

ETUDE DE SYNTHÈSE / UNE ARTICULATION ENTRE ENSEIGNEMENT ET PROJET

J.M. GILLIOT*, R. KOCIK**, A. CELA**,

* Ecole Nationale des Télécommunications de Bretagne, Technopôle Brest-Iroise, B.P. 832 ,
29285 BREST CEDEX – France

**Ecole Supérieure d'Ingénieurs en Electrotechnique et Electronique,
Cité Descartes – BP 99, 2,Bd Blaise Pascal - 93162 NOISY-LE-GRAND CEDEX – France
e-mail : jm.gilliot@enst-bretagne.fr {r.kocik, a.cela}@esiee.fr

Résumé :

Le déroulement des études à l'ESIEE, école d'ingénieurs en 5 ans, est articulé selon une progression de projets et de stages devant permettre à l'élève d'acquérir des compétences techniques, humaines et de gestion de projet. Nous décrivons ici l'étude de synthèse de quatrième année, menée selon un schéma légèrement différent permettant aux élèves d'aborder globalement un système technique complexe. Il nous a paru important d'inclure cette étude de synthèse, permettant aux élèves de valider leurs acquis dans le cadre d'une démarche projet et d'en dégager la cohérence, en introduction de leurs stages professionnels en entreprise.

Mots-clés :

Pédagogie, enseignement par projets, conduite de projet, approche système, interdisciplinarité

I INTRODUCTION

La majeure systèmes embarqués de l'ESIEE a comme objectif de former des ingénieurs capables de concevoir des systèmes électroniques et informatiques, communicants, comportant des fonctions de mesure et de contrôle. Pour répondre à cet objectif, l'enseignement doit non seulement traiter les différentes composantes scientifiques, mais donner à l'ingénieur les moyens de les intégrer selon une dimension "système".

La pédagogie par projets et stages, depuis longtemps présente au sein de l'ESIEE, permet aux élèves de développer des capacités d'organisation, d'autonomie, de rédaction et de comportement professionnel. Malgré tout, entre enseignement classique où l'accent est mis sur des domaines cadrés et la démarche projet où l'accent est mis sur l'organisation, les relations entre acteurs dans laquelle l'élève joue un rôle déterminé, nous avons ressenti l'intérêt de mettre en place une étude de synthèse dans laquelle l'accent est mis sur l'architecture du système, l'interdépendance de ses composants et dans laquelle l'élève devra traiter avec tous les éléments du système. Le déroulement de cette étude se fait selon un cycle de développement classique, avec des micro cycles pour chacun de ses composants. Grâce à cette approche, l'intégration des différents éléments techniques dans une architecture cohérente est mise en avant.

La section II présente la démarche projet globale mise en place à l'ESIEE dans laquelle s'insère l'étude de synthèse que nous traitons plus particulièrement ici, ainsi qu'un retour rapide sur quelques formes pédagogiques précédemment utilisées. La section suivante permettra de dégager les objectifs poursuivis dans celle-ci et la mise en œuvre retenue. La quatrième section détaillera le déroulement et le système retenu dans le cadre de la majeure systèmes embarqués. Nous concluons sur un bilan de l'étude de synthèse et sur son utilisation dans des formes proches.

II POSITIONNEMENT DANS UNE DEMARCHE PROJET

II.1 La démarche projet à l'ESIEE

L'ESIEE, école en 5 ans après le baccalauréat, a choisi lors de sa dernière réforme pédagogique d'inclure un projet par semestre et de maintenir son niveau de stages en entreprise. Ainsi, dès la première année, les élèves sont confrontés avec un projet d'informatique les initiant à la gestion de projet au travers de la maîtrise des délais, du partage de tâches, du jalonnement, des tests et du respect du cahier des charges.

Cette démarche projet permet de progresser et de valider des acquis selon trois axes principaux :

- Technique : les différentes sciences et techniques de l'ingénieur sont abordés : mathématique-physique, informatique, électronique numérique, analogique ?
- Humaine : autonomie, gestion de groupe, professionnalisation
- Projet : gestion de projet, découpage, respect, et établissement d'un cahier des charges, tests,

Il est ainsi possible de dégager une progression dans les pratiques des élèves résumées dans le tableau suivant.

