

## Comité d'Experts Productique

Prospective de recherche

15 janvier 2007

La Productique s'intéresse aux problématiques d'organisation des activités de création de valeur ajoutée, d'ingénierie de la conception (des systèmes et des produits/services) et de pilotage de ces organisations, et ce, dans le cadre de différentes questions qui se posent aujourd'hui à la société tant dans ses dimensions économiques que sociales. La communauté scientifique, de profil 61°, 60° et 27° sections du CNU et section 7 du CNRS, est principalement fédérée et animée, pour un large éventail de thématiques, par le GDR MACS mais aussi par le GDR RO et le groupe GOTHA qui s'intéressent plus spécifiquement aux problèmes d'optimisation en ordonnancement. Les recherches dans ce domaine à fort enjeu économique et social ont été continûment soutenues par le CNRS au travers de programmes successifs : programme SPI-SHS Systèmes de production, programme PROSPER, RTP 47 du DSTIC.

Ce rapport s'attache à identifier les problématiques scientifiques et les orientations thématiques à développer à moyen terme, en précisant les interfaces disciplinaires avec l'Automatique, l'Informatique et la Mécanique, disciplines auxquelles la Productique emprunte, en les intégrant, des composantes cognitives tout en s'en différenciant par son objet spécifique de recherche, et aussi, de manière significative, par ses méthodes et ses modèles. Plus que d'autres champs de recherche, la Productique est par nature acteur d'une interdisciplinarité qui, seule, peut lui permettre d'apporter une meilleure connaissance des systèmes étudiés et d'en maîtriser les problématiques.

### 1. Problématiques du secteur aval et tendances

L'excellence industrielle s'exprime par la capacité des entreprises à établir et à maintenir leur position dans un marché mondialisé. Les avantages concurrentiels durables sont liés à l'aptitude de ces organisations à, d'une part, tirer profit des technologies avancées pour mettre sur le marché des produits innovants, d'autre part organiser et piloter des systèmes de productions capables de délivrer ces produits, en maîtrisant leur qualité et les coûts de développement et de fabrication. En un sens, et sous réserve de disposer des compétences, des moyens humains et des moyens techniques nécessaires, ainsi bien entendu que des capacités de financement, on peut relier les différentes problématiques d'organisation, de conception et d'exploitation par *un continuum de tâches de pilotage*, du court terme au long terme : l'exploitation des systèmes de production (gestion de production et pilotage logistique), l'ingénierie ou la réingénierie des systèmes et des produits (en quelque sorte le pilotage des structures), le pilotage stratégique (migration dans le marché, collaboration d'entreprises, délocalisations des sites de production, etc.). Dans cet univers, les technologies avancées sont omniprésentes, qu'il s'agisse des technologies utilisées dans les produits, dans les procédés de fabrication, ou des TIC qui sont aujourd'hui le vecteur de l'organisation et de la gestion (systèmes d'information, ERP, APS, MES, etc.).

Mais le pilotage performant des organisations n'est pas l'apanage de l'industrie manufacturière : la production de services (transports, banque, distribution, ...) dans le secteur concurrentiel mais aussi dans le secteur public (hôpitaux notamment) et les administrations sont soumises aux mêmes exigences de performance. La problématique se globalise dans l'ensemble des activités de création de valeur et la recherche en Productique doit accélérer la prise en compte de ces secteurs non strictement manufacturiers.

La problématique possède ses invariants et ses évolutions. Les performances de qualité, de productivité et de délai, la personnalisation toujours accrue des produits et services demeurent des exigences durablement établies. L'évolution actuelle la plus marquante – du point de vue organisationnel – est liée au déploiement des partenariats d'entreprises pour le développement de produits à forte valeur ajoutée et/ou pour leur production (« supply chains »). Dans cette évolution, le paradigme *d'intégration* qui prévalait jusqu'ici à l'intérieur de l'entreprise (organisation cohérente de moyens visant à l'optimalité globale du système, concept CIM) montre aujourd'hui ses limites et cède le pas à *l'interopérabilité* des organisations, des processus et des outils informatiques de gestion qui se trouvent interconnectés, en dépit de leur caractère souvent hétérogène, en vue d'une activité collaborative – durable ou éphémère – de création de valeur. Le saut du système intégré au *système de systèmes* interopérables s'illustre ainsi clairement dans l'émergence des réseaux d'entreprises. De manière concomitante, les différents segments techniques du pilotage des organisations (exploitation, ingénierie, stratégie) tendent à se rejoindre dans une vision globale de la conduite des organisations, basée sur la mise en place d'indicateurs de performance. Nous arrivons au moment où la *modélisation d'entreprise*, au sens large de l'ensemble des modèles nécessaires au pilotage des organisations du court au long terme, pénètre

