt pédagogique. Les maquettes virtuelles doivent être vues comme un outil complémentaire aux maquettes réelles et en aucun cas se substituer complètement à elles. Les maquettes virtuelles que nous avons développées alors, même si elles étaient réalistes (3D, gestion des défaillances, rendu sonore) restaient des prototypes difficiles à utiliser par d'autres enseignants. Or, en 2008, une jeune entreprise innovante portugaise REAL GAMES a proposé un logiciel appelé ITS PLC Professional Edition intégrant 5 maquettes virtuelles extrêmement réalistes. En mai 2008, un partenariat a été signé entre REAL GAMES et le CReSTIC (Centre de Recherche en Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication, EA 3804) de l'Université de Reims Champagne-Ardenne (URCA) en vue d'une part, de proposer une version française du logiciel ITS PLC et d'autre part, de contribuer à l'amélioration et au développement futur du logiciel. Dans le cadre de cette collaboration, et c'est là une approche de collaboration Université - Industrie originale, le Service d'Actions Commerciales et Industrielles de l'URCA devient le distributeur exclusif du logiciel ITS PLC Professional Edition en France.

Dans la première partie de l'article, une synthèse des travaux réalisés depuis 10 ans sur les maquettes virtuelles est proposée. La deuxième partie de l'article est consacrée au logiciel ITS PLC Professional Edition dont les principales caractéristiques et fonctions sont détaillées. L'article se termine sur quelques évolutions possibles du logiciel.

## 2 SYNTHÈSE SUR LES MAQUETTES VIRTUELLES

Lors du CETSIS en 1999 [1], nous avons présenté les premiers prototypes de simulation de Partie Opérative (PO), appelés Maquettes Virtuelles, car ils représentent fidèlement la fonction, la structure et le comportement de systèmes réels habituellement utilisés en Travaux Pratiques.

Les différences fondamentales entre une maquette virtuelle et une simulation classique sont [2]:

- un rendu réaliste de la structure, des fonctions et du comportement du système,
- le respect de la dynamique du système.

L'étudiant doit manipuler une maquette virtuelle de la même façon que la maquette réelle. Le rendu visuel et sonore allié au respect de la dynamique et à la simulation des défaillances doit favoriser l'interactivité avec l'étudiant tout en permettant un passage efficace entre la théorie et la pratique. La maquette virtuelle peut donc être utilisée à tous les niveaux (cours, TD, TP, auto-formation, etc.) et s'intègre parfaitement dans l'utilisation des TICE (Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Enseignement).

D'un point de vue technique, nous avons développé un simulateur auteur (moteur de calculs) appelé WINSIM capable de communiquer avec un logiciel de supervision utilisé d'une part pour ses fonctions d'Interfaces Homme-Machine (IHM), et d'autre part pour ses fonctions de communication avec une partie commande (PC) par l'intermédiaire d'une carte de communication. La flexibilité de cette solution permettait de simuler ou non la partie opérative (PO) et/ou la partie commande (PC). Nous avons réalisé des maquettes virtuelles aussi bien dans le domaine de l'automatique continue (expériences de préparation de TP de régulation du niveau dans 2 cuves couplées avec une simulation de la PO et des boucles de régulation,

cf. figure 1) que des automatismes. A cet effet, une «porte de garage» virtuelle (cf. figure 2) avait été réalisée et connectée à un automate programmable industriel (API) de type Premium. Le bruit du moteur était simulé également dans différentes circonstances normales et anormales qui pouvaient être forcées : bruit normal, forçage de la porte en butée, blocage de la porte, ... Cette maquette virtuelle a été utilisée par des étudiants de licence en sciences lors de travaux pratiques de sensibilisation et de découverte des automatismes et continue aujourd'hui d'être utilisée à l'IUT de Reims-Châlons-Charleville pour des TP de programmation d'API. La figure 3 présente une maquette virtuelle de traitement de surface dont la commande était aussi simulée au moyen de WINSIM. Cette application était utilisée en cours et TD pour montrer le lien entre la PC et la PO. Les maquettes virtuelles ne sont pas pour des raisons pédagogiques évidentes destinées à remplacer les maquettes réelles. Elles sont actuellement utilisées dans les Universités de Reims et de Tours avant tout pour remplacer les « boîtes à boutons ».