Semestre	Axe projet	Axe technique
2	Découverte planning, partage, tests	Informatique
3		Mathématiques
4		Electronique
5	Groupe de 6	Electronique + Informatique
6		
7	Déroulement guidé	<i>Etude de synthèse</i>
8	Professionalisation	Stage en entreprise
9	Projet interne en liaison avec leur majeure	Spécialisation
10	Projet complet	Stage de fin d'études

Tableau 1 : démarche projet

Les élèves issus des classes préparatoires, intégrant l'école en troisième année, choisissent, en formant des groupes de six, un projet d'intégration technique mixte informatique/électronique, pour acquérir à la fois une démarche projet de groupe et une culture technologique.

La démarche projet généralisée présente néanmoins quelques limites, citons les deux points suivants :

- Dans une équipe projet, chaque élève va jouer un rôle et en général mettre en œuvre des compétences techniques sur lesquelles il a déjà un bon acquis renforçant ses points forts.
- Au cours d'une démarche d'apprentissage, il n'est pas possible d'avoir une garantie de bonne fin. Trop souvent dans une démarche projet, celui-ci est terminé à 90 %, pour différentes raisons : délais non maîtrisés, défaillance partielle d'un sous-groupe, retard de livraison de matériel. Les raisons sont multiples, le résultat est identique.

Le premier point est facteur de motivation et permet à l'élève de se construire une base de compétences spécialisées. Ainsi, tout en proposant un enseignement à large spectre, nous constatons une tendance à une plus grande spécialisation des élèves, du moins sur les acquis techniques. Il nous semble que ce point doit toutefois être contrôlé pour assurer une diversification suffisante de leurs compétences et que celles-ci soient construites en perspective avec l'ensemble des composants systèmes.

Le second point peut, s'il se répète, démotiver complètement les élèves, particulièrement dans le cadre d'études longues comme c'est le cas à l'ESIEE.

C'est avec ce constat que nous avons défini un espace en quatrième année pour une étude de cas que nous appelons ici étude de synthèse. L'idée était de proposer une séquence pédagogique permettant de lier une étude complète d'un

système y compris les aspects économiques, en introduction à la période des projets et stages en liaison avec l'entreprise. Cette séquence est d'une durée de 48 heures en parallèle avec les enseignements classiques. Dans la suite de cette section, nous faisons un court bilan de différentes formules testées après un court rappel sur la nature de l'activité travaux pratiques.

II.2 Travaux pratiques

L'étude complète d'un système et les interactions entre les différentes sous parties ne peuvent être analysées en séances de Travaux Pratiques. En effet, les élèves sont focalisés sur un point précis. S'il est possible de prendre un système complet comme cadre ou exemple, la compréhension de celui-ci retiré par les élèves reste faible. Des plus, toutes les difficultés annexes de mise en œuvre doivent être cachées pour l'efficacité de l'exercice pédagogique, et la tenue de la durée des séances.

Dans une approche système, il s'agit au contraire de mettre en évidence comment chaque élément technique s'intègre dans une architecture cohérente.

II.3 Quelques formes d'études de cas

Deux formes pédagogiques ont été tentées précédemment pour aborder une dimension d'étude système.

La première a consisté à coupler une étude technique et financière, sous forme de réponse à appel d'offres. L'équilibre n'a pu être trouvé. En partant d'un appel d'offre réel, la gamme de réponse possible s'avérait limitée par le manque de diversité d'accès aux données constructeurs, dès que l'on quitte le domaine purement électronique. Par ailleurs, pour un système nécessitant une étude économique conséquente, les aspects réalisation s'avéraient soit trop ambitieux, que ce soit en durée ou en coût. Des tentatives de prototypage des points durs techniques identifiés se sont avérés délicats à mener dans ce schéma pédagogique.

La seconde forme a consisté à découper un projet en sous parties au niveau d'un groupe de 24, dimension qui s'est avérée impossible à maîtriser à chaque fois sur une courte durée (48 heures). Par ailleurs, cette disposition nous faisait retomber dans les défauts de l'activité projet. Une tentative a été de concentrer chaque sous-équipe à une validation d'un aspect technique, mais la conclusion a été un manque de motivation dû à une non-réalisation globale et à un manque de vision de l'aspect système au niveau global.

