

Apprentissage par projets : une application au domaine des télécommunications

Richard Perdriau, Mohamed Ramdani, Ali Alaeldine, Bilel Ben Boubaker,
Mathieu Feuillo, Alain Le Duff, Guy Plantier, Anthony Sourice, Jérôme Tissier

ESEO - 4, rue Merlet-de-la-Boulaye - BP 30926 - 49009 Angers Cedex 01 - France (Pôle CNFM de Rennes - CCMO)

Présentation et contact : Mohamed Ramdani (mohamed.ramdani@eseo.fr)

1 Introduction

Comme l'expliquent les spécialistes de l'Université Catholique de Louvain (Belgique) [1], "la rupture que vit un étudiant sortant de l'enseignement secondaire et entrant dans l'enseignement supérieur est un phénomène bien connu. Dans un apprentissage par projets ou par problèmes (APP), la démarche suivie est structurée autour d'un problème en lien avec l'exercice d'une profession plutôt que de matières ou disciplines. Il s'agit de confronter un groupe d'étudiants à une situation ou à un problème proches d'une pratique professionnelle donnée dans le but d'asseoir solidement les connaissances, les savoir-faire ou les attitudes nécessaires à l'exercice de cette profession". En raison de l'augmentation des effectifs étudiants à l'ESEO, l'équipe pédagogique du Département Electronique et Sciences Physiques a souhaité mettre en pratique cette technique réputée plus efficace en termes de motivation et d'acquisition des connaissances. Nous nous proposons de relater cette expérience dans cet article.

2 Mise en œuvre de l'APP

2.1 Présentation de l'existant

Les connaissances de base en télécommunications sont enseignées à l'ESEO en première année ingénieur (L3), aux semestres 5 et 6. L'unité d'enseignement associée au semestre 5 comprend :

- un cours magistral de traitement analogique du signal (27,5 heures, 2,5 ECTS),
- un cours magistral de traitement numérique du signal (20 heures) et des travaux pratiques sur Matlab[®] (8 heures), l'ensemble valant 2 ECTS.

En outre, avant l'introduction de l'APP, l'unité d'enseignement du semestre 6, valant 2 ECTS, était constituée de :

- un cours magistral de filtrage et modulation (27,5 heures),
- des travaux pratiques de communications numériques (8 heures),

- des travaux pratiques de filtrage numérique (4 heures).

2.2 Objectifs scientifiques et académiques

Il a été constaté que les résultats académiques obtenus par les étudiants au semestre 5 étaient satisfaisants. Par conséquent, l'unité d'enseignement "télécommunications" de ce semestre a été conservée sans changement. En revanche, en 2008-2009, les résultats du semestre 6 en filtrage, modulation et communications numériques étaient assez décevants : seuls 98 étudiants sur 179 (54,7 %) avaient obtenu leurs crédits sans examen de rattrapage. Une explication de ces résultats a été avancée : à cause du nombre d'étudiants dans la promotion (environ 180), les travaux pratiques avaient dû être organisés tout au long du semestre, si bien qu'un certain nombre d'étudiants n'avaient pas pu suivre le cours magistral avant les travaux pratiques correspondants. Une autre explication peut résider dans le manque de motivation des étudiants à la fin d'une longue année scolaire (au mois de juin) et qui n'avaient pu se concentrer que difficilement sur un cours magistral assez complexe.

Dans le même temps, à l'initiative de Mohamed Ramdani, les enseignants-chercheurs de l'ESEO ont suivi une formation à l'apprentissage par projets, dispensée par Benoît Raucent et Piotr Sobieski, de l'équipe Formation Apprentissage Actif (FA²L) de l'Université Catholique de Louvain [2]. Le Département Electronique et Sciences Physiques de l'ESEO a donc décidé de remplacer l'unité d'enseignement entière du semestre 6 par un APP de 40 heures étalé sur 3 semaines au mois de juin, pour un volume horaire identique à l'existant. L'objectif principal était évidemment de motiver les étudiants par l'intermédiaire d'une pédagogie active et de pérenniser leurs connaissances.

