

# **Le master professionnel « Ingénierie des systèmes industriels complexes » : une formation d'architecte système délivrée par l'Ecole Polytechnique, l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires et l'Université Paris Sud 11**

Daniel KROB  
Ecole Polytechnique & CNRS  
Chaire « Ingénierie des systèmes complexes »  
91128 Palaiseau Cedex  
dk@lix.polytechnique.fr

Matthieu MARTEL  
Ecole Polytechnique & CEA  
Recherche technologique - LIST-DTSSI-SOL  
91191 Gif-sur-Yvette Cedex  
matthieu.martel@cea.fr

**Résumé.** Cet article est entièrement consacré à la présentation – par ses deux principaux responsables pédagogiques – du master professionnel « Ingénierie des systèmes industriels complexes » qui a été mis en place à la rentrée 2005 par l'Ecole Polytechnique, l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires et l'Université Paris Sud 11. Nous décrivons notamment les principaux objectifs et l'organisation pédagogique de ce master et tirons un tout premier bilan de ses premiers mois de fonctionnement.

## **INTRODUCTION**

Bien que l'impact industriel de l'ingénierie système soit désormais évident, les formations académiques dédiées spécifiquement à ce domaine restent clairement assez rares tant au niveau national qu'europpéen. Le caractère inquiétant de cette situation explique d'ailleurs sans doute pourquoi la plupart des grandes industries où l'ingénierie système joue un rôle crucial ont logiquement mis en place des formations internes.

La raison principale de ce phénomène vient à notre sens du cloisonnement disciplinaire qui règne dans la sphère académique alors que l'ingénierie système est sous-tendue par une approche globale de la construction d'un système industriel qui apparaît donc de ce fait structurellement totalement transversale à l'ensemble du corpus académique. On notera au passage que cette transversalité de l'approche de l'ingénierie système dépasse même le clivage plus que traditionnel entre les disciplines scientifiques et techniques d'une part et les disciplines de gestion d'autre part : la conduite d'un projet technique complexe nécessite en effet des interactions constantes entre une approche technique, qui est par essence elle-même multi-disciplinaire, et une approche managériale où les dimensions financières, juridiques, humaines, stratégiques, sociologiques et économiques sont intimement mêlées.

Ce cloisonnement explique sans doute qu'il n'existe guère, de fait, au niveau européen, que des formations académiques qui sont en général uniquement consacrées à des aspects partiels – et le plus souvent disciplinaires ou sectoriels – de l'ingénierie système. C'est par exemple le cas des nombreuses formations consacrées à l'ingénierie logicielle qui sont d'abord avant tout tournées vers l'industrie informatique ou des formations plus pointues dédiées par exemple à la conception des systèmes embarqués qui vont le plus souvent ne mettre l'accent que sur la modélisation et la validation de ces systèmes et non sur l'ingénierie des systèmes industriels dans lesquels ils sont intégrés. A l'autre extrême, on trouve enfin des formations qui n'intègrent que la dimension de management technique portée par l'ingénierie système à laquelle celle-ci ne saurait se réduire dans notre esprit : en effet, de notre point de vue, des connaissances techniques pointues sont aussi nécessaires (et totalement fondamentales) pour gérer un réel projet industriel complexe.

Force est ainsi de constater qu'il n'existe de fait presque pas de formations européennes de haut niveau qui appréhendent vraiment sous tous ses angles (technologiques, métiers, opérationnels, scientifiques et techniques) et à travers des approches pédagogiques mixant pluri-disciplinarité et pragmatisme, l'ingénierie système et l'univers industriel dans lequel cette méthodologie se développe.

La mise en place du master « Ingénierie des systèmes industriels complexes » [1] s'est voulue être une réponse à cette lacune objective à travers la construction d'une formation qui affiche l'ambition de devenir à moyen terme un élément important du dispositif de formation des futurs ingénieurs systèmes de l'industrie européenne. On notera que l'originalité de ce master repose sur un modèle pédagogique qui s'appuie sur trois axes complémentaires, en l'occurrence un axe scientifique, un axe de gestion de projet et un axe métier, dont l'interpénétration constante

forme le réel cœur du projet pédagogique sous-jacent. Ce master cherche en effet à former ses étudiants à une vision horizontale des systèmes industriels et non à une vision verticale, limitée souvent à un seul domaine principal, comme c'est le cas de la quasi totalité des formations existantes.

