

Rapport d'activité

Groupe MOGISA

Année 2007

Version du 25/03/08

Modélisation, Optimisation et Gestion Intégrée de Systèmes d'Activités / *Modeling, Optimization, and Integrated Management of Systems of Activities*

1. Objectifs, thématiques et positionnement

Les travaux du groupe portent sur les systèmes où des activités de nature discrète doivent être réalisées. L'exécution de ces activités est soumise à des contraintes liées à l'utilisation et la disponibilité de ressources, à la réalisation de projets ou de processus. Les domaines d'application se situent en gestion de projets (réalisation unitaire à long terme), en informatique (exécution de processus sur processeurs parallèles), en production de biens (ateliers, chaînes logistiques) ou de services (transports, télécoms, santé, environnement). Une caractéristique fréquente de ces domaines est leur forte composante socio-technique, l'homme restant au centre des systèmes d'activités avec souvent une multiplicité de rôles.

L'objectif est de définir des modèles génériques, des méthodes efficaces basées sur les notions de flexibilité et de robustesse et des outils réutilisables pour aider à analyser, concevoir et conduire ces systèmes d'activités, dans un environnement incertain et perturbé. Nos méthodologies utilisent pour cela des techniques de Recherche Opérationnelle (programmation linéaire en nombres entiers – PLNE, algorithmes de graphes, méthodes arborescentes, métaheuristiques) et des modèles de représentation et de traitement des contraintes de l'Intelligence Artificielle (propagation et satisfaction de contraintes, programmation par contraintes).

2. Méthodes et approches scientifiques

2.1. Gestion de la chaîne logistique

Dans cet axe, une première étude a consisté à modéliser et étudier différents modes de pilotages (distribué, centralisé, mixte) de chaînes logistiques. Un outil de simulation élaboré à partir d'un solveur d'optimisation du marché a permis d'évaluer les propriétés de robustesse et de réactivité des différents modes faces à des aléas. Une deuxième étude se focalise sur une relation en point à point entre un maillon de la chaîne et les entités avec lesquelles il est en interaction directe (clients, fournisseurs et sous-traitants, cf. Fig. 1). Une attention particulière est portée sur la modélisation des caractéristiques

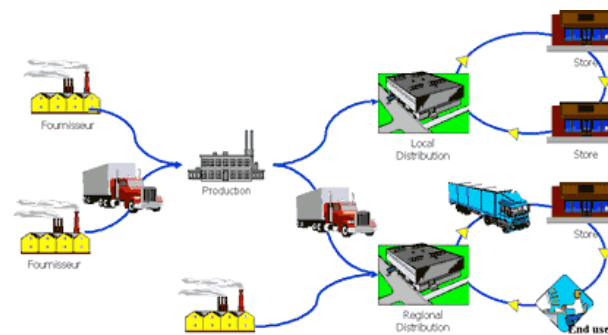


Figure 1 – Gestion de la chaîne logistique
Supply chain management

1. Objectives, topics and positioning

The work of the group focuses on studying systems in which discrete activities must be executed. Execution of activities is subject to constraints related to the use and availability of resources, to integration into projects or processes. The research topics apply to project management, computer science (process execution on parallel processors), manufacturing (workshops, supply chains), and services (transportation, telecommunications, health, Environment). One common characteristic of most of these domains is their socio-technical entanglement, with man occupying a central position and a variety of roles.

The objective is to define generic models, efficient methods based on robustness and flexibility, and reusable tools providing supports to analyze, design, and pilot systems of activities in an uncertain and disturbed environment. Such requirements are achieved using techniques from Operations Research (integer linear programming – ILP, graph theory, tree-search methods, metaheuristics) or Artificial Intelligence (Constraint Programming).

2. Methods and scientific approaches

2.1. Supply chain management

In a first study of this axis, different management modes have been modeled: distributed, centralized and hybrid structures. A simulation tool relying on a commercial optimization software has been developed in order to assess the properties (robustness and reactivity) related to the proposed approaches when unforeseen events occur and modify data (demand, material supply, resource capacities).

The second study focuses on the planning process of an entity within a chain and suggests an approach aiming at improving the coordination between supply chain's partners (customers, suppliers, subcontractors, see Fig. 1).

temporelles associées aux différents éléments du système étudié (inertie de production, délais de réponse des fournisseurs, fiabilité et rafraîchissement de l'information). Un processus dynamique de planification et un outil logiciel sont proposés pour gérer des demandes fermes et/ou flexibles.