Il est intéressant de noter que cette plate-forme (en particulier WINSIM) avait initialement été développée pour des recherches dans le domaine de la conception et de l'évaluation d'outils de supervision adaptés à l'homme [3].

Lors du CETSIS en 2001 [4], nous avons présenté l'architecture choisie pour une nouvelle salle d'API, qui d'une part intégrait les maquettes virtuelles et d'autre part permettait une utilisation des API à distance au moyen du réseau Ethernet de l'Université

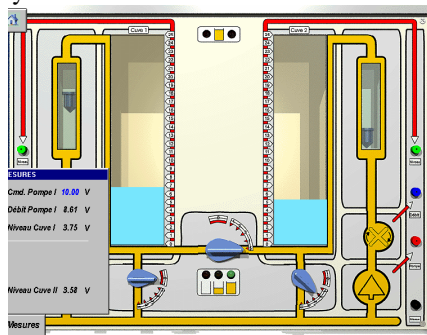


fig 1 : La régulation de niveau



fig 2 : La porte de garage

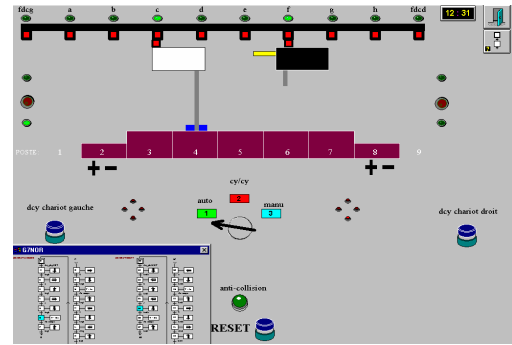


fig 3 : Le traitement de surface

Lors du CETSIS en 2003 [5], nous avons présenté une expérience pédagogique originale de télé-TP. L'idée de base était de permettre aux étudiants de profiter pleinement de la séance de TP en arrivant bien préparés. D'une façon très générale, une séance de TP d'API vise à transmettre aux étudiants un savoir-faire concernant les outils et les langages de programmation des automates mais surtout la possibilité d'appliquer les concepts théoriques vus en cours pour aboutir à une «bonne» commande. Le plus souvent les étudiants doivent se rendre compte de leurs erreurs pour pouvoir assimiler un principe théorique (problème de « fond »). Malheureusement, par manque de temps, la séance de TP permet souvent uniquement à l'étudiant d'acquérir un savoir-faire partiel. Cette expérimentation avait pour objectif de mettre en évidence s'il est possible ou non à l'étudiant d'acquérir une partie du savoir-faire pendant une séance de télé-TP en vue de se consacrer principalement aux problèmes de « fond » pendant la séance en salle de TP. Pour cela, volontairement la simulation de partie opérative (porte de garage) avait été simplifiée pour masquer les problèmes de « fond ». En effet, l'inertie du moteur n'était pas prise en compte. Très souvent les étudiants n'en tiennent pas compte dans leur commande et cela aboutit à un graficet présentant un problème de stabilité.

Lors du CETSIS 2005 [6], nous avons proposé une nouvelle solution pour résoudre les problèmes de portabilité et de communication posés par nos maquettes virtuelles. En effet, pour fonctionner, ces maquettes virtuelles nécessitent l'installation du moteur de calcul WINSIM et la configuration de la communication entre l'API et le simulateur WINSIM par l'intermédiaire du SCADA permettant la visualisation de l'état de la Partie Opérative au moyen d'un synoptique animé. La communication avec l'automate souffrait donc d'une lenteur intrinsèque aux outils utilisés. Ce défaut peut devenir rédhibitoire pour des systèmes dont les états de certains capteurs sont fugitifs. C'est le cas par exemple des maquettes d'ascenseur. On peut remédier à ce problème en ajustant le modèle dynamique de la PO par des contacts longs sur les capteurs, ou encore en diminuant la vitesse de déplacement à l'approche d'un capteur. Ces solutions ne sont pas satisfaisantes car elles nuisent au réalisme de la maquette virtuelle. Nous avons proposé une solution originale pour amé-

liorer le temps de réponse de la simulation. L'idée consiste à implémenter le modèle de simulation de la PO dans un autre API et de le relier à l'API qui contient la commande au moyen d'un réseau de terrain déterministe.