## LA CONCEPTION DU MASTER

De manière à éviter la construction d'une offre de formation artificielle et à ancrer fortement d'entrée de jeu le master « Ingénierie des systèmes industriels complexes » dans une logique professionnelle, nous avons décidé de baser sa construction sur une prise de contact directe avec la réalité des secteurs industriels potentiellement concernés par notre formation.

Un ensemble d'entretiens a donc été effectué dans ce sens entre Septembre 2003 et Mars 2004 avec plusieurs responsables techniques de haut niveau d'une quinzaine d'entreprises (principalement françaises, mais toutes de dimension internationale) de haute technologie (il s'agissait en l'occurrence d'Alcatel, Atofina, Atos Origin, BNP Paribas, Cap Gemini Ernst & Young, Dassault Aviation, EADS, Esterel Technologies, Eurocontrol, Framatome ANP, Georgia Pacific, ILOG, PSA Peugeot Citroën, Schneider Electric, Thales).

Ces entretiens, dont la durée individuelle a varié entre une heure et demi et trois heures (certains d'entre eux débouchant d'ailleurs sur d'autres entretiens dans les organisations que nous avons visitées), ont systématiquement couvert les thèmes suivants :

- les systèmes industriels construits par les industriels visités,
- les méthodologies de conception et de réalisation utilisées en pratique,
- la nature des principales sources de complexité technique,
- la nature des difficultés de gestion opérationnelle au niveau technique,
- les problématiques de R&D les plus importantes en matière d'ingénierie système,
- la nature des compétences demandées à un architecte technique,
- les besoins en formation initiale des futurs architectes techniques.

Ces entretiens ont donc globalement permis d'appréhender de manière très précise la réalité de l'ingénierie système telle qu'elle était vécue dans les entreprises visitées. Ils ont bien sûr également été l'occasion de construire les premières bases de la politique de partenariat industriel de notre formation : de

fait, de nombreux entretiens ont débouché sur des offres spontanées de partenariat allant de la réservation potentielle de sujets de stages pour nos futurs étudiants à des propositions d'interventions dans les enseignements de notre formation et à des offres de participation au financement de notre formation.

On notera également tout particulièrement que les responsables industriels visités initialement ont tous accepté de relire et de critiquer les premières versions du programme prévisionnel de notre master. Les nombreux commentaires que nous avons récupérés de cette manière ont été très largement intégrés dans la version finale de la maquette pédagogique de notre formation [2] qui a donc fortement bénéficié des regards critiques de professionnels de terrain.

## PRESENTATION GENERALE DU MASTER

### La carte d'identité du master

Le master professionnel « Ingénierie des systèmes industriels complexes » a été mis en place à la rentrée 2005/2006. Il résulte d'une volonté affichée de coopération entre trois établissements d'enseignement supérieur du plateau de Saclay, en l'occurrence l'Ecole Polytechnique, l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires et l'Université Paris Sud 11, qui cohabitent ce diplôme national de master. Il s'inscrit également dans le cadre d'un partenariat privilégié autour des systèmes complexes entre l'Ecole Polytechnique et le groupe Thales tout en s'appuyant sur de nombreux autres partenariats industriels (voir plus loin pour plus de détails sur ces points).

### Les objectifs de la formation

Notre master a pour ambition de proposer une *formation initiale pour de futurs architectes techniques* capables à terme de mener à bien des projets de conception et de mise au point de *systèmes industriels complexes*.

Dans cette optique, l'objectif prioritaire de la formation est bien de *former principalement des architectes techniques junior* qui peuvent appréhender à la fois les multiples dimensions techniques qui sont liées à la maîtrise de projets industriels complexes et les dimensions managériales de la gestion de projet, au sens très large de ce terme<sup>1</sup>.

Former de tels architectes passe en particulier à notre sens par l'acquisition :

---

<sup>1</sup> Nous voulons parler typiquement des dimensions économiques, humaines, institutionnelles, sociales ou stratégiques de la gestion de projet.

- d'une réelle pluridisciplinarité technique et scientifique<sup>2</sup>,
- d'une maîtrise des techniques de modélisation et de simulation,
- d'une connaissance fine des méthodes de l'ingénierie système,
- d'une réelle culture de gestion de projets techniques<sup>3</sup>,
- d'une bonne connaissance pratique de l'entreprise<sup>4</sup>, la structure de cette dernière ayant des répercussions directes sur la manière dont peuvent être menés les projets complexes.