La notion de robustesse constitue l'élément central d'un troisième travail basé sur une structure décisionnelle à deux niveaux. Il s'agit d'exploiter des mécanismes d'agrégation temporels pour établir un plan à moyen terme, robuste vis-à-vis de caractéristiques détaillées non connues à ce niveau. Dans un deuxième temps, une désagrégation dynamique, effectuée sur le court terme, permet de réagir aux aléas et incertitudes. Ce type d'approche permet de formaliser la démarche industrielle couramment utilisée (PIC, PDP).

D'un autre point de vue, une approche originale basée sur le formalisme des files d'attente et la théorie des jeux a permis d'établir un cadre formel pour la mise en place de politiques d'approvisionnement dans des systèmes à plusieurs fournisseurs et la définition de politiques de contractualisation entre entreprises adjacentes d'une chaîne logistique, toutes deux dans un contexte incertain. Une chaîne logistique peut également être vue comme un système où transitent des flux de produits. Ce système est soumis à des contraintes internes qui émanent de la chaîne elle-même (taille des stocks) ou de la nature des produits. Face à ce constat, nous proposons des correcteurs synthétisés grâce à une approche basée sur l'algèbre $(\max,+)$.

2.2. Ordonnancement

Un premier volet de notre activité de recherche concerne la proposition de nouvelles méthodes d'ordonnancement, soit pour améliorer la résolution de problèmes d'optimisation NP-difficiles connus, soit pour résoudre de nouveaux problèmes issus de cas réels. Les problèmes étudiés sont des problèmes d'ordonnancement de tâches pouvant comporter les contraintes complexes suivantes : ressources cumulatives, temps de préparation, contraintes de précédences généralisées, flexibilité sur les ressources allouées aux tâches, ordonnancement cyclique. Nous nous attachons en particulier à développer de nouvelles formulations de PLNE, des méthodes arborescentes tronquées basées sur le concept de divergence et des techniques de propagation de contraintes. Nous avons à ce titre obtenu des résultats surclassant les meilleurs résultats connus sur des problèmes de flow-shop hybride et sur des problèmes de job-shop avec temps de préparation et proposé des résultats de complexité sur des problèmes d'insertion de tâches.

Un second volet est consacré à la détermination de solution robustes en ordonnancement sous incertitudes. Nous nous intéressons en particulier au calcul d'un ensemble de solutions de performance au pire et de cardinalité connues. La difficulté consiste à construire l'ensemble en évitant l'énumération des solutions, tout en autorisant un calcul polynomial de la performance au pire et de la cardinalité. Pour cela, des conditions de dominance valables dans le cas du problème à une machine et des analyses de pire performance pour les problèmes disjonctifs

A special attention is devoted to the modeling of temporal features that are associated to the different elements of the studied system (cycle times in the production, delivery delays of suppliers, periodic updating of data). A dynamic planning process and a simulation tool are proposed in order to manage firm and flexible demands.

The robustness concept is the central issue of a third work based on a two-level decisional structure. Temporal aggregation mechanisms are used at the upper level in order to determine a mid-term plan, robust towards features unknown at this level. A "guiding" plan is then derived from this aggregate plan and transmitted to the lower level which deals with short term decisions; a dynamic disaggregation is then performed which enables to react to uncertainties and disturbances. This kind of approach formalizes industrial planning processes that are frequently used.

Another original approach relying on queuing theory and on game theory investigates two important issues in an uncertain context: the definition of supplying policies when different suppliers have uncertain delivery delays and the definition of optimal contract-based policies between adjacent entities within a supply chain. Finally, a supply chain can also be considered as a dynamic system in which inputs and outputs correspond to the product flows. These systems are usually subject to constraints due to the internal structure of the chain (stock capacity) or the nature of products. Considering that, we propose some controllers computed using $(\max,+)$ algebra.

2.2. Scheduling

A first work deals with the design of new scheduling models and algorithms, either to improve the state-of-the-art results of known NP-hard scheduling problems, or to solve new problems with complex constraints issued from real applications. The problems under study integrate some of the following constraints: cumulative resources, setup times, generalized precedence constraints, resource flexibility, cyclic scheduling. We are more particularly concerned with the proposition of new ILP formulations, discrepancy-based tree search procedures and constraint propagation techniques. We obtained the best existing results for hybrid flow-shops and job-shops with setup times. We also proposed complexity results for task insertion problems.