Quant aux objectifs scientifiques, ils ont été exprimés comme suit : "A la fin de l'APP, les étudiants devront être capables :

- d'analyser les contraintes imposées à une chaîne de transmission filaire (canal, message),
- de maîtriser les ordres de grandeur liés aux signaux et systèmes (longueur d'onde, puissance),

- d'expliquer le filtrage et la modulation et d'en identifier leur utilité,
- de choisir, assembler et mettre au point les blocs de la chaîne en fonction des contraintes initiales,
- de démontrer, par simulation et par mesure sur un démonstrateur réel, que la chaîne réalisée répond à ces contraintes,
- de réaliser et présenter en groupe un poster résumant les performances du système mis au point (forces, faiblesses)".

2.3 Organisation et ressources

Le nombre total d'étudiants en première année ingénieur en 2009-2010 était 188. La promotion a donc été divisée en 32 groupes de 5 ou 6 étudiants chacun. La répartition des étudiants entre les groupes a été faite par tirage aléatoire avec quelques contraintes supplémentaires : aucune ou bien deux filles par groupe (pas de filles isolées), au plus un redoublant par groupe. L'objectif était de forcer les étudiants à travailler en groupe même s'ils ne se connaissaient pas très bien, afin de reproduire une situation qu'ils retrouveront lors de leur vie professionnelle.

La quasi-totalité des enseignants-chercheurs du département ont participé à l'APP en tant que tuteurs. Chaque tuteur devait s'occuper de 3 ou 4 équipes dans une salle ou bien deux salles adjacentes pour des raisons de commodité.

Le projet a été mené sur la base de 10 demi-journées étalées sur 3 semaines. Les demi-journées pouvaient inclure :

- des séances tuteurées (en majorité) : les tuteurs devaient guider les étudiants (pas trop cependant !) et s'assurer de la participation effective de chaque étudiant au travail d'équipe,
- des séances non tuteurées, dans lesquelles les étudiants devaient travailler de façon autonome ; il s'agissait essentiellement de recherches bibliographiques ou bien de séances de codage.

A ces séances s'est ajouté un "cours de restructuration" donné au milieu de l'APP par un enseignant-chercheur spécialiste du domaine. Juste avant ce cours, chaque groupe avait eu la consigne de préparer deux questions transmises aux tuteurs. Après compilation de l'ensemble, le cours de restructuration a été organisé de manière à répondre à un maximum de questions jugées pertinentes pour l'ensemble des étudiants.

La première séquence de l'APP (1h30) a été consacrée à un "APP 0", totalement décorrélé de l'APP "télécommunications". Les étudiants devaient construire un pont entre deux chaises, avec uniquement des spaghettis et du fil à coudre, et dont les tuteurs testaient ensuite la solidité. Cet "APP 0" n'était qu'un prétexte pour que les étudiants puissent se rendre compte de l'importance de la répartition des tâches à l'intérieur d'une équipe, et ensuite analyser les problèmes

pouvant survenir dans cette organisation.

Les tuteurs ont ensuite expliqué à chaque équipe la nécessité d'une répartition efficace des tâches. En conséquence, chaque équipe devait désigner :

- un "chef de projet" chargé d'orienter la discussion et d'allouer le temps de parole ; il devait également s'assurer que chaque étudiant participait effectivement à la réflexion,
- un "scribe" dont le rôle était d'écrire au tableau en temps réel, sans filtrage ni jugement de valeur, l'ensemble des idées émises par le groupe,
- un "secrétaire" rédigeant, en fin de séance, un compte-rendu regroupant les idées jugées pertinentes par l'ensemble du groupe,
- optionnellement, un "gardien du temps" chargé de rappeler à l'ensemble du groupe les butées temporelles de la séance.

Selon l'organisation choisie par le groupe, ces différents rôles pouvaient être assignés pour l'ensemble de l'APP ou bien changer au cours de ce dernier.

L'étape suivante consistait à distribuer à chaque groupe le sujet de l'APP, un livret "étudiant", et un ouvrage scientifique de référence [3] ; pour chaque séance tuteurée ou non, le livret mentionnait de manière très claire et détaillée le planning, les objectifs et, si nécessaire, les livrables à produire en fin de séance. La réalisation de ce livret constitue certainement pour l'équipe pédagogique la tâche la plus longue et la plus complexe : il s'agit d'identifier, en fonction des pré-acquis supposés, combien de temps chaque étudiant est susceptible de passer sur une activité donnée ainsi que le résultat final qu'il est censé obtenir. Dans le cas de cet APP, seule la moitié du projet a été distribuée le premier jour, afin de laisser place à une "surprise" qui sera expliquée au paragraphe suivant. Le reste du livret a en fait été distribué après cet événement.