Ces différents points sont à la base du projet pédagogique du master « Ingénierie des systèmes industriels complexes » qui a ainsi été tout particulièrement conçu pour constituer une offre de formation capable d'apporter des réponses industriellement satisfaisantes à ces besoins professionnels. Nous souhaitons en effet apporter à nos étudiants une formation professionnelle de haut niveau, basée sur une approche mixte mélangeant à la fois formation académique de pointe, acquisition de savoir-faire techniques et compréhension de la réalité des contraintes et des contextes industriels, qui leur permettront d'aborder au mieux le monde extrêmement compétitif de la gestion de projets techniques complexes.

On notera enfin que notre formation de master intègre très fortement la prise en compte de la gestion des relations humaines au sein d'une équipe technique, élément indispensable de la réussite de tout projet industriel, et à ce titre composante nécessaire d'une formation comme la notre. Pour se faire, une importance toute particulière est donnée aux nombreux projets d'application que les étudiants doivent réaliser en équipes tout au long du master.

### Les secteurs professionnels concernés

Le master « Ingénierie des systèmes industriels complexes » conduit bien entendu avant tout à des carrières fondamentalement

<sup>2</sup> Un projet complexe fait en effet – quasiment par définition – appel à des compétences et/ou à des technologies provenant de domaines scientifiques et techniques extrêmement variés.

<sup>3</sup> Ce qui sous-entend la maîtrise des nombreuses dimensions de la gestion de projet technique : i.e. depuis les aspects purement techniques jusqu'aux méthodes de gestion des ressources humaines en passant par la prise en compte de la composante financière et juridique d'un projet ou des relations avec les sous-traitants ou les fournisseurs (pour ne citer que quelques exemples significatifs).

<sup>4</sup> Ce qui correspond à une culture professionnelle minimale dans des domaines tels que le droit, la finance, la gestion, le management d'équipe, le marketing, la sociologie des organisations, etc.

industrielles et techniques. Les débouchés naturels du master sont en effet des métiers d'architecte junior et d'ingénieur de recherche ou de conception au sein des différents secteurs industriels suivants :

- l'industrie des transports :
  - la construction automobile,
  - la construction aéronautique,
  - la construction ferroviaire,
  - la construction navale,
  - la construction spatiale ;
- les grands équipementiers industriels :
  - les technologies d'infrastructure pour les télécommunications,
  - les équipements techniques de défense (radars, sonars, etc.),
  - les automatismes industriels,
  - les systèmes embarqués,
  - l'industrie électronique<sup>5</sup> ;
- l'industrie informatique, i.e. :
  - les éditeurs de logiciels,
  - les intégrateurs informatiques,
  - les développeurs de systèmes à logiciel prépondérant<sup>6</sup>.

Cette segmentation a en fait naturellement émergée au cours de l'étude initiale (voir plus haut) qui a mis en évidence l'importance de l'utilisation opérationnelle des méthodes issues de l'ingénierie système et de l'approche systémique – qui sous-tendent toutes les deux fortement notre formation – dans ces trois secteurs industriels.

Au delà de ces secteurs industriels identifiés (qui recouvrent cependant déjà une grande partie de l'industrie européenne), d'autres débouchés potentiels de notre master existent bien entendu dans tous les autres secteurs industriels où la gestion des projets complexes est basée ou s'appuie directement sur une approche d'ingénierie système<sup>7</sup>.

<sup>5</sup> Dont l'industrie des « systems on chip ».

<sup>6</sup> Qui contiennent en particulier la sous-classe des systèmes dits « de contrôle / commande » qui se caractérisent par le fait que ces systèmes logiciels gèrent des interactions relativement fortes avec des systèmes physiques (qu'ils contrôlent).

<sup>7</sup> Il existe cependant des secteurs industriels dont le cœur de métier ne s'appuie pas sur une réelle approche système qui est toujours caractérisée par une forte maîtrise des procédés industriels sous-jacents, et donc par une durée raisonnablement limitée des projets industriels complexes qu'elle permet de gérer. C'est par exemple le cas de la pétrochimie où les constantes de temps liées à la mise en place d'un projet industriel clef (comme par exemple l'industrialisation d'un procédé chimique) qui restent très grandes (de l'ordre de 20 à 25

## Cibles et effectifs

Les effectifs actuels de notre master sont de l'ordre de la dizaine d'étudiants, ce qui n'est pas anormal vu la faible publicité que nous avons pu donner à cette formation pendant la période de demande d'habilitation (c'est-à-dire jusqu'au mois d'Août 2005, date officielle de l'habilitation du master, c'est-à-dire deux mois avant son ouverture effective). Nous espérons pouvoir faire monter ces effectifs à de l'ordre de 20 à 25 étudiants à la rentrée 2006 pour atteindre à terme un régime de croisière autour de 50 à 60 étudiants par an.