Nous sommes donc revenus à une étude plus technique, incluant une dimension de conduite de projet, mais plus guidée et amenant les élèves à considérer l'ensemble des éléments d'un système.

III OBJECTIFS/ METHODOLOGIE DE L'ETUDE DE SYNTHESE

Nous précisons ici les différents éléments de l'étude de synthèse et le déroulement choisi pour les respecter.

III.1 Objectifs

Les objectifs principaux sont selon les trois axes suivants :

1. Cadre de conduite de projet. Les élèves doivent suivre une méthodologie projet intégrant des étapes de conception et donc de choix techniques, de raffinements successifs, de réalisations, de tests, d'amendements contrôlés, d'intégration et de tests à nouveau.
2. Synthèse des enseignements. L'objet de l'étude doit être suffisamment ambitieux pour permettre la mise en pratique de la majorité des enseignements dispensés dans la majeure. L'étude devant rester faisable dans le temps alloué de 48 heures, des choix doivent être faits. Le système que nous avons retenu couvre néanmoins les différents domaines traités : automatique, informatique, électronique.
3. Approche système. C'est à la fois la conséquence du point précédent et l'intérêt de la démarche. Pouvoir décomposer un système, étudier et réaliser les différentes composantes en fonction d'objectifs globaux, respecter les spécifications fonctionnelles et des influences non fonctionnelles (temporelles notamment), maîtriser les modèles de simulation et leur distance avec la réalité, sont différents aspects à mettre en évidence. L'objectif est d'initier les élèves à l'intégration de systèmes [1] dans sa globalité en prenant en compte les spécificités des systèmes embarqués [3].

III.2 La méthodologie

Suivant l'expérience que nous avons résumée en II.3, nous avons choisi de mettre en place un projet guidé qui consiste en l'étude d'un prototype de système embarqué. L'étude suit donc un cycle classique de système embarqué, passant par une étape de compréhension du problème, de modélisation et simulation de l'application, puis d'implantation et d'intégration. Pour bien mettre en avant l'influence de l'architecture sur les autres aspects du système, nous avons choisi de procéder à des raffinements de celle-ci passant d'une architecture simple, proche des modèles implicites de modélisation à une architecture complexe en réseau.

Chaque séance est menée selon un point de focalisation, dans un environnement qui a été étudié durant les séances précédentes. Les différents changements de modèles sont analysés.

L'articulation avec les enseignements est assurée de manière à ce que les pré requis soient effectivement acquis au moment où ils sont utilisés dans l'étude de synthèse. L'ensemble des équipements et outils utilisés ont été côtoyés, utilisés durant leurs enseignements académiques.

Pour des raisons d'efficacité et de dynamique élèves, nous sommes restés à la formule du binôme.

Nous avons mis en place une procédure d'évaluation visant à pousser les élèves à s'imprégner de la démarche et à dégager la cohérence du système qu'ils étudient. Il est donc nécessaire de procéder à une évaluation continue et à une synthèse finale.

L'évaluation continue consiste à faire un point par binôme en fin de chaque séance de production et à une remise de rapport d'avancement à la séance suivante, comportant

documentation du travail réalisé et jeux de tests quand cela est applicable.

En fin d'étude, chaque groupe remet un rapport complet qui reprend les rapports intermédiaires et qui en effectue une synthèse et justifie les choix de conception. Le résultat est alors présenté par une démonstration et une séance de questions/réponses portant sur les différents niveaux de l'étude.

Nous avons ainsi retenu la formule du sujet "académique" dans lequel les contraintes de réalisation sont intégrées aux objectifs de travail, seule formule nous garantissant l'utilisation la plus large possible des acquis scientifiques et techniques de l'année et une garantie de progression. Cette démarche offre aussi une garantie de bonne fin, qui est positive pour l'élève en le rassurant par rapport à ses capacités à une époque de première recherche de stage à caractère professionnel.

Cette étude trouve en effet sa place avant la réalisation en cinquième année d'un projet interne de 180 heures en groupe, en liaison avec une entreprise dans un certain nombre de cas, le départ en entreprise pour un stage d'au moins trois mois en fin de quatrième année et de six mois en fin d'étude.

