

La simulation de partie opérative, une nouvelle approche originale pour la formation aux systèmes automatisés.

Martial GRISLIN¹, Bernard HOURIEZ, Fabrice ROBERT
IUT GE2i Le Mont Houy BP 311 - 59326 Valenciennes

La simulation de Partie Opérative (PO) est aujourd'hui une nécessité industrielle pour optimiser chacune des phases du cycle de vie d'un système piloté par Automate(s) Programmable(s) Industriel(s). Convaincu de cette réalité, le département GE2i de l'IUT de Valenciennes collabore dans ce domaine avec la société Prosyst. Prosyst a développé et commercialise un produit innovant dans le domaine : le Simulateur de MACHINE SIMAC dont la version SIMACTEL intégrée dans l'atelier XTEL de Télémécanique [1]. Dans le cadre de la formation des techniciens supérieurs, et au delà de l'enseignement des concepts de la simulation de Partie Opérative, cette collaboration envisage trois aspects pratiques de l'utilisation d'un simulateur au titre de la pédagogie :

- 1. Former à une utilisation rationnelle de la simulation de Partie Opérative en cohérence avec les exigences d'une méthodologie de développement de Systèmes Automatisés de Production (SAP) cadrée dans le cycle en V de l'AFCIQ (démarche qualité oblige !) ;*
- 2. Pallier les problèmes (surtout financier... !) de la mise en œuvre et de la maintenance de maquettes didactiques onéreuses et souvent réductrices de la complexité industrielle ;*
- 3. Étudier, et cela sans risque de casse matérielle, la bonne gestion des Modes de Marche et d'Arrêt (MMA) qui, au delà de la marche « Normale », constitue l'un des points critiques d'une application industrielle.*

Dans cette perspective, le Département GE2i s'est attaché, sous le couvert d'un statut de PAST, les compétences d'un Ingénieur d'étude de la société Prosyst. Il s'est de plus équipé de 6 postes de simulation SIMAC autonomes sur PC dont deux avec l'interface AIDSIM pour l'exploitation « on line » sur les automates série 7 de Télémécanique.

En tout état de cause, cet article ne prêche en rien le « tout simulé » pour le bien être de la pédagogie, mais il propose la simulation de Partie Opérative, d'une part en tant que réalité industrielle [2], et d'autre part en tant que moyen complémentaire pour la formation pratique des techniciens supérieurs.

Après un exposé sur les principes de la simulation de Partie Opérative, cet article présente l'expérience de formation aux systèmes automatisés par la simulation, menée à Valenciennes dans le cadre des projets de seconde année de l'option Automatismes et Systèmes.

1. La simulation de Partie Opérative

Comme son nom l'indique, un simulateur de PO est chargé de reproduire le comportement du procédé à commander, que ce soit une machine, un four, un convoyeur, etc. Les premiers simulateurs ne datent pas d'aujourd'hui. Avec les « **boîtes à boutons** » câblées sur les entrées/sorties de l'automate (pour exciter les entrées et émuler les sorties), on songeait déjà à valider le programme installé sur l'automate programmable. Évidemment, les tests n'étaient pas très poussés - on reconnaît ici quelques-uns de nos TP API... d'il y a une demi-douzaine d'années. Depuis, un pas décisif a été franchi avec l'apparition des premiers logiciels de simulation de PO. L'une des premières approches développées consiste à décrire le **comportement fonctionnel** de la PO et de programmer ce comportement à l'aide de langage d'automate. Le modèle de PO ainsi développé est ensuite implanté dans une machine cible (un autre API, un PC ou une station de travail) connectée sur le coupleur de cet automate. Mais est-ce vraiment la PO qui est simulée ? En fait, avec ce type de logiciel, on vérifie que le programme automate se comporte comme il a été prévu au départ, on ne vérifie pas s'il est conforme à ce qu'on en attend. De plus, la description de l'installation réelle passe par un langage de programmation qui n'est pas prévu pour décrire la partie opérative d'un système automatisé.

Le modèle logiciel doit être représentatif du comportement de l'installation. Autrement dit, il faut faire une simulation sur un modèle décrivant la **structure réelle** de la machine à commander. Par exemple, il ne faut pas mettre de verrouillages entre les composants élémentaires du modèle pour interdire les mouvements qui seraient dangereux : si la mécanique et les actionneurs sont capables de provoquer de tels mouvements antagonistes, il doivent être autorisés. En fait, il faut garder à l'esprit que l'objectif de base de la simulation est de tester et de valider le programme. Il s'agit donc de décrire une installation telle que la verra l'automate, c'est à dire sous l'angle de ses entrées (les capteurs) et de ses sorties (les actionneurs). C'est ce que permet le logiciel SIMAC (Fig. 1).