La promotion du master et la sélection de nos candidats sont effectuées pour favoriser une grande diversité culturelle tout en veillant à la bonne cohérence du niveau scientifique de nos élèves. Nous essayons en particulier de veiller à recruter – en formation initiale – des étudiants d'origine la plus variée possible, à savoir typiquement un « mixt » :

- d'étudiants universitaires,
- d'étudiants issus d'écoles d'ingénieurs françaises (et notamment de l'Ecole Polytechnique),
- d'étudiants provenant de formations étrangères.

Le processus de recrutement des étudiants étrangers<sup>8</sup> s'appuie notamment sur le réseau de partenariats internationaux des différents établissements partenaires de notre master. On notera à ce propos que les mécanismes de recrutement à l'international au niveau master sont déjà largement opérationnels à l'Ecole Polytechnique dans le cadre d'une structure de gestion commune à l'ensemble des masters soutenus par l'école dont bénéficie bien entendu largement notre propre master.

Signalons enfin que nous comptons également intégrer à court terme en deuxième année de master des ingénieurs en formation continue qui souhaitent évoluer vers les métiers de chefs de projet dans le cadre de partenariats avec de grands groupes industriels. On notera à ce propos qu'un ingénieur du groupe Thales a déjà décidé de suivre les enseignements de notre master et appartient donc à ce titre à la première promotion du master.

## ORGANISATION PEDAGOGIQUE

### Notre projet pédagogique

---

années), mesurent bien la non pertinence de l'ingénierie système dans le cœur de ce domaine.

<sup>8</sup> Nos objectifs sont de recruter un tiers de nos promotions à l'international.

Comme il a été rappelé à plusieurs reprises, le master « Ingénierie des systèmes industriels complexes » est organisé autour d'un projet pédagogique qui s'appuie sur les quatre axes structurants suivants qui s'interpénètrent tout au long de notre formation :

- une formation *scientifique et technique pluridisciplinaire* qui couvre une grande partie du corpus des sciences de l'ingénieur<sup>9</sup> en s'appuyant notamment sur des cours de synthèse,
- une formation aux *méthodologies* de la gestion de projet industriel et de l'ingénierie système tant au niveau conceptuel que pratique<sup>10</sup>,
- une formation *aux métiers techniques de l'industrie* sous tous leurs aspects, i.e. tant à un niveau technologique que dans leur dimension managériale,
- une formation *pratique et pragmatique* qui passe tout particulièrement par un accent très fort mis en permanence sur des projets réalisés en équipes.

Un ingénieur système est en effet avant tout quelqu'un qui est capable de *faire la synthèse* des éléments couverts par ces différents axes de formation dans le cadre de la gestion d'un projet industriel. Nous avons donc logiquement voulu mettre très fortement cette dimension synthétique de l'ingénierie système au cœur du projet pédagogique de notre formation.

### Organisation générale de la formation

Notre formation de master s'inscrit pleinement dans le cadre de la réforme LMD. Sa durée est donc de deux années, soit quatre semestres (pour un total de 120 crédits ECTS). Nous décrivons plus en détails les deux années de formation qui le composent dans les deux paragraphes qui suivent.

### Organisation générale de la première année de master

Au niveau de la *première année de master*, les trois parcours suivants sont proposés au sein des différents établissements partenaires de notre projet, à savoir :

- le *parcours pluridisciplinaire* : il est formé d'un ensemble d'enseignements en

---

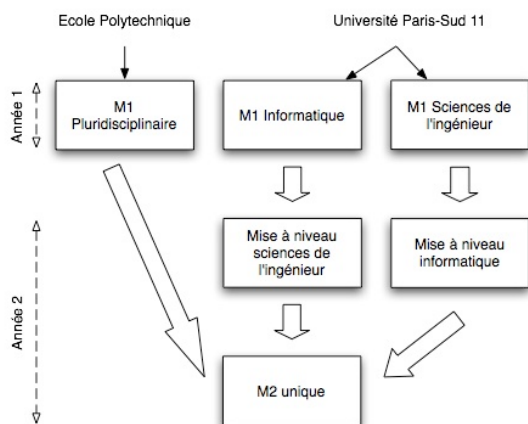
<sup>9</sup> I.e. automatique, électronique, informatique, physique des capteurs, télécommunications, traitement du signal.