Contrairement aux maquettes virtuelles précédentes, la communication avec les automates ne sert qu'à l'interface et si cette communication se perd momentanément, il n'y a que la visualisation qui en pâtira, et pas le fonctionnement de la maquette virtuelle. La face avant de cette supervision pour la maquette virtuelle d'ascenseur est présentée en figure 4. Par rapport à la maquette réelle présente en TP, nous avons pu ajouter des accessoires comme des voyants sur tous les boutons, une gestion de l'énergie de la partie opérative, un mode manuel et des alarmes pour informer l'étudiant de problèmes comme :

- une commande incohérente du moteur (monter et descendre en même temps),
- les butées sont touchées,
- la montée ou la descente est maintenue quand'une butée est atteinte.

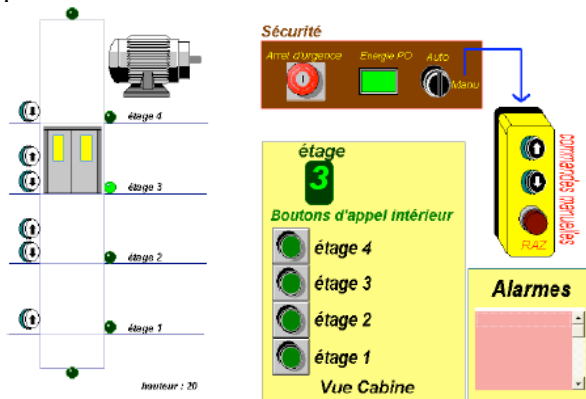


fig 4 : L'ascenseur

### 3 LIMITES DE NOS MAQUETTES VIRTUELLES, RETOUR D'EXPÉRIENCE ET NOUVELLES SOLUTIONS

Toutes les applications que nous avons réalisées avec les maquettes virtuelles : initiation aux automatisations, au Grafset, utilisation pour la préparation de TP, pour illustrer des cours et des travaux dirigés, ... ont été évaluées par les étudiants et les enseignants au moyen de questionnaires visant à estimer l'utilité et l'utilisabilité des prototypes développés [1] [2]. L'intérêt des maquettes virtuelles a donc été prouvé. Toutefois, ce retour d'expérience a aussi permis de mettre en évidence que nos maquettes virtuelles posent un certain nombre de problèmes :

- il s'agit avant tout de prototypes qui par conséquent sont difficiles à utiliser. Un étudiant ne peut se lancer sans de longues explications dans l'utilisation de ces maquettes virtuelles.
- les solutions basées sur des communications de type OPC avec un SCADA servant de passe-

relle entre L'API et le moteur de simulation temps réel de la Partie Opérative présentent des temps de réponse peu satisfaisants,

- le fait de ne pas utiliser d'entrées/sorties réelles de l'API ne permet pas à l'apprenant débutant d'appréhender correctement la chaîne fonctionnelle et la notion de coupleurs,
- les maquettes virtuelles proposées restent très simples et peu représentatives des systèmes industriels réels,
- il n'y a pas de simulation dynamique fine des objets manipulés. En d'autres termes, dans l'exemple du traitement de surface, il n'est pas possible de manipuler les paniers et de les faire tomber par exemple, seules les interactions prévues sont possibles,
- le rendu visuel et sonore de nos maquettes virtuelles reste bien inférieur aux possibilités offertes par les jeux vidéo ou les logiciels de CAO-DAO et de PLM (gestion du cycle de vie des produits, Product Lifecycle Management) qui proposent du vrai 3D.