2.4 Sujet et éléments techniques

Par les hasards du calendrier, il se trouve que la dernière séance de l'APP était organisée le 18 juin, jour du 70^{me} anniversaire de l'Appel du même nom. Nous avons donc bâti un sujet en l'honneur de cet événement historique et l'avons donc baptisé tout naturellement "l'APP du 18 juin". Ce sujet se présentait sous la forme d'une présumée lettre provenant de la "Résistance" en juin 2040. La France avait été envahie par des extra-terrestres, qui avaient détruit tous les moyens de communication sans fil et presque tous les moyens filaires. Un résistant, basé à Londres, avait réussi à décoder les communications extra-terrestres et s'appropriait à essayer de transmettre la "clé de la liberté" aux résistants français (les étudiants) par une vieille ligne téléphonique restée secrète. Cette clé était en fait l'Appel du Général de Gaulle sous forme textuelle, information gardée confidentielle jusqu'à la dernière séance de l'APP.

L'objectif de l'APP consistait alors à identifier et implémenter un moyen de communication fiable d'un PC à un autre à travers une ligne téléphonique, et capable de transmettre n'importe quel type de message (texte, son, image). Pour ce faire, chaque équipe disposait :

- de deux PC équipés d'une carte son et du logiciel Matlab[®],
- d'un générateur de fonctions BF,
- d'un oscilloscope numérique,
- d'une carte analogique spécifique (figure 1) avec filtre et générateur de bruit large bande, reproduisant un canal téléphonique; la nature du filtre pouvait être modifiée de passe-bas à passe-bande à l'aide d'un cavalier, afin de mettre à la disposition des étudiants deux problèmes de transmission de nature différente,
- d'une alimentation adaptée.

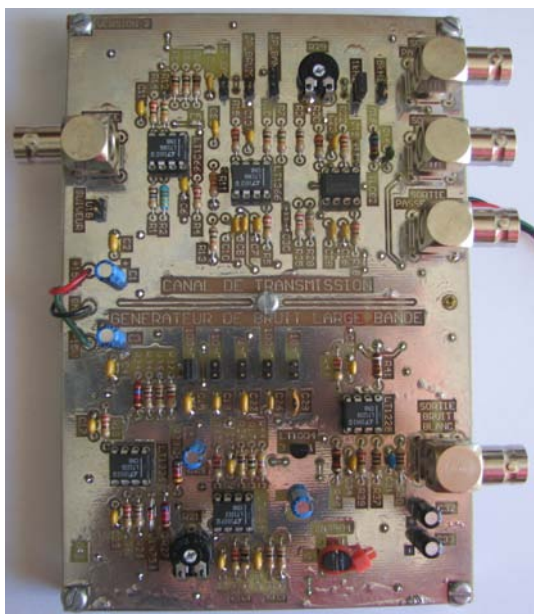


FIG. 1. Carte spécifique pour l'APP : canal (haut) et générateur de bruit large bande (bas)

Ainsi, les étudiants devaient successivement :

- identifier (par la mesure) la réponse en fréquence de la ligne téléphonique simulée (configurée en mode passe-bas),
- réaliser une étude bibliographique sur les techniques de codage/décodage canal adaptées, afin de s'accommoder de la bande passante réduite du canal; ici, ils utiliseraient typiquement un codage en bande de base de type non retour à zéro (NRZ) et calculeraient le débit binaire adéquat,
- comprendre les principes de l'échantillonnage utilisé par la carte son, et ainsi choisir un nombre adapté d'échantillons par bit,
- coder sous Matlab[®] les deux côtés (émetteur et

récepteur) de la transmission et la tester.

Par la suite, nous avons demandé aux étudiants d'augmenter le débit binaire tout en maintenant la compatibilité avec le canal. Ceci permet d'introduire la notion de codage M-aire (2^M niveaux de tension codant N bits consécutifs). De plus, la mise en œuvre du générateur de bruit large bande de la carte permet d'illustrer les inconvénients de cette technique, en introduisant le concept de diagramme de l'œil.