<sup>10</sup> Ce qui recouvre en particulier la maîtrise tant des techniques et des outils de modélisation et de simulation qui sont utilisés dans l'industrie que des concepts et des méthodes clefs de l'ingénierie système.

informatique et en mathématiques appliquées qui ont été spécialement regroupés dans le cadre de notre master dans une logique de formation pluridisciplinaire. Ce premier parcours de première année n'est cependant offert que par l'Ecole Polytechnique où il a été construit autour de la troisième année du cycle polytechnicien ;

- le *parcours spécialisé en informatique* : ce parcours s'identifie avec la première année de la spécialité « informatique » du master d'informatique de l'Université Paris-Sud 11. Il n'est offert que par cet établissement ;
- le *parcours spécialisé en sciences de l'ingénieur* : ce parcours s'identifie quant à lui avec le parcours proposé spécifiquement par l'Université Paris-Sud 11 dans le cadre de la première année du master « Information, systèmes et technologies (EEA) » de cette université<sup>11</sup>. Ce parcours n'est offert que par cet établissement.

Comme on le voit, chacun de nos parcours est organisé autour d'une finalité spécifique qui n'est offerte dans le cadre de notre master que dans un seul des établissements qui en sont parties prenantes : il s'agit là d'un choix résolu pour aboutir à une plus grande lisibilité de notre formation (notamment vis-à-vis de tous les étudiants qui choisissent leur spécialisation dès la première année de master).



**Figure 1. Les parcours du master.**

On notera enfin que chacun des parcours de première année de master comprend toujours un enseignement hebdomadaire d'anglais d'au moins une heure et demi par semaine et un stage d'une durée minimale de trois mois (qui

doit avoir été nécessairement effectué en milieu industriel pour valider le parcours correspondant dans notre formation).

### Organisation générale de la deuxième année de master

La deuxième année du master est commune à l'ensemble des établissements qui habilitent la formation. On notera qu'elle commence par une période non obligatoire de mise à niveau conçue pour permettre aux étudiants de compléter, le cas échéant, leur formation initiale en organisation d'entreprise et en gestion de projets et/ou en informatique ou en sciences de l'ingénieur<sup>12</sup>. La mise à niveau s'adresse donc tout particulièrement aux étudiants qui ont suivi en première année l'un des parcours spécialisés en informatique ou en sciences de l'ingénieur que nous proposons dans le cadre de notre master : les étudiants provenant de ces parcours peuvent être amenés notamment à suivre la période de mise à niveau pour rattraper leur retard éventuel dans la discipline complémentaire de celle suivie en première année.

Au niveau pédagogique, la deuxième année de master se décompose en deux parties :

- **Semestre 1** : ce premier semestre de seconde année de master est entièrement consacré à l'apprentissage des bases conceptuelles et opérationnelles du métier d'ingénieur système à travers deux grands ensembles de cours à finalités différentes :

#### → Le tronc commun

Ce premier ensemble de cours forme le cœur de la formation d'un futur ingénieur système. Il s'organise lui-même en plusieurs grands modules :

- sciences de l'ingénieur,
- modélisation et simulation,
- ingénierie système,
- gestion de projet,
- projet d'ingénierie système ;

#### → Les parcours spécialisés

Ce second ensemble de cours est organisé autour de trois modules qui forment autant de parcours spécialisés indépendants (chaque étudiant doit en

<sup>11</sup> Ce master, cohabilité avec l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, contient en effet deux parcours au niveau de sa première année : l'un étant propre à l'Université Paris-Sud 11 (celui que nous avons repris dans le cadre de notre projet de master) et l'autre étant, de son côté, spécifique à l'Ecole Normale Supérieure de Cachan.