enfin l'entreprise et bientôt les administrations, à la satisfaction de la communauté internationale des chercheurs qui, depuis deux décennies au moins, en assurent la promotion.

On n'aura garde par ailleurs de négliger la présence du facteur humain dans les organisations et systèmes de production de biens et de services étudiés ici aux fins de leur conception et de leur pilotage. L'homme demeure (ou redevient) ressource mais surtout composante décisionnelle essentielle, avec souvent ses propres objectifs en sus de ceux de la production à laquelle il participe ; il est parfois client et donc également acteur. Cette dimension est particulièrement présente dès lors que l'on s'intéresse aux services et introduit une complexité due à l'incertain et à l'incomplétude des variables et des procédures utilisées.

## 2. Problématiques scientifiques et positionnement disciplinaire

Partant des problématiques posées par le secteur aval et observées au travers de cas, la Productique dérive des problématiques scientifiques génériques majoritairement centrées sur la modélisation des organisations, leur conduite (exploitation, ingénierie produit/système, gestion de l'évolution) et leur évaluation. Discipline transversale, la Productique emprunte à l'Automatique (pour la modélisation et la conduite des systèmes dynamiques), à l'Informatique (pour la Recherche Opérationnelle, les langages formels et les systèmes d'information) et à la Mécanique (pour l'ingénierie de la conception) pour développer les modèles et les méthodologies d'utilisation de ces modèles apportant des réponses scientifiques aux défis industriels, ce qu'aucune des disciplines citées ne saurait, seule, assurer.

Naturellement, au-delà de ces aspects pluridisciplinaires relevant des seules sciences de l'ingénieur, il est clair que les aspects économiques, socio-techniques, ergonomiques des organisations productives, sont tout aussi importants. Toutefois, ces aspects ne sont pas en eux-mêmes couverts par la communauté Productique, qui, pour les prendre en compte, collabore avec des chercheurs en SHS au sein de projets pluridisciplinaires –ce fut notamment le cas avec les programmes CNRS cités en introduction.

Les méthodes d'ores et déjà utilisées en Productique, originales ou issues des disciplines de l'Automatique, de l'Informatique et de la Mécanique, constituent le socle sur lequel doit se développer une nouvelle approche, davantage « globalisante » mais avec la perspective de nouveaux outils de modélisation. Les compétences acquises en Automatique-Productique et Informatique-Recherche Opérationnelle font que ces disciplines aujourd'hui se rejoignent pour une prise en compte des phénomènes informationnels notamment. Le centre de gravité de ces compétences est appelé à se déplacer ne serait-ce que sous le jeu de l'évolution du centre d'intérêt des recherches qui s'éloigne du procédé de fabrication proprement dit. De nouvelles compétences doivent être acquises sans remettre en cause la base disciplinaire.

Les problématiques scientifiques pérennes qui structurent le champ d'investigations sont en définitive :

- L'organisation et le pilotage des systèmes réticulaires de production
- L'ingénierie de la conception des produits et des organisations productives
- L'ingénierie des systèmes d'information/données en entreprise
- L'aide à la décision via l'Intelligence Artificielle, la Recherche Opérationnelle et l'Optimisation

A partir de ce cœur thématique, qui mobilise l'essentiel de la communauté, rayonnent des extensions :

- L'extension du manufacturier vers la production de services (notamment, gestion hospitalière)
- L'extension pluridisciplinaire SPI/SHS (économie et aspects socio-techniques des organisations productives)
- Les impacts environnementaux de la production manufacturière : l'ingénierie des activités de recyclage des produits en fin de vie, la prise en compte des contraintes environnementales en conception (PLM), notamment.