A second part focuses on the determination of robust schedules. The robustness is obtained by computing a set of solutions having a known worst performance and a known cardinality. The main difficulty is to characterize a large set of solutions in such a way that its worst performance and cardinality can be computed in polynomial time, while avoiding the enumeration of the solutions it contains. For this purpose, considering the particular single machine scheduling problem, some dominance conditions have been put in evidence that allow to characterize a set of dominant solutions having the sought properties. We also study cooperative approaches. It is assumed that the global schedule is built up by successive

généraux ont été obtenues. Nous étudions également la mise en place d'approches coopératives et robustes d'ordonnancement. L'ordonnancement global est construit progressivement par des négociations successives entre ressources, chaque ressource gérant son propre ordonnancement local par la technique robuste. L'objectif est alors de trouver un bon compromis entre la flexibilité accordée à chaque ressource et l'optimisation d'un critère global.

Un dernier volet concerne l'étude de cas pratiques, souvent industriels, permettant d'appliquer les méthodes d'ordonnancement générales développées précédemment. Nous avons ainsi proposé une méthode d'ordonnancement des activités pour la production de biens à la commande (Fig. 2) par une approche à deux niveaux. Le niveau supérieur est chargé de positionner temporellement les Ordres de Fabrication de manière à optimiser la

politique de gestion à moyen terme tandis que le niveau inférieur ordonnance finement les activités à court terme suivant la « consigne » issue du niveau supérieur.

En collaboration avec Airbus France et EADS-CCR, un travail a été réalisé sur l'ordonnancement des activités de conception au cours du développement d'un nouvel avion (Fig. 3). Nous avons ainsi introduit le concept original de contrainte de précedence énergétique qui définit une contrainte de précedence partielle entre deux activités d'ingénierie.

Cette énergie pré-requise modélise la maturité que doit acquérir une activité avant de pouvoir en commencer une autre. En collaboration avec ST-Microelectronics, nous avons proposé de nouvelles approches de résolution de problèmes d'ordonnancement sur processeurs de type VLIW. Notons enfin qu'une étude sur la planification des formations « vol » a été réalisée pour le département Formation d'Airbus. Le système étudié est celui de la planification opérationnelle des formations aux pilotes (Fig. 4) et aux agents de maintenance de l'avion.

2.3. Transports

Dans le domaine des transports, nos activités s'articulent autour de deux applications qui sont la collecte des déchets et le transport de passagers à la demande. Dans le



Figure 3 – Ingénierie concurrente pour la conception d'un nouvel appareil

Concurrent engineering to design a new aircraft

negotiations between resources, each resource managing its own local robust schedule, using the robust scheduling technique. The goal is to make a relevant trade-off between the local resource objectives and a global objective.

A last work arises when studying practical industrial cases. For activity scheduling for make-to-order production of goods (Fig. 2), we propose a two-level approach.



Figure 2 – Optimisation de l'ordonnancement et de la planification de production

Optimization of production planning and scheduling

The upper level is in charge of building a coarse-grained schedule (macro-schedule) to optimize the mid-term management strategy of the enterprise whilst the lower level produces fine-grained schedules over a short-term horizon satisfying the macro-schedule and all the production constraints.



Figure 4 – Planification des formations vol

Flight training timetabling

In the context of the collaboration with Airbus France and EADS-CRC, we have studied a design activities scheduling problem that occurs during the development of a new aircraft (Fig. 3). We have introduced the original concept of Energy-Precedence-Constraint which enables to state a partial precedence constraint between two engineering activities.

This energy models the minimal work necessary to elaborate design preliminary information that another activity mandatory needs in order to start.