Ces dernières années, nous avons vu apparaître des maquettes virtuelles qui ne présentent pas certaines des limitations qui viennent d'être évoquées. Par exemple dans [7] les auteurs présentent une maquette virtuelle de parking de voitures connectée à un API au moyen d'une interface électronique permettant la connexion des Entrées/Sorties au port parallèle. Cette solution originale permet d'obtenir des temps de réponse satisfaisants mais nécessite un port parallèle de moins en moins fréquent sur les ordinateurs personnels, et reste avant tout un prototype. On trouve au niveau des solutions commercialisées le simulateur de parties opératives 3D intégré à AUTOMGEN utilisant le moteur physique TOKAMAK. Toutefois cette solution propose des PO qui restent très simples et non connectables directement à un API. Il est à noter que l'utilisation de la simulation et de la 3D s'est particulièrement développée dans le domaine du PLM. A titre d'exemple, le groupe Dassault Systèmes développe et commercialise des logiciels d'application PLM et des services qui anticipent les processus industriels de demain et offrent une vision 3D de l'ensemble du cycle de vie d'un produit, de sa conception à sa maintenance en cours de vie. La gestion du cycle de vie du produit (PLM) est une stratégie commerciale qui consiste à appliquer des solutions industrielles collaboratives au développement des produits, depuis la phase de conception jusqu'à la fabrication. Ainsi, le logiciel DELMIA permet d'élaborer numériquement les processus de fabrication permettant ainsi d'optimiser la production réelle. Avec DELMIA Automation, les programmeurs peuvent valider et déboguer leur code API sur toutes sortes de dispositifs – outillages, robots, systèmes de sécurité et appareils électriques – plusieurs mois avant de procéder à leur intégration physique. Il est évident qu'il s'agit là de maquettes virtuelles « parfaites » qui relèvent plus de la boîte à outils de l'automaticien que de l'outil de formation à la programmation des APIs. Il est à noter que d'autres pro-

duits industriels pour l'automatisme (AUTOMATION STUDIO, CONTROL BUILD, SIMAC par exemple) intègrent des simulateurs de PO avec des visualisations plus ou moins fines de la PO. Leurs objectifs concernent le plus souvent la validation ou la génération de programmes API ou encore la formation des opérateurs. Ces solutions sont bien entendu très chères, nécessitent le plus souvent une formation pour pouvoir être utilisées et peuvent donc difficilement s'envisager dans une salle de TP classique. Toutefois, elles mettent en avant l'importance que prend la simulation dans le développement de produit et la fabrication industrielle.

Des travaux ont été menés depuis 2005 [8,9] par des chercheurs portugais en vue de proposer des maquettes virtuelles 3D qui soient de véritables mondes virtuels. Ils ont mis en évidence que les cartes graphiques des ordinateurs sont maintenant suffisamment puissantes pour pouvoir proposer des applications graphiques temps réel, fortement interactives permettant à l'apprenant une immersion complète dans des scènes représentant des installations industrielles.

Ces travaux ont abouti à la création à Porto d'une entreprise innovante Real Games et à la commercialisation en 2008 du logiciel ITS PLC Professional Edition. Un partenariat scientifique, technique et commercial original a été signé entre la société Real Games et l'Université de Reims Champagne-Ardenne. Dans le cadre de cette collaboration des enseignants-chercheurs du CReSTIC (Centre de Recherche en sciences et Technologies de l'Information et de la Communication, EA 3804) :

- deviennent source et force de propositions et d'idées pour les améliorations et versions futures du logiciel,
- assurent la traduction française du logiciel et des documents annexes (guide utilisateur et brochure),
- assurent la distribution du logiciel ITS\_PLC Professional Edition en France.

Les principales caractéristiques et fonctions du logiciel ITS PLC Professional Edition sont maintenant présentées.

#### 4 LE LOGICIEL ITS PLC PROFESSIONAL EDITION

ITS PLC Professional Edition est un logiciel éducatif adapté à l'apprentissage de la programmation des Automates Programmables Industriels (API). Basé sur les dernières technologies informatiques, ITS PLC permet de former les apprenants aux API au moyen de Parties Opératives (PO) simulées. Les environnements virtuels proposés n'ont jamais été aussi réels grâce d'une part à une totale interactivité, et d'autre part à l'hyper réalisme des animations graphiques 3D en temps réel, des dynamiques et des sons. Le résultat est un environnement simulé composé de plusieurs systèmes très réalistes pouvant être connectés à un API, bien réel.