Les défis scientifiques qui positionnent la Productique par rapport aux disciplines voisines et qui participent directement à l'interdisciplinarité inhérente (Automatique, Informatique, Mécanique) sont les suivants :

- développer les connaissances et les méthodologies qui alimentent un savoir-faire en ingénierie organisationnelle (plutôt que technologique) visant à faire interopérer des systèmes à composantes technologiques et humaines, ces dernières participant souvent à l'objectif commun par un jeu gagnant gagnant. Les procédés physiques de fabrication et les technologies mécanique ou mécatronique portées par le produit demeurent implicites et hors champ d'investigation, ainsi que la chaîne de développement CFAO. Seules les composantes technologiques d'informatisation (systèmes d'information et outils d'aide au pilotage interférant avec des décideurs experts), et d'automatisation (pilotage et supervision du système physique de production) y occupent une place centrale.

- produire des cadres génériques de modélisation et d'analyse de performances de systèmes réticulaires de grande dimension. Le paradigme de réseau est en effet omniprésent dans les différentes échelles de modélisation des organisations, de l'atelier au réseau d'entreprises. Au-delà d'un certain niveau d'intégration, l'encapsulation des incertitudes et des incomplétudes oblige à rechercher des méthodes d'évaluation de performances nouvelles basées sur la macro-modélisation et applicables (notamment calculables en un temps raisonnable). C'est un terrain commun d'investigation avec la Recherche Opérationnelle.

- définir les processus d'aide à la décision, impliquant systèmes d'information, systèmes de données, procédures de décision, face à des systèmes dont la complexité (considérée comme une impossibilité à la décomposition) et la dynamique ne permettent pas de donner une solution optimale voire sub-optimale définitive.

- développer une modélisation conjointe Produit /Processus avec recherche de création de valeur ajoutée et dans le cadre d'un système de systèmes ou d'un système réticulaire, organisant, pour des missions pérennes ou (de plus en plus) éphémères voire à caractère « opportuniste », les interactions entre composants de système et composants de processus de transformation. Le caractère global, intégré et multidimensionnel de la problématique de modélisation en Productique constitue en soi un défi scientifique non encore résolu.

### **3. Thèmes au cœur STII**

#### **3.1 Productique et Recherche Opérationnelle**

La recherche opérationnelle est une discipline transverse et pluridisciplinaire qui, de tout temps, a conduit des mathématiciens appliqués, des informaticiens, des automaticiens et des gestionnaires à travailler ensemble. La Productique, elle-même transverse et pluridisciplinaire, est un des domaines d'application privilégiés des chercheurs opérationnels. Elle leur apporte des problèmes concrets, plus ou moins mal posés, qui sont à l'origine de propositions de nouvelles organisations, ainsi que de nouveaux concepts, systèmes et modèles. Les activités associées relèvent de toutes les disciplines des mathématiques appliquées en général et de la recherche opérationnelle en particulier.

Outre les groupes de travail du tout nouveau GDR RO (Programmation Mathématique, Modèles par structure combinatoire, AGAPE (Algorithmes à GARantie de PErformance), Heuristiques et Métaheuristiques, GOTHa (Ordonnancement), Modélisation et Agrégation des Préférences, Programmation Mathématique Multi-Objectifs), de nombreux groupes de travail du GDR MACS contiennent des chercheurs opérationnels ou font appel à des outils issus de la recherche opérationnelle ; on peut citer en particulier : AMOEP : Approches et modèles pour l'évaluation de performances, MACOD : Modélisation et optimisation de la maintenance coopérative et distribuée, META : Théorie et applications des méta-heuristiques, MMS : Modélisation multiple et simulation, RdP : Réseaux de Petri, SCDD : Systèmes Complexes et Décision Distribuée, CSP : Conception des systèmes de production de biens et de services, BERMUDES : Ordonnancement, GISEH : Gestion et ingénierie des systèmes hospitaliers, ORT : Ordonnancement et réseaux de transport, VENDOME-OGP : Gestion de la chaîne logistique, S3 : Sécurité / Surveillance / Supervision, dont certains sont communs avec le GDR RO. Une lecture complète des objectifs et des activités de ces groupes montre bien qu'ils utilisent et font progresser dans les domaines particuliers qui les concernent presque toutes les sous-disciplines des mathématiques appliquées.