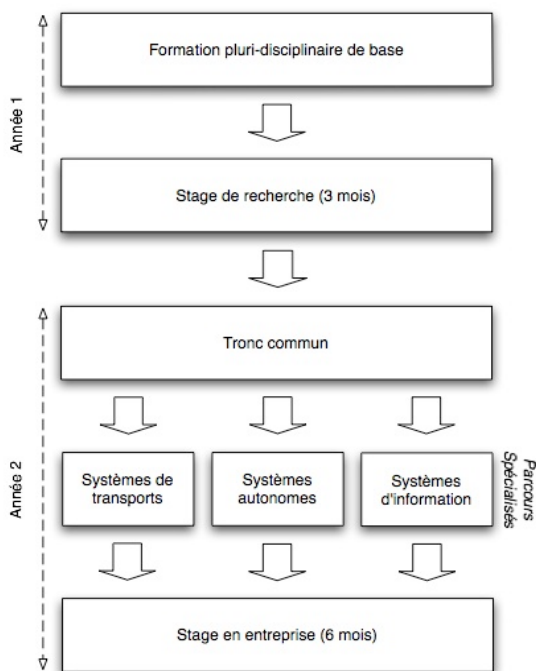
<sup>12</sup> La période de mise en niveau est toujours personnalisée : elle consiste en effet pour chaque étudiant à suivre, le cas échéant, les deux cours obligatoires du parcours pluridisciplinaire de première année qui lui sont le plus indispensables compte tenu de son cursus initial, complétés éventuellement par des cours plus orientés vers l'organisation d'entreprise et la gestion de projets.

choisir uniquement un seul) destinés à approfondir différentes problématiques métiers liées aux secteurs industriels cibles du master<sup>13</sup> :

- systèmes de transport,
- systèmes autonomes,
- systèmes d'information ;

- Semestre 2 : ce dernier semestre de seconde année de master est entièrement consacré à un stage de six mois de niveau ingénieur qui doit *nécessairement* se dérouler en entreprise. Il fait l'objet d'un suivi étroit de la part d'un enseignant du master afin de garantir sa qualité.

On notera que ce programme scientifique et technique est bien entendu complété par des enseignements hebdomadaires d'anglais qui sont organisés sur une base régulière de deux heures de cours par semaine tout au long de la deuxième année de master.



**Figure 2. Organisation pédagogique. Organisation détaillée de la seconde année**

Les cours de seconde année formant le cœur de la formation, il nous semble important de préciser rapidement ce que contiennent les différents modules qui y sont enseignés. Les

<sup>13</sup> Le parcours « systèmes de transport », organisé autour de *l'ingénierie des systèmes embarqués*, prépare ainsi à une intégration dans le secteur des industries du transport. De son côté, le parcours « systèmes autonomes » est orienté vers les grands *équipementiers industriels* (micro-électronique et automatismes industriels). Le parcours « systèmes d'information » prépare enfin à une entrée dans le secteur de *l'ingénierie informatique*.

modules de tronc commun contiennent ainsi les cours suivants :

- Sciences de l'ingénieur<sup>14</sup> :
  - Electronique,
  - Physique des capteurs,
  - Télécommunications ;
- Modélisation et simulation :
  - Modélisation continue,
  - Modélisation discrète,
  - Spécifications,
  - Outils de simulation ;
- Ingénierie système :
  - Modélisation systémique,
  - Cycles de conception et de réalisation de systèmes,
  - Interfaces hommes-systèmes,
  - Maîtrise du risque et processus qualité ;
- Gestion de projets :
  - Gestion opérationnelle de projets,
  - Organisation d'entreprise,
  - Stratégies d'innovation.

De leur côté, les trois filières spécialisées qui terminent la première partie de la seconde année de master (voir plus haut) contiennent les cours suivants :

- Filière « Systèmes de transport » :
  - Fondements de l'embarqué,
  - Réalisation de systèmes embarqués,
  - Sécurité des systèmes embarqués,
  - Modélisation métier ;
- Filière « Systèmes autonomes » :
  - Composants,
  - Réalisation de systèmes autonomes,
  - Perception et commande,
  - Modélisation métier ;
- Filière « Systèmes d'information » :
  - Gestion des données,
  - Intégration applicative,
  - Interfaces homme-machine,
  - Modélisation métier.

On notera en particulier que tous les cours de modélisation métier sont des études de cas faites par des partenaires industriels (voir plus loin leur liste).

<sup>14</sup> Sachant que les étudiants doivent tous avoir une culture minimale en traitement du signal, contrôle et informatique en entrée en seconde année.

## Les partenaires industriels

La seconde année de master est caractérisée par une présence importante d'intervenants industriels. Les interventions effectuées par des intervenants issus du monde industriel représentent en effet un volume horaire global de 220 heures en deuxième année, soit environ un tiers des heures d'enseignement offertes par étudiant en seconde année.