Même sans chercher à simuler le fonctionnement intégral de l'installation, le modèle de simulation de PO peut être très complexe. Il faut en effet identifier et décrire les éléments de l'installation électrique (avec le schéma de câblage), l'installation pneumatique et hydraulique (avec ses vannes, vérins, distributeurs, etc.) et l'installation mécanique. En procédant ainsi, si une courroie ou un vérin lâche à un endroit quelconque de l'installation, si un court circuit se produit malencontreusement, on peut prévoir les conséquences qui vont en découler au niveau de l'état de tous les capteurs de l'installation. En prévoyant les dysfonctionnements possibles de l'installation pilotée par l'automate programmable, le simulateur de partie opérative permet en outre d'améliorer la qualité de la conception des programmes de commande.

¹ Professeur Associé IUT/GE2i - Ingénieur d'étude PROSYST (19 place Froissart - 59300 Valenciennes).

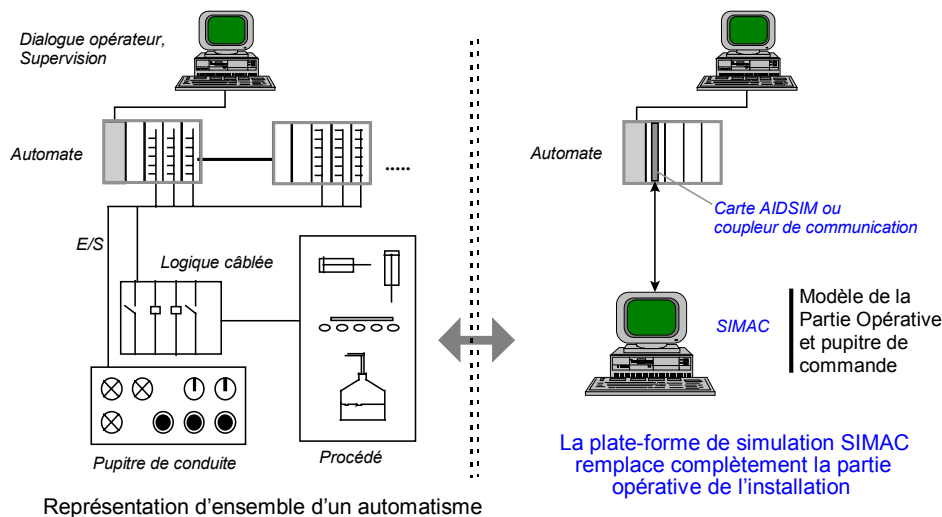


Figure 1. Principe de la simulation de partie opérative d'une installation automatisée

Puisque l'on dispose ainsi de modèles de machines, pourquoi ne pas s'en servir pour la formation ? C'est une des idées que quelques enseignants de l'IUT de Valenciennes cherchent à concrétiser depuis quelques années. En 1995, nous avons commencé quelques projets de modélisation de machines, depuis nous développons **une véritable usine virtuelle** utilisable pour la formation des étudiants...

II. Formation aux systèmes automatisés par la simulation

II.1. Modalité de la pédagogie

C'est dans le cadre des projets du troisième centre d'intérêt que sont développés les aspects pratiques de la simulation. Le contexte est le suivant :

Le système automatisé objet de la simulation existe en réel et est constitué par le système de transitique industriel installé au sein de l'atelier GE2i. Il est le cœur du processus de conception/fabrication industrielle de circuits imprimés dont s'est équipé le Département GE2i (voir articles [3] et [4] publiés dans le GESI). Les choix effectués, dès la conception de l'atelier GE2i, ont toujours privilégié une solution axée sur un seul constructeur (en l'occurrence Télémécanique Schneider) pour des raisons d'homogénéité de parc, d'autant plus appréciable dans ce cadre didactique. Une telle confrontation de l'approche simulation à une réalité technologique permet de montrer aux étudiants l'intérêt de la simulation en soulignant sa souplesse et sa finesse de représentation sans pour cela masquer la nécessaire maîtrise de la réalité technologique.