#### 4.1 Principe de fonctionnement

ITS PLC propose 5 systèmes virtuels pour la formation et l'entraînement à la programmation des API. Chaque PO est une simulation graphique d'un système industriel incluant ses capteurs et ses actionneurs permettant ainsi à un API de le piloter. L'objectif pour l'apprenant est donc de programmer l'API de façon à commander chaque PO virtuelle comme s'il s'agissait d'un système réel.

Les informations sont échangées entre l'API et la PO virtuelle au moyen d'un module USB d'acquisition de données TOR disposant de 16 entrées et de 16 sorties (cf. figure 5). Cette solution a l'avantage d'obtenir un temps de scrutation des entrées de l'ordre de 16ms. Le logiciel ITS PLC est fourni avec le module d'E/S TOR USB de la société ADVANTECH.

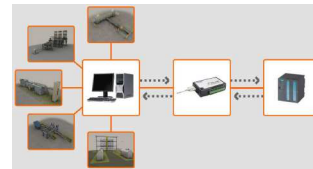


fig 5 : Principe de communication entre le logiciel et l'Automate Programmable Industriel

#### 4.2 Caractéristiques principales

Le logiciel repose sur 3 moteurs de calcul :

- un moteur graphique, exploitant les possibilités offertes par les bibliothèques de fonctions dédiées aux traitements audio/vidéo (carte vidéo, carte son, etc.),
- un moteur pour la gestion de la connexion avec le module d'acquisition USB 4750,
- un moteur physique, Newton Game Dynamics est le moteur physique utilisé. Il simule de manière réaliste les comportements physiques dans des jeux ou d'autres applications temps réel. Contrairement à la majorité des autres moteurs physique temps réel, le moteur Newton Game Dynamics privilégie la stabilité et la précision à la vitesse, puisque son solveur ne s'appuie pas sur les méthodes traditionnelles itératives.

Le résultat est particulièrement impressionnant : le rendu des graphismes 3D est réussi, les comportements dynamiques temps réel représentent fidèlement ce qui se passerait dans un vrai système, le rendu sonore 3D temps réel est réaliste et enfin l'interactivité est totale avec les PO virtuelles. En effet, il est possible :

- d'ajouter et/ou de retirer des objets du flux de production, et cela à tout moment pendant la simulation,
- de générer des situations d'erreurs et/ou de perturber le système en permettant la simulation des défaillances de capteurs et d'actionneurs. Ces défaillances correspondent soit à des courts-circuits, soit à des circuits ouverts.

La figure 6 présente un exemple d'interaction entre une palette, un carton et un convoyeur. Le carton

est en train de tomber de la palette qui se déplace sur le convoyeur.



fig 6 : Exemple d'interactions

### 4.3 Les 5 PO virtuelles proposées

ITS PLC Professional Edition propose 5 PO virtuelles différentes basées sur des scénarios rencontrés dans le monde industriel. Il s'agit :

- Système de tri de caisses
- Système « batch » de mélange
- Palettiseur
- Robot « Pick & Place »
- Magasin automatisé

Chaque système simulé offre des problèmes classiques rencontrés en programmation d'API. Les systèmes sont présentés dans un ordre croissant de difficulté permettant ainsi de disposer d'exercices adaptés aux connaissances et compétences des apprenants. Les systèmes peuvent être pilotés en mode manuel ou en mode automatique. Dans ce dernier cas, c'est le programme présent dans l'API connecté à la carte d'E/S qui pilote la PO simulée. Les 5 maquettes virtuelles ont comme caractéristiques communes :