IV OBJET DE L'ETUDE

Notre objet d'étude est un système de contrôle réparti coordonnant différents procédés. Un exemple de tel système est une direction de véhicule avec roues indépendantes. Pour des raisons de facilité de mise en œuvre, nous avons retenu la coordination de pendules inverses. Chaque pendule doit rester stable selon une dynamique propre. Le chariot du premier pendule doit se positionner par rapport à une consigne en position et le second par rapport à la position du précédent.

Le système comprend donc un ensemble de procédés à contrôler et à coordonner, sur une architecture à base de microprocesseurs reliés en réseau. Le déroulement permet de passer par des phases de choix, de conception, de réalisation, d'intégration et de tests. Une définition complète de l'étude peut être consultée en [2].

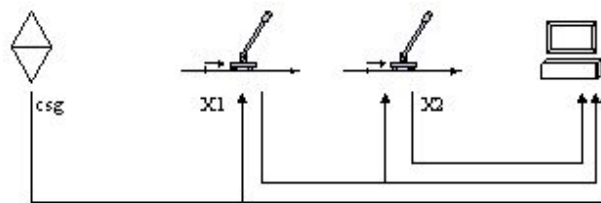


Figure 1 : Système multi-pendulaire réparti

La conception d'un tel système se fait en général par étapes de raffinements successifs. Nous avons voulu respecter cette progression pour mettre en évidence les difficultés d'articulations entre les différents domaines mis en jeu.

Pour le lecteur intéressé, la démarche de conception d'un système équivalent en simulation peut être consultée en [3] et [4].

IV.1 Compréhension du problème

Dans cette première étape, les élèves prennent connaissance du sujet sous forme d'un cahier des charges, et la définition des étapes du développement est définie collégialement. A l'issue de cette séance, sont reconnus les étapes de conception, les performances attendues du système global, les différentes architectures matérielles à mettre en œuvre.

IV.2 Définition du contrôleur

La première étape est de définir le contrôleur complet assurant la stabilisation des pendules isolément et la synchronisation des deux pendules par rapport à la consigne en position. Cette étude se fait classiquement avec un outil de modélisation, de simulation et de synthèse de contrôleur, tel que Matlab/Simulink. La stabilisation d'un pendule isolé a été préalablement traitée en cours. A l'issue de cette étape, les élèves possèdent les spécifications nécessaires pour envisager l'implantation sur une architecture informatique dédiée.

IV.3 Implantation mono processeur

L'implantation se fait par étapes, à savoir qu'après avoir décomposé le problème et identifier les sous systèmes, la création d'une architecture se fait par composition de ces sous systèmes, il s'agit donc ici de maîtriser cette démarche.

Il est fait appel aux compétences d'électronique et d'informatique niveau architecture et système temps réel acquises en cours et TP, et ici mises à disposition d'un système englobant. Chaque partie doit donc être développée, adaptée au système et validée par rapport aux spécifications.

IV.4 Choix du réseau

Dans une conception de produit, le choix d'éléments de base peut être crucial. Cet aspect est traité en effectuant une étude technique des différentes solutions a priori.

IV.5 Implantation multiprocesseurs

L'implantation multiprocesseur nécessite de travailler au niveau programmation système, mais aussi du protocole réseau. Ici aussi l'intégration se fait par étapes, et en complément avec des notions vues isolément en cours. L'intégration complète sur le réseau pose des problèmes de performances qui nécessitent de maîtriser au mieux les transferts de messages et les synchronisations. Malgré tout, les performances au niveau système ne pourront pas être atteintes sans remonter les contraintes temporelles au niveau du modèle du contrôleur.

IV.6 Amendements du contrôleur

Le modèle établi au départ ignorait l'implémentation, ce qui est l'usage dans les cycles de conception classiques. Sans remettre en cause les bases de ce modèle, celui-ci doit être raffiné pour permettre le respect des performances systèmes. L'objectif est ici de montrer aux élèves qu'une conception se fait par étapes successives.

IV.7 Tests

Chacune des étapes de la conception et du développement doit être validée par un ensemble de tests pertinents. Il est donc demandé aux élèves de proposer et de réaliser une série de tests à chaque étape. Nous n'avons pas retenu l'établissement de jeux de tests a priori, par manque de durée

de l'étude, ce qui aurait été pourtant justifié. Le bilan de cette année confirme le manque de maturité dans la méthodologie de tests.