Les objectifs des chercheurs opérationnels en Productique sont multiples. Ils peuvent créer de nouveaux « objets » (organisations, architectures, systèmes, ...) associés à des domaines d'application particuliers et ayant des propriétés particulières. Ils doivent également concevoir des « pilotages » pour ces objets. Ils ont à évaluer les performances de ces objets sous différentes hypothèses de pilotage dans un environnement déterministe ou plus souvent stochastique. Par ailleurs, dans la mesure où une partie des variables décisionnelles sont discrètes, ils sont très souvent confrontés à une explosion combinatoire des solutions possibles et doivent donc appliquer ou concevoir des méthodes d'optimisation discrète. Ces méthodes doivent être efficaces, c'est-à-dire trouver des solutions aussi proches que possible des solutions optimales dans un temps raisonnable. L'efficacité étant mesurée de façon bi-critère, deux approches se complètent : ou bien minimiser la durée des algorithmes (en moyenne ou dans le pire des cas) pour trouver absolument la solution optimale accompagnée de la preuve de son optimalité (méthodes exactes, polynomiales, pseudo-polynomiales ou exponentielles) ou bien minimiser l'écart à la solution optimale (en moyenne ou dans le pire des cas ou encore avec une garantie de performance sur le ratio de l'erreur relative) en se donnant des contraintes sur le type d'algorithme (par exemple, polynomial ou pseudo-polynomial) ou sur la durée maximale acceptée pour l'exécution de l'algorithme. Comme les mesures de performance des problèmes considérés sont souvent multiples et se ramènent rarement à un critère unique, des approches multicritères doivent être développées. Elles sont très nombreuses : agrégation de critères (la plus simple), approche hiérarchique, approche  $\epsilon$ -contrainte, ... avec pour objectif de sortir une ou plusieurs ou toutes les solutions non dominées (optima de

Pareto). Les problèmes multicritères sont généralement NP-difficiles même si tous les problèmes monocritères associés sont polynomiaux. Parmi les mesures de performance figure également la robustesse des solutions fournies lorsque les données du problème sont soumises à des aléas (situation très fréquente en Productique où l'on ne travaille pas en « chambre blanche » mais en contact avec le monde extérieur). On peut ainsi être amené à ne pas seulement fournir une solution unique, mais une solution (ou une famille de solutions) complétée par un processus d'adaptation de la solution en présence d'aléas (pour ceux qui sont prévisibles). Cela ajoute une dimension de plus à l'analyse de la qualité des solutions construites et des méthodes de résolution associées, et c'est une approche plus efficace que de fournir une solution qui est minimale en espérance mathématique lorsque le phénomène se répète indéfiniment sous des hypothèses stochastiques (régime permanent), mais qui ne s'adaptent pas en permanence pour éviter les pires cas.

Il s'agit pour les chercheurs opérationnels en Productique d'obtenir des résultats aussi puissants que possible sur des problématiques qui soient aussi proches que possible des applications industrielles. Cela n'exclut pas les développements théoriques. Une même application industrielle peut être vue sous différents angles. Si on considère des sous-problèmes (avec relaxation d'une partie des contraintes industrielles), on peut démontrer des propriétés particulières : complexité du problème relaxé (polynomial ? NP-difficile ? Quel est le plus grand sous-problème au sens de l'inclusion des ensembles qui est polynomial ? Quel est le plus petit sous-problème qui est encore NP-difficile ? Possibilité de construire des FPTAS (Fully Polynomial Approximation Scheme) ?), conditions suffisantes d'optimalité, conditions nécessaires d'optimalité, dominance des sous-ensembles de solutions (au moins une solution optimale vérifie les propriétés de dominance, ...). Ensuite, on peut concevoir des approches hybrides efficaces de résolution du problème global intégrant, par exemple, des décompositions successives et itératives utilisant des résolutions efficaces des problèmes relaxés. Ainsi, des solutions efficaces pour des problèmes complexes peuvent être obtenues par encapsulations successives de résolutions de problèmes plus simples pour lesquels on possède des résultats théoriques.