In collaboration with ST-Microelectronics, we proposed new approaches to solve instructions scheduling problems on Very Large Instruction Word processor architectures.

domaine de la collecte de déchets (Fig. 5), nous avons étudié l'aspect dynamique lié aux variations de quantités à collecter ou à l'apparition de nouveaux points de collectes. Afin de limiter les perturbations engendrées par l'apparition de nouvelles informations sur la collecte, nous définissons un critère de stabilité des tournées en plus d'un critère habituel de coût. Nous avons expérimenté différentes méthodes d'insertion de nouveaux points de collecte en nous basant sur des méthodes classiques de tournées de véhicules. Dans le domaine du transport à la demande, nous avons développé une méthode basée sur la génération de colonnes pour calculer des tournées de véhicules en intégrant différents critères de qualité de service. L'algorithme a été intégré dans un système de réservation de transport à la demande opérationnel dans le pays du Doubs central.

Nous nous intéressons également à la résolution de problèmes de tournées de véhicules généraux ou théoriques. Nous avons ainsi proposé des méthodes exactes et approchées de résolution de problèmes de tournées de véhicules avec fenêtres de temps définies sur un multigraphe et des méthodes de recherche locale à grands voisinages pour divers problèmes de voyageur de commerce généralisé.

2.4. Optimisation discrète et satisfaction de contraintes

Au-delà des domaines plus applicatifs, nous proposons des modèles mathématiques pour les systèmes dynamiques à événements discrets et des méthodes génériques de résolution de problèmes d'optimisation discrète et de satisfaction de contraintes (CSP).

Pour la résolution de CSP, un accent particulier est mis sur les méthodes de recherche arborescente associées à des techniques d'apprentissage et/ou des méthodes de recherche locale à voisinages étendus. De nouvelles procédures de résolution arborescentes basées sur la notion de divergence (écart d'instanciation par rapport à celles d'une heuristique de référence) sont proposées. Nous avons également adapté les techniques basées sur l'apprentissage des impacts des décisions au cours de la recherche. Nous nous intéressons également aux méthodes intégrant PLNE et programmation par contraintes.

Pour la modélisation et l'étude des systèmes à événements discrets, la théorie des systèmes $(\max,+)$ constitue également un outil que nous contribuons à développer. Des méthodes originales de commande de tels systèmes sont étudiées au sein de notre groupe.

2.5. Compétences et synergies

Nos compétences se situent majoritairement dans la proposition d'algorithmes d'optimisation pour la gestion de chaînes logistiques et la résolution de problèmes

Finally a study on flight training planning has been realized for Training dept of Airbus. The studied system is that of operational planning of pilot and maintenance agents of the aircraft (Fig. 4).

2.3. Transportation

In transportation research, our research activities have two main applications: waste collecting and on-demand passenger transport. We studied the dynamic aspects of waste collection linked to variations of waste quantities and to insertion of new collecting points (Fig. 5).

To limit the disruptions occurred in presence of new information, we defined a stability criterion for the routing of waste collection vehicles. We developed and evaluated different insertion methods extending standard vehicle routing algorithms. For on-demand transport, we designed column generation and local search methods to solve vehicle routing problems, optimizing various quality-of-service criteria. The proposed algorithms were embedded in a real reservation system.



Figure 5 – Aide à la décision pour la collecte de déchets
Decision-aid for waste collecting

We are also interested in solving general vehicle routing problems. We proposed exact and heuristic methods to solve vehicle routing problems with time-windows defined on a multigraph representing alternative routes. We also proposed new large neighbourhood search methods for generalized travelling salesman problems.

2.4. Discrete optimization and constraint satisfaction

Beyond more applicative fields, we also propose mathematical models for dynamic discrete-event systems and generic solving methods for discrete optimization and constraint satisfaction problems (CSP).

More particularly for CSPs, we concentrate on tree search procedures associated with learning techniques, and/or large neighborhood search. New tree search procedures based on discrepancy search are proposed, as well as some learning on impact of decision-making during search. We are also interested in hybrid methods integrating ILP and constraint programming.

Concerning the modeling and control of discrete event systems, the $(\max,+)$ theory is also a relevant tool that we contribute to study. The group studies some original control methods for this class of system.