La pédagogie s'organise en quatre phases :

1. Formation aux concepts et à l'utilisation de l'environnement SIMAC de simulation : 20 heures divisés en 4 séances ;
2. Définition du cahier des charges du projet, analyse et répartition des charges entre les différents binômes d'étudiants, et définition des ressources accessibles (PC, consoles de programmation, baies de commande de la transitique, ...) ;
3. Exploration des phases de Bureau d'étude et de développement par chaque binôme et réalisation de la documentation technique. Ce travail est supervisé par l'enseignant qui contrôle la bonne évolution des tâches de chacun au travers de réunions bilan et d'exposés intermédiaires : 92 heures de projet d'atelier (par 3 ou 4 heures), tables rondes hebdomadaires en début de séance, 2 rapports d'état d'avancement ;
4. Synthèse d'ensemble et évaluation des résultats de chacun : rapport final de projet (déroulement du projet, machine SIMAC et programme automate sur disquette, dossier électrique de l'installation, manuel d'utilisation), soutenance de projet

L'objectif du projet est de réaliser et de mettre en œuvre une plate-forme de simulation sur laquelle il sera possible de tester différents sous-systèmes. L'assemblage de ces sous-systèmes permettra de disposer d'une véritable usine virtuelle composée de plusieurs machines différentes.

II.2. Modalité techniques

Le circuit de transitique réel comporte pour l'essentiel 4 chariots de convoyage aérien circulant entre 8 postes de travail et 2 chariots auto-moteurs filoguidés au sol desservant 4 positions de traitement. L'un de ces chariots est dit « intelligent » puisqu'il va charger et décharger des clayettes des différents postes de travail. L'autre dit « bête » - et indiscipliné - circule sur le circuit pour perturber le bon fonctionnement. Un automate TSX47-420 gère la bonne circulation des chariots. Deux TSX17 embarqués sur les chariots leur permettent de suivre les fils, de s'arrêter aux stations et sur les obstacles.

Pour élargir la représentativité de la démarche, la simulation inclut des sous-machines virtuelles couramment rencontrées dans les installations de fabrication industrielle en grande série de circuits imprimés :

- chargeur/déchargeur par vérin, ventouse et convoyeur ;

- tri automatique de plaques par détection et aiguillage sur convoyeur ;
- poste de perçage à chargement-déchargement automatique par plateau tournant ;
- stations de mélange de produits, bains de dégraissage... ;
- chaîne de traitement de surface robotisées ;
- unités de remplissage de bacs ou de silos ;
- unités de conditionnements de liquide et de solides ;

La vision synoptique de l'usine virtuelle est proposée en figure 2.

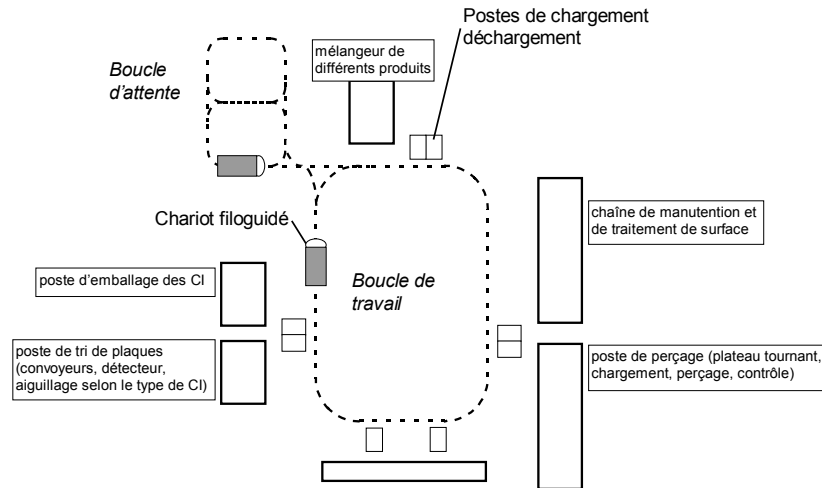


Figure 2. Usine à modéliser et contraintes matériels

Chacun de ces sous-systèmes est confié à un binôme d'étudiants. Au delà du thème fédérateur qu'est la fabrication de circuit imprimé, le but est aussi de constituer une bibliothèque de machines virtuelles qui pourront être réutilisées à l'aide de version RunTime de SIMAC pour « habiller » des thèmes de travaux pratiques sur l'étude de la commande des Systèmes majoritairement à événements discrets.