### **3.2 Pilotage et Evaluation de performance**

Les problématiques scientifiques liées au pilotage se heurtent bien sûr aux difficultés sous-jacentes des problèmes (par exemple, NP-complétude des problèmes d'ordonnancement), mais également à la difficulté d'identifier et de caractériser les problèmes eux-mêmes (les problématiques liées au juste-à-temps, à l'ingénierie simultanée n'étaient pas explicites avant que ces notions soient clairement identifiées). Ainsi, un certain nombre de concepts qui gouverneront les systèmes de production du futur restent à inventer.

Globalement, les problèmes abordés et à aborder concernent soit l'élaboration de nouveaux concepts de production (e.g., juste-à-temps réactif, méthodes collaboratives, mutualisation de moyens, production éthique), l'étude de systèmes d'aide à la décision (planification, ordonnancement, pilotage, synchronisation production/maintenance, négociation, implantation, gestion de la diversité), la définition de nouvelles méthodes (de spécification, d'intégration, d'analyse, de diagnostic, de pronostic, de conduite du changement), l'intégration des systèmes (interopérabilité, cohérence ERP/APS/MES, rôle des TIC), la définition de nouveaux concepts de modélisation (réseaux d'entreprise, processus de négociation et de pilotage), de nouvelles approches d'évaluation de la performance (indicateurs pertinents pour des réseaux, mesures d'impact sur l'environnement), l'identification et la prise en compte de certaines particularités de secteurs spécifiques (micromécaniques, hospitaliers, industries « de process », nanotechnologies, PME).

Ces problèmes restent indissociables des approches de résolution sur lesquelles de nombreux progrès sont attendus. Par exemple, les approches d'optimisation doivent prendre en compte des objectifs multiples et parfois contradictoires (e.g. production – maintenance), des données imprécises, incertaines ou stochastiques et des contraintes complexes de façon plus réaliste. Les modèles dynamiques (simulation, réseaux de Petri) doivent pouvoir être mieux intégrés dans divers types de logiciels (résolution coopérative et approches hybrides, insertion dans des MES). Les méthodes d'évaluation doivent intégrer des facteurs humains et économiques, intégrer l'incertitude, favoriser le diagnostic et surtout le pronostic pour anticiper toute situation considérée comme non performante. Il est également sans doute souhaitable de rechercher à nouveau des capacités « intelligentes » dans l'organisation et le pilotage des systèmes de production.

### **3.3 Productique et automatisation**

De façon complémentaire à l'Automatique, qui s'intéresse plutôt aux aspects comportementaux (dynamiques) du système de contrôle d'un procédé, la Productique s'intéresse globalement à l'automatisation de celui-ci pour satisfaire de façon évolutive les relations logiques entre les comportements attendus d'un système et ceux du procédé contrôlé ainsi que du système de contrôle. La difficulté est de faire interopérer des objets de nature différente (matière, énergie, information, connaissance, ...) en explorant les possibilités d'homogénéiser numériquement leurs capacités respectives d'interactions tout en maîtrisant l'émergence de propriétés issues de ces interactions multiples.

Un premier défi scientifique est ici de rendre interactif le comportement du procédé, et particulièrement du produit, en tirant parti des progrès des technologies infotroniques (RFID, communication sans-fils, ...) et mécatroniques (composants logiciels embarqués) pour le pilotage (ordonnancement et commande) en exécution ('on the fly') et le maintien opérationnel d'un système de production. Ce paradigme holonique du 'contrôle par le produit' pour synchroniser logiquement les comportements du procédé et du pilotage en regard d'objectifs variants assignés au système ouvre des perspectives intéressantes d'intégration de micro et nano technologies (réseaux de capteurs, 'smart technology', etc.) afin de rendre le produit actif dans la boucle cybernétique, ainsi que d'intégration de Systèmes Multi-Agents pour rendre l'architecture de pilotage plus hétérarchique.