2.5. Skills and synergies

Our skills are mainly in the proposition of optimization algorithms for the supply chain management and the resolution of production planning and scheduling problems. The

de planification de production et d'ordonnancement. Actuellement, les activités de recherche s'infléchissent nettement vers la thématique des transports avec des points focaux sur les problèmes de tournées de véhicules multimodaux, multiobjectifs et la prise en compte de contraintes et critères environnementaux. Compte tenu de la poursuite de certaines activités et la dérivée vers d'autres, les synergies du groupe avec différentes communautés scientifiques comme le Génie Industriel, les Mathématiques Appliquées, l'Intelligence Artificielle et la Recherche Opérationnelle sont fortes. Il faut principalement noter dans ce contexte des aspects communs, récurrents et toujours l'objet de recherches sur le développement de méthodologies dégagant des solutions flexibles empreintes de satisfaction de propriétés de robustesse.

research work is currently inflecting towards the topic of transportation, more precisely on multimodal and multiobjective vehicle routing problems, and the consideration of environmental constraints and criteria. Considering all these aspects, the synergies of the group with various scientific communities (industrial engineering, applied mathematics, artificial intelligence, operations research) are strong. In this context, we can notice that a common, recurrent research object is the development of methodologies able to offer flexible solutions satisfying robustness requirements.

3. Projets et applications/*Projects & Applications*

La liste des projets dans lesquels le groupe s'inscrit en 2007 est la suivante/*In 2007, the group has been involved in the following projects:*

<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Projet de Réseau d'Intégration Multisite de l'Energie et de la production / Project of network for multisite integration of energy and production</i> Financement/<i>Funding</i>: PIR Energie du CNRS Partenaire/<i>Partner</i>: LGC Toulouse ▪ <i>Ordonnancement de projet cyclique / Cyclic project scheduling</i> Financement/<i>Funding</i>: GdR RO du CNRS Partenaires/<i>Partners</i>: LIP6 Paris, ST-Microelectronics ▪ <i>Aide à la décision en logistique des déchets / Decision-aid in waste collecting</i> Financement/<i>Funding</i>: Région Midi-Pyrénées Partenaires/<i>Partners</i>: LGP Tarbes, Communauté d'Agglomération du Muretain, ADEME, Eco-Emballages 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>Analyse et Vérification des Approches Proactives/Réactives en Ordonnancement / Analysis and verification of proactive/reactive approaches in scheduling</i> Financement/<i>Funding</i>: GdR RO du CNRS Partenaires/<i>Partners</i>: ILOG, LIMOS Clermont, LI Tours, LAMSADE Paris ▪ <i>Programmation des formations vol / Flight training timetabling</i> Financement/<i>Funding</i>: AIRBUS ▪ <i>Optimisation de l'utilisation des engins spéciaux d'inspection du réseau ferroviaire / Optimization of inspection vehicles routing on railroads</i> Financement/<i>Funding</i>: SNCF
--	---

4. Prospective

L'inflexion vers les problématiques des transports va diriger de manière sensible nos réflexions sur les problèmes théoriques de tournées de véhicules. La géolocalisation, le développement des étiquettes RFID vont entraîner des évolutions importantes dans le monde du transport. Les méthodes actuelles de calcul d'itinéraires, de calcul de tournées vont devoir s'adapter afin d'exploiter cette masse de nouvelles informations. De plus, les aspects dynamiques des méthodes devront être renforcés afin d'intégrer de manière rapide de nouvelles informations. Des applications en collecte des déchets avec géolocalisation des véhicules et/ou des bennes sont en cours d'étude et un projet sur l'organisation de système de transport à la demande à haut débit est en cours de soumission. Les récentes évolutions technologiques de l'Internet et des SIG contribuent également à ce que nous développons des travaux pour le calcul d'itinéraires et de tournées multimodaux.

4. Future works

We aim at intensifying our research activities on transport systems and particularly on theoretical vehicle routing problems. Developments of geopositioning, RFID tags, etc. yield important mutations in transport area. Vehicle routing algorithms must adapt to exploit this huge amount of information. Moreover, the dynamic aspects of the proposed optimization method will have to be reinforced to efficiently integrate the constantly updated information. Two projects are about to be launched in vehicle routing for a waste collection system involving geopositioned vehicles and bins and an large-scale on-demand transport system. Recent advances in Geographic Information Systems (GISs) also motivate us to propose new methods for vehicle routing in multimodal networks and integration in GISs.