Pour chacun de ces systèmes, chaque binôme doit analyser l'automatisation de la machine, décrire la Partie Opérative avec SIMAC, programmer le Grafcet pour la simulation interne, décrire la partie commande, programmer le TSX pour la simulation avec l'API (le programme de commande doit être bien documenté pour sa portabilité sur un autre type d'automate), et réaliser le dossier technique de l'automatisme. En fait, cela consiste en la réalisation de trois modules qui composent un automatisme complet (Fig. 3).

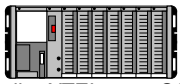
Sous systèmes automatisés	Travail à réaliser - Compétences	Matériel - Logiciel
Système filoguidé	• Description PO / SIMAC • Programmation G7	 SIMAC sous WINDOWS
Station de mélange	Partie Opérative	
Poste de perçage	• PC sur TSX • Programmation automate	 Atelier XTEL sous OS2
chaîne de remplissage	Partie Commande	
...	• Dossier technique	
	Documentation	 logiciel SCHEMA

Figure 3. Travail à réaliser = Partie Opérative + Partie Commande + documentation

L'ensemble de ce travail est effectué en étroite collaboration avec les autres équipes puisque les machines constituent un tout qui devra fonctionner en symbiose. Communication entre les différents postes via le système filoguidé, portabilité des différentes applications sur une plate forme de simulation type, choix en commun des différents postes et de l'organisation globale de tout l'automatisme.

II.3. Aperçu des possibilités de SIMAC

Le simulateur de partie opérative SIMAC offre plusieurs **fonctionnalités** [5][6] :

- **Description de la Partie Opérative sous la forme d'équations logiques** (pas de langage de programmation) : le câblage électrique des borniers d'entrée/sortie, du relayage, ou le câblage pneumatique et hydraulique est édité en équation booléenne (ex : $I02,3 = \text{Alim-e} * \text{SQ1} * \text{Km1}$) ;
De la même manière, les grandeurs physiques de l'installation sont décrites sous la forme d'axes et de capteurs paramétrables. Ainsi, le fonctionnement de la machine est décrit avec des équations logiques de mouvements (fig.

4). Des variables logiques et numériques, sous forme d'équations booléennes et de tableaux d'affectations booléennes permettent aussi de modéliser des flux de pièces, et de représenter des grandeurs analogiques (niveau, température, pression, avance, ...) ;