Un deuxième défi scientifique est de rendre interactif le comportement de l'opérateur humain dans la boucle cybernétique de conduite d'un procédé en examinant les possibilités de le doter de capacités d'interaction numérique avec les objets du système dans leur environnement ambiant de travail. Cette interactivité numérique accrue vise à mieux distribuer la prise de décision entre opérateurs technologiques et humains en tirant parti des compétences de ces derniers pour pallier les difficultés d'observabilité de certains phénomènes, voire de commandabilité de certains équipements, y compris dans des situations critiques. De façon alternative, il s'agit aussi d'étudier les limites techniques et cognitives de ces technologies afin de définir de façon plus pertinente les parties du procédé à automatiser pour éviter que cette numérisation des interactions entre opérateurs d'un système ne finisse par compliquer son pilotage et par pénaliser sa performance, voire la sûreté de son fonctionnement.

Un troisième défi scientifique est de tirer parti de cette interactivité accrue entre objets de systèmes d'entreprise construits indépendamment pour les faire interopérer en système de systèmes pour de nouveaux objectifs (un réseau d'entreprises pour un projet nouveau) afin de mieux exploiter les capacités intrinsèques des technologies génériques qui composent chacun de ces systèmes.

Un quatrième défi scientifique est d'inventer la productique du micro-monde (micro-usine) pour contribuer à définir, développer et déployer les systèmes de production des micro-objets, voire des nano-objets, qui seront de plus en plus embarqués dans les macro-objets techniques pour des fonctions de planification, de pilotage, d'exploitation, de sûreté de fonctionnement.

### **3.4 Interopérabilité d'entreprise**

L'interopérabilité, concept informatique caractérisant la compatibilité et l'interconnectivité d'architectures logicielles et matérielles hétérogènes, est en passe de devenir une philosophie plus générale de conception de systèmes de systèmes. Dans le domaine Productique, sa portée a permis d'établir un pont entre l'interconnectivité des solutions informatiques hétérogènes d'entreprise (systèmes d'informations, bases de données, ERP), et l'interconnectivité des processus fonctionnels de création de valeur ajoutée (business models) mis en œuvre au sein d'un réseau hétérogène d'acteurs économiques (donneurs d'ordres, sous-traitants, fournisseurs). Le concept d'interopérabilité, qui, pour des motifs d'infaisabilité technique, économique, voire juridique, renonce à l'approche d'intégration rationnelle de composants au sein d'un même système, est une réponse aux phénomènes d'instabilité technologique de l'offre informatique de solutions d'entreprise, d'hétérogénéité du patrimoine informatique d'une même entreprise, a fortiori d'un réseau d'entreprises, mais aussi d'instabilité des contours juridiques des entreprises elles-mêmes au gré des rachats dont elles font l'objet et qui rendent illusoire les velléités d'homogénéisation des organisations et des parcs informatiques. Par ailleurs, les partenariats d'entreprises ne sont pas toujours durables, certains pouvant revêtir un caractère éminemment éphémère. Le ReX INTEROP (Interoperability Research for Networked Enterprise Applications and Software) et le PI ATHENA (Advanced Technologies for Interoperability of Heterogeneous Enterprise Networks and their Applications) mené par le leader SAP de l'offre en solutions d'entreprises ont permis l'émergence d'une thématique et d'une communauté européenne pluridisciplinaire combinant la modélisation d'entreprise, les méthodes de conception des solutions informatiques et les ontologies pour définir une méthodologie globale de développement et d'implémentation de solutions d'entreprises adaptées aux partenariats d'entreprises. Les équipes françaises sont bien positionnées dans cette thématique de recherche européenne et font office de tête de file dans la montée en puissance d'INTEROP-VLab, laboratoire virtuel européen en Interopérabilité d'Entreprise, qui fait suite au ReX INTEROP. Il convient de conserver cette position dans une thématique en plein essor, pour laquelle les canaux de diffusion scientifique sont maintenant établis (en particulier, la nouvelle conférence internationale IFIP/IFAC/IESA).

## **4. Thèmes en lien avec les SHS**

### **4.1 Ingénierie de la conception**

La conduite des projets de conception de produits complexes, après une approche centrée sur la maquette numérique « produit », procède maintenant d'une logique d'intégration de type « produit-système ». Il convient de prendre en compte au plus tôt des contraintes liées au cycle de vie des produits, des technologies et des organisations. La conception est orientée « processus », nécessitant la contextualisation des produits en situations d'usage au travers d'une conception conjointe du produit et des environnements qui concernent le produit (production, logistique, usage, maintenance, fin de vie). Le thème de l'usine numérique (intégrant l'Homme) est présent dans différents projets coordonnés par des industriels. Ceci débouche en particulier sur la création de la plate-forme européenne « ManuFuture » dans le cadre du 7<sup>ème</sup> PCRD.