Sur le plan méthodologique, nous poursuivrons nos travaux sur la conception de méthodes alternatives d'énumération implicite en optimisation combinatoire en appliquant les méthodes développées aux problèmes d'ordonnancement et de transport. Nous nous attacherons en particulier à concevoir des méthodes intégrées de recherche locale et de recherche arborescente ainsi que de programmation mathématique et de la programmation par contraintes. Sur le plan applicatif, nous nous attacherons à résoudre des problèmes de type « ordonnancement de projet cyclique sous contraintes de ressources » apparaissant au cœur de nouvelles architectures de processeurs parallèles. Nous chercherons également à aborder de nouveaux problèmes d'ordonnancement et de planification apparaissant au sein d'approches visant à maîtriser la consommation et la production d'énergie au sein de la chaîne logistique.

Certains problèmes d'ordonnancement peuvent se traduire dans l'algèbre (max,+). En effet, les outils issus de cette structure mathématique peuvent fournir des méthodes efficaces d'évaluation de performances d'une solution d'ordonnancement. En outre, l'algèbre (max,+) combinée à des méthodes de recherche opérationnelle permet de résoudre des problèmes de flow-shop. Nous tenterons de généraliser cette approche à divers problèmes d'ordonnancement.

We will extend our fundamental research work on alternative space search implicit enumeration methods for combinatorial optimization, while keeping scheduling and vehicle routing as our preferred target problems. More precisely, we will focus on integrating tree and local search as well as mathematical programming and constraint programming. On the practical application side, we will focus on cyclic project-like scheduling problems appearing in the core of new parallel processor architectures. We will also tackle new planning and scheduling problem occurring when sustainable energy production and consumption is integrated in the supply chain.

Some scheduling problems can be described by (max,+) algebra. Indeed, this particular algebraic structure can provide some efficient methods to evaluate schedules. Besides, (max,+) algebra associated with some operation research methods allows to solve some flow-shop problems. We actually try to generalize this approach to other scheduling problems.

5. Principales publications / Main publications

C.ARTIGUES, D.FEILLET. A branch and bound method for the job-shop problem with sequence dependent setup times. <i>Annals of Operations Research</i> , 2007. DOI:10.1007/s10479-007-0283-0
A.BEN HMIDA, M.J.HUGUET, P.LOPEZ, M.HAOUARI, Climbing depth-bounded discrepancy search for solving hybrid flow shop problems. <i>European Journal of Industrial Engineering</i> ,1(2):223-243, July 2007
C.BRIAND, H.T.LA, J.ERSCHLER, A robust approach for the single machine scheduling problem. <i>Journal of Scheduling</i> , Vol.10, N°3, pp.209-221, June 2007
J.C.HENNET, Y.ARDA, Supply chain coordination: a game theory approach. <i>Engineering Applications of Artificial Intelligence</i> , 2007, DOI:10.1016/j.engappai.2007.10.003
L.HOUSSIN, S.LAHAYE, J.L.BOIMOND. Just-In-Time Control of Constrained (max,+) linear Systems. <i>Journal of Discrete Event Dynamic Systems</i> , 17(2):159-178, 2007
C.ARTIGUES, C.BRIAND, Complexity of activity insertion for resource-constrained project scheduling with minimum and maximum time lags. <i>8th Workshop on Models and Algorithms for Planning and Scheduling Problems (MAPSP'2007)</i> , Istanbul (Turkey), July 2007
B.BONTOUX, D.FEILLET, C.ARTIGUES, E.BOURREAU, Dynamic cooperative search for constraint satisfaction and combinatorial optimization: application to a rostering problem. <i>3rd Multidisciplinary International Conference on Scheduling: Theory and Application (MISTA'07)</i> , Paris, August 2007, pp.557-560
J.F.HERNANDEZ-SILVA, C.MERCE, G.FONTAN, A multilevel approach for scheduling and capacity management. <i>International Conference on Industrial Engineering and Systems Management (IESM'07)</i> , Beijing (Chine), June 2007
W.KAROUI, M.J.HUGUET, P.LOPEZ, W.NAANAA, YIELDS: A yet improved limited discrepancy search for CSPs. <i>4th International Conference, CPAIOR 2007</i> , Brussels (Belgium), May 2007, pp.99-111
F.GALASSO, Aide à la planification dans les chaînes logistiques en présence de demande flexible. Doctorat, Institut National Polytechnique, Toulouse, 23 avril 2007
I.LIZARRALDE, Aide au pilotage d'activités d'ingénierie pour le développement distribué d'un système complexe. Doctorat, Institut National des Sciences Appliquées, Toulouse, 9 juillet 2007