Rappelons notamment qu'un accord de partenariat avec l'« Université Thales » – qui est la structure de formation continue interne du groupe Thales – nous permet de bénéficier de la présence de nombreux ingénieurs du groupe Thales en tant qu'intervenants dans notre master. L'« Université Thales » a en effet accepté de mettre à notre disposition une dizaine de ses modules de formation interne (qui sont normalement uniquement destinés à la formation continue des ingénieurs du groupe Thales) pour fabriquer quatre importants cours professionnels de notre master en regroupant de manière cohérente ces différents modules. De manière très concrète, l'« Université Thales » intervient donc dans notre master en prenant en charge des cours de modélisation, de simulation, d'ingénierie système et de gestion de projet, pour un total de 124 heures d'enseignement. Les cours assurés par l'« Université Thales » sont donc à la fois des cours centraux (et obligatoires) des modules auxquels ils appartiennent et le cœur de la partie professionnelle du tronc commun de la deuxième année de master.

D'autres intervenants industriels prennent par ailleurs aussi en charge les cours les plus orientés métiers des trois filières spécialisés de deuxième année de master, à savoir :

- toutes les études de cas métiers de ces trois modules spécialisés,
- tous les cours d'« Intégration applicative » du module « Systèmes d'information »,

ce qui correspond à un volume horaire global de 96 heures d'enseignement. Les entreprises dont sont issus ces intervenants industriels sont les suivantes :

- Module « Systèmes de transport » :
  - Airbus Industries,
  - Renault ;
- Module « Systèmes autonomes » :
  - Esterel Technologies,
  - Schneider Electric ;
- Module « Systèmes d'information » :
  - AtosOrigin,

→ Axway .

Nous avons en effet systématiquement sollicité dans ce cadre des entreprises très différentes de manière à donner un bon éclairage global métier à nos étudiants.

## LES LECONS DE LA PREMIERE ANNEE

Il est bien sûr un peu trop tôt pour tirer un bilan de la première année de fonctionnement du master dans la mesure où cet article est rédigé à un moment où les étudiants les plus avancés terminent juste leur tronc commun de seconde année. Plusieurs éléments peuvent cependant d'ores et déjà être soulignés.

La philosophie « intégratrice » de la formation a d'abord très bien été perçue par l'ensemble de nos étudiants. Ceux-ci commencent par exemple déjà à réussir à mettre bout à bout les différents morceaux du « puzzle » qui leur sont donnés tout au long de la formation, comme on peut le constater dans la bonne réussite des deux projets applicatifs qui complètent les cours en mettant l'accent sur la dimension « intégrative » de l'ingénierie système. Ces aspects vont d'ailleurs être renforcés l'année prochaine par le biais de la restructuration de certains de nos cours théoriques, de façon à ce qu'ils prennent encore mieux en compte cette vision intégrative et applicative.

Au niveau purement local, dans la mesure où la formation s'ancre fortement dans le cadre de l'Ecole Polytechnique, on peut également noter que notre formation semble avoir réussi à commencer à s'installer durablement dans le contexte polytechnicien. Les 2 polytechniciens qui ont fait le pari de faire partie de la première promotion du master risquent ainsi clairement de faire boule de neige ! Une dizaine de polytechniciens nous ont ainsi déjà fait part de leur intention de rejoindre le master pour la prochaine session à la rentrée 2006.

Sur un tout dernier plan, il faut enfin signaler que le marché – autrement dit les entreprises des secteurs industriels que nous visons – ont réagi très positivement à notre offre de formation. A l'heure actuelle, chaque étudiant dispose ainsi déjà de 2 à 3 offres de stage différentes qui ont été fournies par les directions techniques de nos principaux partenaires industriels.

Tous ces éléments vont donc dans le bon sens et nous pouvons ainsi penser raisonnablement que le master « Ingénierie des systèmes industriels complexes » est promis à un bel avenir. Un point d'ombre reste cependant : lors de la recherche de sujets de stages ou lors de forums d'échanges étudiants / entreprises

(notamment le X-Forum organisé à l'Ecole Polytechnique en Novembre 2005), nous avons constaté que le profil « horizontal » de nos étudiants n'entraîne pas tout à fait dans les profils types de métiers répertoriés par les recruteurs de nombreuses grandes sociétés. Cela est certainement dû à la jeunesse de l'ingénierie système et nous espérons qu'au delà des directions techniques dans lesquels il est maintenant pleinement reconnu comme nous avons pu en effet le constater (voir plus haut), le métier d'ingénieur système deviendra rapidement un profil bien identifié par les directions des ressources humaines des grands groupes industriels.