Les environnements projets, et de conception de manière générale, reposent sur quatre piliers (réseaux de concepts, corpus de documents, listes de spécifications, outils). Sur cette base, on constate une émergence d'approches basées sur la définition de « roadmaps » pour le cycle de vie des projets. Il s'agit aujourd'hui, sur une base conforme aux fondements de la systémique de type « Fonctionnelle-Structurelle-Comportementale », d'aller vers une ingénierie « produit-processus-services », qui ouvre des perspectives vers l'intégration des connaissances et expertises, le pilotage des projets en appui sur des chaînes causales et des analyses d'impact/de risques. En parallèle, il faut de nouvelles approches pour gérer la complexité et la diversité, l'incertitude et l'incomplétude, la maturité des informations « produit/processus », pour prendre en compte et gérer la fragmentation des savoirs (gestion des connaissances individuelles au cours du cycle de vie) dans un contexte d'organisation elle-aussi fragmentée de type « hommes-processus-informations ». On retrouve ici la problématique de définition et d'implémentation d'indicateurs de performance dans une démarche orientée vers l'aide à la décision, et ce dès la conception. Au final, il devient indispensable, pour une bonne efficacité opérationnelle et dans le but de simuler et d'évaluer les performances des systèmes ou organisations complexes dès leur conception, d'aboutir à une réelle intégration basée sur les chaînes de valeur en entreprise étendue dans un environnement DMU-PLM-ERP-PLE sur lequel appliquer les différents modèles de comportement. Les aspects collaboratifs sont omniprésents, tant au niveau des moyens de communication, de partage d'application, de partage de données. Enfin, l'ergonomie des postes et interfaces de conception exploitant plus avant les différents sens des experts (en particulier en réalité virtuelle et augmentée) constitue une thématique connexe.

### **4.2. Dimensions économiques et sociales**

L'interdisciplinarité inhérente à la Productique est d'abord une interdisciplinarité associant les Sciences de l'Ingénieur : Automatique, Informatique, Mécanique. Les expériences d'interdisciplinarité conduites dans le passé sous l'égide de différents programmes du CNRS ont montré l'intérêt qu'il y avait à aborder les problèmes posés par la conception et la conduite des systèmes de production par une approche « sciences dures » qui permet une formalisation mathématique. Elles ont montré également le danger qu'il y avait à vouloir « a priori » traiter le problème posé à partir d'une convergence de l'ensemble des disciplines intéressées, incluant les sciences humaines et sociales, les sciences économiques et de gestion, démarche qui conduit souvent à privilégier l'analyse économique-sociale et à contraindre ainsi le système physique dans son analyse formelle et dans les solutions possibles.

Pour autant, l'interdisciplinarité avec les SHS et les sciences économiques et de gestion est indispensable pour une appréciation complète des questions posées par les systèmes de production, particulièrement par les systèmes de production de services dans lesquels le critère économique est de plus en plus mis en avant (cas des hôpitaux par exemple) en même temps que le critère qualité du service.

Une approche économique et sociale est indispensable, elle doit dans un premier temps accompagner la démarche interdisciplinaire des sciences « dures », l'informer sans la contraindre a priori au risque d'inhiber des solutions qui, dûment expliquées et accompagnées dans leur mise en œuvre, peuvent contribuer à une meilleure maîtrise des systèmes considérés.

Ceci est particulièrement vrai dès lors que l'on s'intéresse aux systèmes réticulaires, de plus en plus présents dans les relations entre entreprises et dans les services mais encore mal cernés. La complexité qui s'exprime dans ce cas, au sens du réseau, et l'émergence sont deux aspects qui méritent d'être analysés d'un point de vue formel et qui requerront pour cela particulièrement les outils des mathématiques appliquées. Une telle approche a son équivalent dans les SHS et les sciences économiques et de gestion. Il est indispensable que les deux points de vue se croisent mais seulement dès lors qu'ils ont acquis l'un et l'autre une suffisante maturité.