- des zones d'alimentation et d'évacuation où les objets se déplaçant (palettes, caisses, pièces) sont automatiquement insérés et retirés de la scène,
- le nombre d'objets simultanément présents dans la scène est limité à 16. Si ce nombre est dépassé, le premier objet inséré est retiré automatiquement,
- le nombre de capteurs (entrées de l'API) est de 16 au maximum et le nombre d'actionneurs (sorties de l'API) est de 10,
- un pupitre de commande avec un mode AUTO, un arrêt d'urgence (AU) et 3 boutons-poussoirs (START, STOP, RESET),
- 5 positions de caméra prédéfinies et possibilité de déplacer le point de vue de la caméra dans la scène,
- le son 3D restitué dépend de la position de la caméra.
- les 5 systèmes sont maintenant rapidement présentés. Pour chaque système, une sortie écran est proposée pour visualiser la partie opérative simulée.

#### 4.3.1 Tri de caisses

Une vue écran du système est présentée figure 7. L'objectif du système est d'amener des caisses du tapis d'arrivée aux monte-charges en les triant selon leur hauteur.

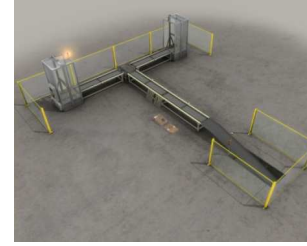


fig 7 : Le tri de caisses

Le système est instrumenté au moyen de 11 capteurs permettant de déterminer la taille des caisses (petite ou grande) et l'entrée ou la sortie d'une caisse des différents convoyeurs ou du plateau tournant. Les 7 sorties de l'API permettent de mettre en marche les différents convoyeurs et le plateau tournant.

#### 4.3.2 Système « batch » de mélange

L'objectif est de mélanger les trois couleurs primaires (rouge, vert et bleu) pour obtenir la couleur souhaitée (cf. figure 8). L'instrumentation est composée de 11 capteurs permettant de mesurer le niveau de chaque cuve (bas, intermédiaire, haut). La couleur est obtenue en mélangeant différentes contenances des 3 réservoirs contenant des couleurs primaires. Les 7 actionneurs permettent de vidanger les différentes cuves et de commander le mélangeur.

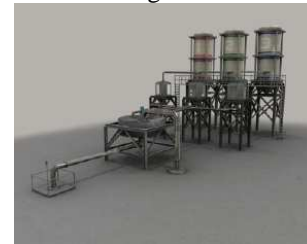


fig 8 : Le système « batch » de mélange

#### 4.3.3 Palettiseur

L'objectif de ce système est de créer des palettes de caisses sur trois niveaux (cf. figure 9). Le palettiseur est composé d'un monte-charge pour les caisses, un corps central et d'une zone d'évacuation. Le monte-charge alimente un convoyeur à bande au moyen d'un éjecteur. Les caisses sont accumulées à la fin du convoyeur au moyen d'une barre d'arrêt. Les caisses sont ensuite prêtes à être chargées sur la palette qui est ensuite évacuée. Le système est composé de 11 capteurs et de 8 actionneurs.



fig 9 : Le palettiseur

#### 4.3.4 Robot « Pick and Place »

L'objectif est de ranger 3 types de pièce dans des boîtes en utilisant un manipulateur 3 axes (cf. figure 10). Les boîtes sont transportées par un convoyeur à bande, de la zone d'alimentation vers un deuxième convoyeur. Un troisième convoyeur amène aléatoirement les pièces qui sont ensuite déplacées par le manipulateur au moyen d'un préhenseur magnétique. Le système est composé de 9 capteurs et 8 actionneurs.

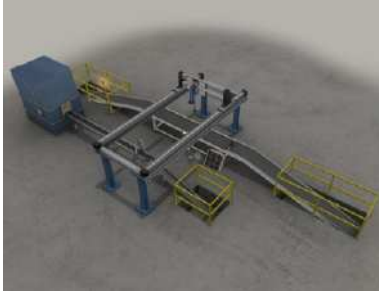


fig 10 : Le système « Pick and Place »

#### 4.3.5 Magasin automatisé

Le magasin automatisé (cf. figure 11) est composé d'un transélévateur, d'un rack (composé de 50 cellules de stockage) et des zones d'alimentation et d'évacuation. Un système monorail automatique délivre des boîtes au transélévateur qui ensuite doit les transporter dans une cellule particulière du rack. On positionne automatiquement le transélévateur au moyen de 6 bits de sorties. Le système est commandé et contrôlé au moyen de 8 capteurs et de 8 actionneurs.



fig 11 : Le magasin automatisé

Ces 5 parties opératives peuvent être utilisées pour des TP sur API mais aussi en supervision industrielle en ajoutant des SCADA ou des écrans tactiles. Les notions d'historisation, de recettes, de surveillance et de traçabilité peuvent être illustrées grâce à ces PO simulées.