## REFERENCES

- [1] Site Web du master :  
<http://www.dix.polytechnique.fr/chaire-systemes-complexes> (rubrique Master)
- [2] Document d'habilitation du master  
« Ingénierie des systèmes industriels complexes », Juin 2005

**Daniel Krob** est actuellement *directeur de recherche* au CNRS - en poste au Laboratoire d'Informatique de l'Ecole Polytechnique (LIX ; FRE 2653) - et *professeur chargé de cours en informatique à l'Ecole Polytechnique*. Ancien élève de l'Ecole Normale Supérieure de Fontenay aux Roses (1981-1986), docteur en informatique de l'université Paris 7 (1988), habilité à diriger des recherches en informatique de l'université Paris 7 (1991), il a exercé de nombreuses responsabilités dans le domaine académique : il a ainsi été secrétaire scientifique de la 7<sup>ème</sup> section (Sciences et technologies de l'information) du Comité National de la Recherche Scientifique (1991-1995), Daniel Krob a également dirigé deux groupements de recherche du CNRS, à savoir le GDR « Mathématiques et informatique » (1995) et le GDR « Algorithmique, Modèles et Infographie » (1996-1997), et a été le fondateur du LIAFA (laboratoire d'informatique algorithmique : fondements et applications ; CNRS et Université Paris 7) qu'il a dirigé pendant près de six ans (1997-2002). Il coordonne par ailleurs actuellement la chaire « Ingénierie des systèmes complexes » de l'Ecole Polytechnique dans le cadre d'un partenariat entre la société Thalès et l'Ecole Polytechnique et dirige le master « Ingénierie des systèmes industriels complexes » qui forme la composante « enseignement » de la chaire. Spécialiste de renommée internationale dans plusieurs domaines scientifiques, Daniel Krob a notamment écrit plus de soixante dix articles scientifiques de pointe sur des sujets variés (algorithmique, combinatoire algébrique et énumérative, informatique fondamentale,

mathématiques discrètes, télécommunications radio-mobiles). Il est également l'auteur de 4 livres et d'un brevet concernant la solution d'un problème de synchronisation d'horloges au sein d'un réseau radio-mobile. Daniel Krob a eu aussi une expérience entrepreneuriale marquante dans le domaine des technologies informatiques : il a ainsi participé pendant près de deux ans (2001-2003) au projet de création de la société « Médience » : cet éditeur de technologie d'infrastructure informatique (i.e. d'intégration d'informations d'entreprise), qui a été revendu récemment à l'éditeur « Business Objects », avait pour objectif d'industrialiser une technologie de médiation d'information issue de l'Institut National de la Recherche en Informatique et en Automatique (INRIA). Daniel Krob a notamment assumé la direction de la politique marketing de « Médience » pendant l'ensemble de la période d'incubation de cette jeune société innovante, ce qui lui a permis de développer une expertise forte dans ce domaine.

**Matthieu Martel** est actuellement chercheur au Commissariat à l'Energie Atomique, au sein du Laboratoire d'Intégration des Systèmes et des Technologies, chargé d'enseignement en informatique à l'Ecole Polytechnique, et maître de conférences à l'Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires. Matthieu Martel a effectué ses études à l'Ecole Normale Supérieure de Lyon (1993-1996) avant d'obtenir, en 2000, un doctorat en informatique à l'Université d'Aix-Marseille 2. Spécialiste de la sûreté des traitements numériques présents dans des logiciels embarqués et auteur de nombreux articles sur ce sujet, il a participé à plusieurs projets de recherche nationaux et européens, en partenariat avec de grands groupes industriels. Il a notamment travaillé, depuis 2001, au développement de l'analyseur statique par interprétation abstraite « Fluctuat » qui est utilisé entre autres par Airbus Industries dans le cadre de la validation du système de commande de vol numérique de l'A380. Matthieu Martel participe par ailleurs activement à l'encadrement pédagogique du master « Ingénierie des systèmes industriels complexes » qui forme la composante « enseignement » de la chaire « Ingénierie des systèmes complexes » ainsi qu'aux activités de recherche associées à cette dernière.