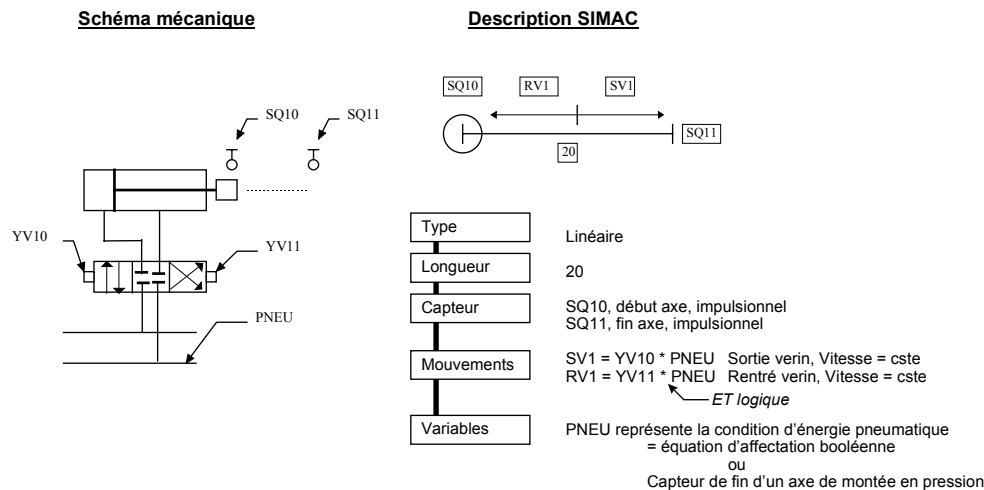


Figure 4. Exemple de description d'un vérin

- *Simulation interne de la Partie commande au moyen d'un Grafcet* (norme IEC 1131-3) : une fois la machine décrite, les étudiants testent directement leur machine en interne avec le (ou les) grafcet(s) de commande qu'ils auront étudiés, sans programmation ni connexion sur l'automate ;
- *Simulation connectée par communication des E/S automate* : lorsque la partie opérative décrite fonctionne correctement en interne, la machine peut être testée sur plate-forme complète en communication avec l'automate de commande - à condition que le programme correspondant soit développé. Ce mode de simulation nécessite un point de connexion réalisé, dans le cas des automates Télémécanique, avec une **carte spécialisée AIDSIM**, simulant les cartes d'E/S directement sur le bus fond de panier de l'API ;
- *Visualisation de l'installation par des synoptiques animés, et commande de l'installation par des pupitres interactifs* (fig. 5) : lors de la simulation (en ou hors ligne), les étudiants pilotent directement la machine et constatent les évolutions sur des synoptiques ;

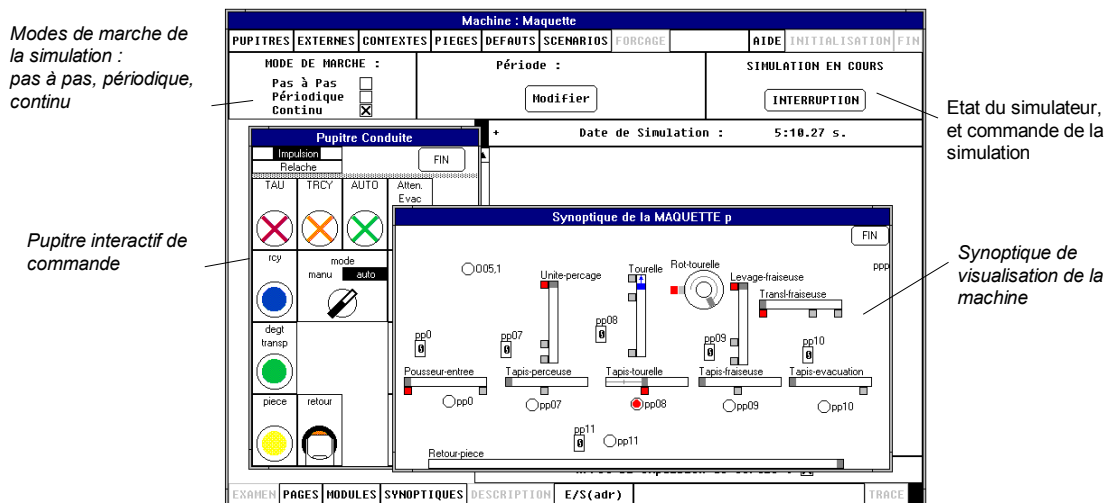


Figure 5. Exemple de pupitre interactif et de synoptiques de visualisation en mode simulation

- *Visualisation et analyse des changements d'état des différents éléments de l'installation* (actionneurs, capteurs, relais, E/S automate...) : au moyen d'une navigation dans la hiérarchie de description, il est possible d'observer et d'analyser l'enchaînement des événements depuis les capteurs/actionneurs jusqu'aux E/S automate, en passant par l'ensemble du câblage réel de la machine décrite ;
- *Enregistrement de contextes de simulation types, et exécution de scénarios préenregistrés* : possibilité de se repositionner dans des états de fonctionnement types et/ou de rejouer des procédures spécifiques ;
- *Edition des traces des chronogrammes des évolutions obtenues* : chaque simulation peut être enregistrée pour analyser ensuite les chronogrammes de changement d'états des variables décrites (E/S, capteurs, actionneurs, relais, ...) et vérifier les synchronismes et temps de cycle, etc.

II.4. Premières leçons de l'utilisation de SIMAC dans un contexte d'enseignement supérieur technique

La simulation de Partie-Opérative nous permet d'appréhender différents **objectifs pédagogiques** :