V BILAN PEDAGOGIQUE

Le bilan tiré de cette expérience est globalement positif. Nous avons constaté un apport pour les deux groupes en présence : les élèves d'une part et les enseignants d'autre part.

V.1 Bilan élèves

Au niveau de la motivation, nous avons constaté une implication très forte des élèves, l'exercice répond en effet à leur besoin de traiter des systèmes de taille réelle. C'est l'effet « projet ».

La mise en pratique sur un cas concret de leurs enseignements et le retour dans un cadre global sur les techniques déjà abordées rapidement au travers de travaux pratiques ont été ressentis comme enrichissants. Cet aspect de type révision s'avère être un effet de bord qui renforce la capacité de nos ingénieurs à maîtriser les techniques enseignées.

La mise en perspective et les liens entre les matières enseignées sont effectivement ressentis par les élèves. Ils nous ont en effet majoritairement confirmé avoir progressé sur cet aspect qui était la justification première de la mise en place de cette séquence pédagogique.

V.2 Bilan enseignants

Les apports perçus par les élèves sont confirmés par les enseignants ayant encadré les élèves. Concernant les acquis, la maîtrise de l'influence des choix relatifs et de la problématique d'intégration sont effectivement améliorées.

Le fait de pouvoir travailler en environnement maîtrisé et à un niveau élargi par rapport à des séances de travaux pratiques permet d'objectiver des manques méthodologiques des élèves. Ainsi, l'aspect méthodologie de tests sera affiné pour la prochaine session.

Du point de vue de l'équipe enseignante, le partage autour d'une telle étude est aussi enrichissant en permettant la mise en perspective des enseignements, et d'en dégager la cohérence. Des échanges fructueux sur les pratiques issues de domaines scientifiques trop souvent cloisonnés (par exemple entre automatique et informatique) ont enrichi les pratiques de chacun.

Notons finalement la difficulté de dimensionner correctement le travail demandé. La dimension « projet » impose de poser le cahier des charges et la démarche (donc les séances) en début d'étude. Les remises en questions pour des raisons d'équilibrage de la charge de travail sont ensuite difficiles et mal comprises. Notamment, il ne doit pas y avoir de sentiment final, soit de ne pas avoir pu finir l'étude annoncée, soit de rajout d'éléments complémentaires, vus alors comme du remplissage. Cela confirme qu'un enseignement de cette nature a besoin de pérennité pour mieux s'affiner.

VI. CONCLUSION

L'étude de synthèse comporte donc une étude architecturale, des études de dimensionnement, la synthèse de contrôleurs, une validation de l'électronique, des implantations logicielles, une gestion des modifications en intégrant la tolérance aux fautes. Cette étude a ainsi été mise en place comme une synthèse des enseignements de la majeure et d'étude système d'un équipement embarqué.

La démarche ayant été bien accueillie par les élèves et perçue comme complémentaire des enseignements et projets suivis par ailleurs, nous avons proposé une étude similaire comme trame d'un enseignement optionnel dit d'ouverture en dernière année pour les élèves d'autres spécialités de l'école. La dimension système y a été conservée, sous forme de l'étude d'une implantation générique de contrôleur, appliquée cette fois au domaine de l'électronique automobile, en simplifiant les parties de mise en œuvre, et en introduisant au fur et à mesure les apports théoriques nécessaires. Le premier retour est encourageant, mais nécessite encore d'être affiné.

REFERENCES

- [1] J.P. MEINADIER, "L'intégration de systèmes", Que Sais-je ? 3183, Presses Universitaires de France, (1997).
- [2] J.M. GILLIOT, "Etude d'un système de coordination réparti", <http://www.esiee.fr/~gilliotj/EdC2002/index.html>.
- [3] J. LIU, J. EKER, J. W. JANNECK, E.A. LEE, "Realistic Simulations of Embedded Control Systems", 15th IFAC World Congress, Barcelona, Spain (July, 21-26 2002).
- [4] J. LIU, J. EKER, J. W. JANNECK, X. LIU, E.A. LEE, "Actor-Oriented Control System Design: A Responsible Framework Perspective", *IEEE Transactions on Control System Technology*, (March, 2003).