## 5 CONCLUSION

Les progrès des technologies informatiques ont permis le développement du logiciel ITS PLC Professional Edition qui reprend et étend les concepts proposés en 1998 au travers de nos premières maquettes virtuelles. Les extensions futures du logiciel sont très nombreuses : modélisation plus fine des capteurs et actionneurs,

variables analogiques, communication OPC pour gérer plus d'E/S, nouvelles maquettes virtuelles, communication des objets manipulés entre les différentes PO, ... Le partenariat signé entre l'Université de Reims Champagne-Ardenne et la société REAL GAMES va nous permettre de participer aux versions futures du logiciel tout en assurant sa distribution en France. Il faut toutefois rester raisonnable, la simulation même au travers de mondes industriels virtuels très réalistes comme ITS PLC ne remplaceront jamais pédagogiquement et restent complémentaires à des systèmes réels. On ne peut toutefois nier l'importance de plus en plus grande de la simulation 3D comme outil de travail de l'automaticien.

## Bibliographie

- [1] Riera, B., Martel, G., Lambert, M "Des exemples d'initiation attractive à l'EEA", *Actes du 2<sup>ème</sup> Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CESTIS-EEA'99), Montpellier (France), Novembre 1999.*
- [2] Riera, B., Martel, G., Anguè, J.C. "La simulation : outil pédagogique pour l'enseignement de l'automatique dans les formations professionnalisées" *Sciences et techniques éducatives, volume 6, numéro 1, pp 37-60, décembre 1999, Hermes Sciences.*
- [3] Riera, B., Martel, G., Lambert, M., Cherifi, E. "Experimental Platform for Supervision of Complex Automated Systems" *Proceedings of the Seventh IFAC/IFIP/IFORS/IEA Symposium on Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems (pp. 305-310). Kyoto, Japon, September.*
- [4] Riera, B., Conreur, G., Chemla, J-P. " Une salle de TP d'API adaptée aux NTE", *Actes du 3<sup>ème</sup> Colloque sur l'Enseignement des Technologies et des Sciences de l'Information et des Systèmes (CESTIS-EEA'01), Clermont-Ferrand (France), Octobre 2001.*
- [5] Riera, B., Gellot, F., Dubois, O., Chemla, J-P., Triki, S. "L'utilisation pédagogique et l'enseignement des TIC dans les automatismes", *Journal de l'Enseignement des Sciences et Technologies de l'Information et des Systèmes J3eA 4 HORS SÉRIE 2 (2005) 013, DOI 10.1051/bib-j3ea:200571.*
- [6] Chemla, J-P., Riera, B., Gellot, F., Kouame, D. "simulation de partie opérative temps réel pour l'enseignement des automatismes", *Journal de l'Enseignement des Sciences et Technologies de l'Information et des Systèmes J3eA 4 HORS SÉRIE 2 (2005) 013, DOI 10.1051/bib-j3ea:200571.*
- [7] Lima, J-L., Gonçalves, J-C. "PLC Training Based on a 3D Virtual Maquette Control", *International Conference on Engineering and Education, 3 to 7 September 2007, Coimbra, Portugal*
- [8] Vigário, B., Magalhães, A., Freitas, F. "Modern computer games technology in systems and control education", *7th Portuguese Conference on Automatic Control, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 2006.*
- [9] Magalhães, A., Vigário, B., Freitas, F. " 3D Virtual Environments for PLC Programming Education and Training", *Proc. of European Simulation and Modelling Conf. Pp. 349-353, 2005.*