## 5. Domaines d'application

L'expertise systémique acquise par la Productique en organisation industrielle (procédés discrets, continus ou 'batch') permet d'aborder d'autres secteurs d'activité qui doivent développer leur composante organisationnelle en réponse à un besoin de plus en plus personnalisé en produits et services, posant ainsi de nouveaux défis de pilotage. Le secteur primaire (production agricole), qui s'aborde naturellement par les pré-requis de l'industrie agro-alimentaire, fournit des problématiques intéressantes. Mais *le secteur tertiaire, par définition offreur de services au client final, est en pleine mutation organisationnelle et constitue un champ d'investigation que la Productique aborde trop timidement*. Les systèmes de transport (rail, route, air), les systèmes logistiques (distribution d'énergie et de fluides), les systèmes de production de services du secteur privé (notamment, services bancaires) et du secteur public (soins hospitaliers) sont très insuffisamment couverts, en dépit des avancées de certaines équipes.

La généralité des connaissances en organisation/pilotage des processus de création de valeur ajoutée dont dispose aujourd'hui la communauté de recherche en Productique, pour être valorisée, doit s'extraire du cadre encore trop implicite de la production manufacturière et conquérir les autres secteurs d'activité. Il s'agit à la fois d'une exigence scientifique pour confronter les connaissances à une classe beaucoup large de cas et d'une exigence socio-économique envers des pans entiers d'activité en pleine mutation et demandeurs de solutions organisationnelles performantes.

## 6. Opportunités de développement de plates-formes

Si la Productique a su acquérir une expertise de modélisation systémique, il lui faut maintenant émuler numériquement les organisations étudiées pour en analyser, simuler, valider, prédire, surveiller, contrôler, évaluer et comprendre les phénomènes étudiés. N'oublions pas, en effet, que la démarche expérimentale en situation réelle n'est pas (ou si rarement) envisageable en Productique. Si une large part de la recherche en Productique s'appuie sur des partenariats industriels ou sur des modèles théoriques, ceci s'avère peu réaliste si la recherche menée doit intégrer, par exemple, des caractéristiques liées à la nature des installations de production, aux produits, au système d'information, à l'ergonomie, ou à l'occurrence de défaillances. Pour prendre en compte les technologies récentes de production (machines, transitique, ERP, MES, RFID), des plates-formes offrant aux chercheurs l'accès à des moyens de production proches de ceux rencontrés (ou qui seront rencontrés) dans l'industrie peuvent favoriser des recherches plus réalistes, plus facilement communicables et démontrables, et plus vite transférables sur sites industriels. Parmi les problématiques concernées par des plates-formes on peut noter celles liées au pilotage d'ateliers ou de chaînes logistiques, aux systèmes intégrés (ERP/APS/MES, réseaux, RFID), à la conception intégrée et au PLM (Product Life Management), à la maintenance et fiabilité, aux nouvelles technologies de production (UGV, micro-mécanique, etc.).

Au plan national, la communauté a besoin de se doter d'un *environnement coopératif de modélisation numérique* offrant un cadre formel de construction de modèles de systèmes en mettant en commun les outils de modélisation tout en s'appuyant sur des techniques de benchmarking reproduisant à une échelle crédible le facteur de complexité des situations réelles. *Un centre de compétence en modélisation numérique de systèmes organisationnels* pourrait s'appuyer sur le réseau existant des centres de ressources AIP-PRIMECA, confortant du même coup les missions du réseau pour la formation par la recherche et le transfert vers l'industrie des méthodes avancées.

Au plan européen, la plate-forme européenne MANUFUTURE, s'appuyant sur des plates-formes nationales (voire interrégionales), est en cours de mise en place dans le cadre du 7<sup>ème</sup> PCRD. Son rôle est de favoriser le déploiement de produits-systèmes à forte valeur ajoutée. Les équipes françaises partenaires du Rex VRL-KCIP sont bien positionnées pour bénéficier de cette plate-forme ambitieuse.

Ce rapport a été rédigé, pour le comité d'experts, par Philippe BAPTISTE, Alain BERNARD, Jean-Paul BOURRIERES, Pierre LOPEZ, Gérard MOREL, Henri PIERREVAL, Marie-Claude PORTMANN.