En plein milieu de l'APP, une seconde lettre de la "Résistance" a été communiquée aux étudiants. Ce message indiquait que les extra-terrestres avaient découvert la ligne téléphonique cachée et changé ses caractéristiques. Ceci n'était qu'un prétexte pour changer la réponse en fréquence des cartes en mode passe-bande. Les étudiants ont pu se rendre compte que leur logiciel ne permettait alors plus de transmettre l'information. Ils ont donc effectué une nouvelle identification de la réponse du canal; ils devaient alors justifier l'impossibilité de transmettre, en utilisant le concept de densité spectrale de puissance. Par la suite, une séance de recherche bibliographique leur a permis de découvrir le concept de modulation. Plusieurs techniques de modulation devaient être considérées, parmi lesquelles la modulation tout-ou-rien (OOK), la modulation par saut d'amplitude (ASK), la modulation par saut de phase (PSK) ou même la modulation par saut de fréquence (FSK). Le rôle des tuteurs consistait alors à éviter que les étudiants se dispersent sur une modulation trop compliquée à implémenter.

2.5 Evaluation des étudiants

2.5.1 Evaluation individuelle

L'évaluation individuelle des étudiants a été réalisée au travers d'un QCM de 30 minutes (10 questions) programmé au milieu de l'APP (après le cours de restructuration). Ce QCM portait sur l'ensemble des concepts déjà vus au cours de l'APP (en fait tous sauf la modulation). Les résultats comptaient pour 40 % de la note finale de l'APP.

2.5.2 Evaluation collective

En ce qui concerne l'évaluation collective, nous avons demandé à chaque groupe d'étudiants de préparer un poster au format A0 résumant leur approche et leurs résultats. Deux séances de 2 heures chacune ont été consacrées à la préparation; les posters devaient être manuscrits à l'exception des résultats de simulation bien entendu. Les posters ont été présentés lors de la dernière séance de l'APP, qui a été organisée dans le hall de l'École sous forme d'une session posters analogue à celle d'un congrès. Chaque équipe a été évaluée par deux enseignants (n'incluant pas nécessairement le tuteur ayant encadré l'équipe); chaque étudiant(e) devait prendre la parole pendant