- *Découverte et analyse d'une installation automatisée* par la constitution de la logique de fonctionnement de la Partie Opérative d'une installation (électrique, mécanique, pneumatique, ...), analyse et transcription des dossiers de conception : dossier électrique, pneumatique, hydraulique d'une installation, séquentiel de commande...
- *Analyse d'un projet d'automatisation d'une installation complète* (de la mécanique jusqu'aux E/S automate) par l'étude des modules élémentaires jusqu'à l'usine complète (mise à disposition de véritables maquettes virtuelles d'installations automatisées sans contraintes matérielles).
- *Apprentissage du Grafcet par la simulation progressive sur une ou plusieurs machines* : l'éditeur de SIMAC permet de décrire des grafcets mécanicien et électricien en respectant la normalisation (norme IEC 1131-3). De plus, les étudiants peuvent directement visualiser les évolutions du programme et les effets sur la machine.
- *Formation aux automates programmables, ateliers logiciels et outils périphériques (niveaux 2 et 3 du CIM)* par l'apprentissage des différents modes de programmation et leur simulation progressive, mise au point du programme automate progressive et sans risque sur une ou plusieurs machines, test complet des fonctions de sécurité et dialogue opérateur (dysfonctionnements, casse de capteurs, de relais, ...), étude et développement d'applications de supervision et/ou GPAO sur la base de machines virtuelles.
- *Formation à la prise en mains des installations automatisées*, puisque l'on dispose de véritables simulateurs, il est possible de former des utilisateurs potentiels à la conduite des installations automatisées (différents modes de fonctionnements : normal, anormal, ...), ou à la maintenance (procédures de diagnostic, dépannage, ...).

Notons aussi qu'avec SIMAC, l'IUT GE2i peut aussi appréhender la formation aux outils et méthodes de simulation de Partie Opérative puisque l'on dispose du progiciel le plus utilisé en Europe, dans les principaux secteurs d'activités pour modéliser et simuler un système automatisé (homologation de SIMAC par PSA, partenariat avec ALLEN BRADLEY et SCHNEIDER pour insérer SIMAC dans leur atelier logiciel, secteur d'activité : CGE, CEGELEC, CLEMSSY, SPIE, COMAU, SOLLAC, STUL, PECHINEY, EDF-GDF, AEROSPATIALE, ...).

III. Conclusion

Outres les fonctionnalités et les apports pédagogiques qu'apporte la simulation de Partie Opérative, ce projet permet d'étudier un très grand nombre d'automatismes différents sans en disposer en réalité. L'étudiant va analyser d'une part la partie opérative (mécanique, électrique, pneumatique, ...) et d'autre part la partie commande (Grafcet, programmation de l'automate avec choix du langage, analyse des différents modes de fonctionnement, ...), en passant par la rédaction d'un dossier technique complet de l'installation (cahier des charges, schémas électriques, plan de câblage et d'implantation, documentation du programme, ...).

De plus, l'usine virtuelle ainsi décrite va aussi nous permettre de disposer d'une représentation sur PC des machines de l'atelier, ce qui nous permettra de disposer d'un double des installations automatisées pouvant être mis à la disposition des étudiants dans le cadre des projets d'atelier et/ou des Travaux Pratiques. Notons aussi que ce développement des différents modules de machines pourra peut-être remplacer quelques-unes de nos platines de TP - difficile à maintenir. Et pourquoi pas intéresser d'autres départements GE2i, qui sont les bienvenus pour toutes visites, découverte ou formation à la simulation de Partie Opérative.

Bibliographie

- [1] Simulez la partie opérative de vos applications... SIMACTEL vous accompagne sur X-TEL V6. Telemecanique Automatismes n°26 - Juin 1996, pp. 6-7.
- [2] La simulation de partie opérative fait recette. MESURE n°682 - Février 1996, pp. 45-50.
- [3] Du circuit imprimé multicouches à Valenciennes. V. Cayez, B. Houriez, GESI n° 38, Mai 1993, pp. 6-8.
- [4] Fabrication de circuits imprimés - La plate-forme de l'IUT de Valenciennes. B. Houriez, M. Vernet, V. Cayez, GESI n° 46, Mars 1996, pp. 16-21.
- [5] Formation sur plate-forme de simulation SIMAC - Septembre 1996, Prosyst.
- [6] SIMAC PC seul et SIMAC / TSX7 pour la formation technique - Octobre 1996, Fiches Prosyst.

Contacts :

Martial GRISLIN	Prosyst	Tel : 03 27 42 44 06	Fax : 03 27 41 32 00	e-mail : prosyst@planet.net
		19 place Froissart - 59300 Valenciennes		
Fabrice ROBERT	IUT GE2i	Tel : 03 27 14 12 61	Fax : 03 27 14 12 50	e-mail : geii@univ-valenciennes.fr
Bernard HOURIEZ		Le Mont Houy BP311 - 59304 Valenciennes Cedex		