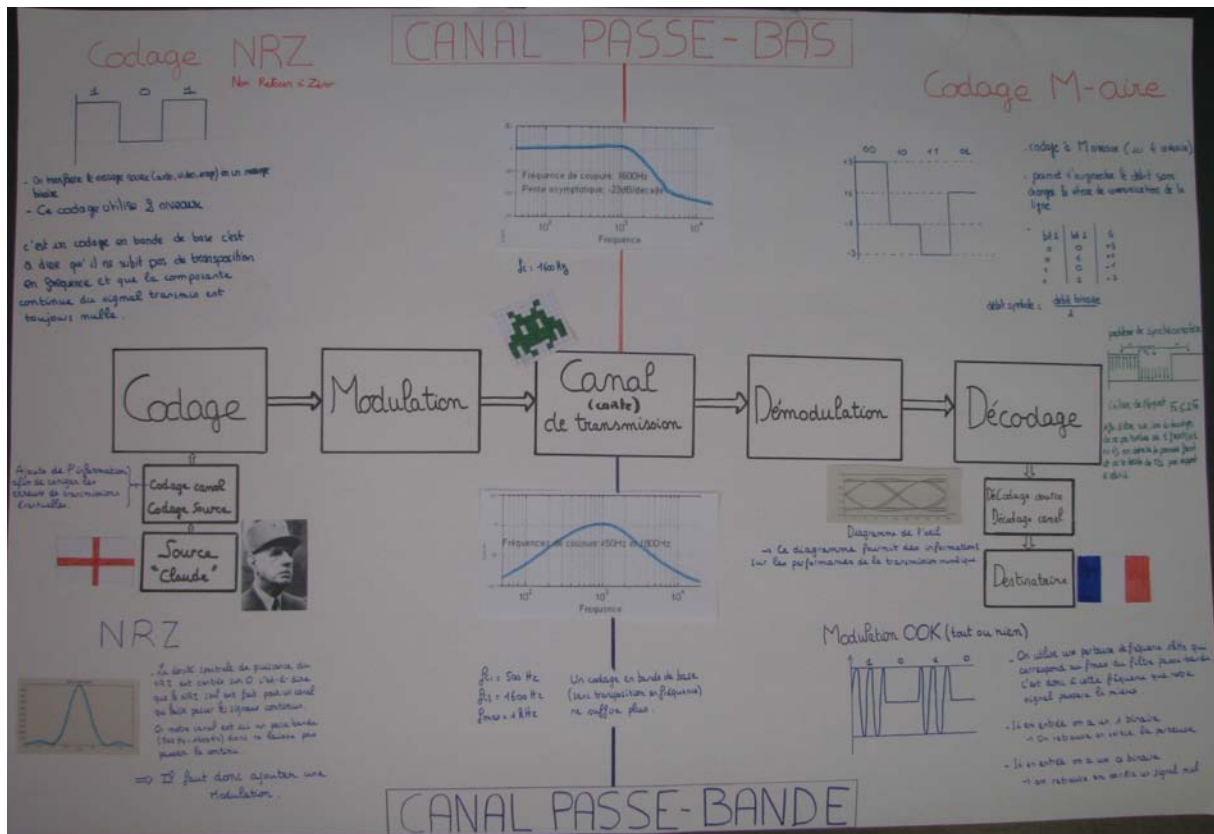


FIG. 2. Un des posters étudiants

2 à 3 minutes et expliquer ce qu'il/elle avait compris. La figure 2 présente un exemple de poster. Pendant la préparation des posters, les tuteurs passaient de groupe en groupe afin de vérifier l'état d'avancement du projet, en essayant de faire passer le texte de l'Appel du 18 juin d'un PC à l'autre (et en dévoilant le "pot au roses"). La note donnée par les examinateurs (poster et démonstration) comptait pour le reste (60 %) de la note finale de l'APP.

3 Résultats

3.1 Notes

Les notes obtenues par les étudiants en 2009-2010 (arrondies à 0,5 près) ainsi que les grades ECTS associés sont résumés respectivement dans les tableaux 1 et 2. Il est à noter que le grade Fx (légèrement insuffisant) n'a pas été défini pour cet APP.

	Moyenne	Ecart type	Mini	Maxi
QCM	14,09	3,42	4	20
Présentation	14,93	1,29	12	17,5
TOTAL	14,77	1,64	10	18,5

TAB. 1. Notes de l'APP en 2009-2010

Grade	Bornes	Nombre	Pourcentage
A	17,5 - 20	10	5.4
B	16 - 17	41	22.2
C	14.5 - 15,5	69	37.3
D	13 - 14	45	24.3
E	10 - 12,5	20	10.8
F	0 - 9,5	0	sans objet

TAB. 2. Grades ECTS de l'APP in 2009-2010

En comparaison, la moyenne de l'unité d'enseignement "télécommunications" en 2008-2009 était de 10,34 alors que les notes extrêmes étaient de 4,8 et 19. Comme il a été mentionné au paragraphe 2.2, seulement 98 étudiants sur 179 (54,7 %) avaient obtenu une note supérieure à 10 dans la session initiale et avaient donc reçu les crédits correspondants sans examen de rattrapage. Avec l'introduction de l'APP, tous les étudiants ont reçu leurs crédits du premier coup.

3.2 Point de vue des enseignants

L'introduction de l'APP a été une occasion pour l'ensemble du Département Electronique et Sciences Physiques de prendre le temps de réfléchir sur les fondamentaux de la pédagogie : pré-requis d'un cours,

expression de ses objectifs, adéquation entre un cours et son évaluation, motivation des étudiants. De plus, ceci a contribué à la clarification du rôle des tuteurs. Sur les 9 enseignants-chercheurs impliqués, 3 avaient uniquement des connaissances de base en traitement du signal et en télécommunications, et 2 une connaissance sommaire de Matlab[®]. Néanmoins, tous les tuteurs ont pu encadrer leurs groupes avec succès et, somme toute à la surprise de l'équipe pédagogique, il y a finalement eu très peu d'écart entre les progressions des groupes en fonction des tuteurs. De plus, les enseignants spécialistes de Matlab[®] ont aidé leurs collègues à résoudre des problèmes liés spécifiquement à l'outil (par exemple la manipulation des matrices pour l'encodage et le décodage).

D'une manière générale, un léger manque de prérequis sur Matlab[®] a donc pu être observé chez les étudiants (et certains tuteurs!), ce qui avait parfois tendance à transformer le projet de télécommunications en un projet orienté langage, au détriment de la compréhension des concepts. La solution mise en œuvre pour l'année scolaire suivante consiste en l'introduction au semestre 5 d'un nouveau mini-projet spécifique Matlab[®] (20 heures), présentant tous les concepts requis pour l'APP au niveau du langage au travers d'une application plus modeste et plus encadrée, et remplaçant un certain nombre de travaux pratiques.

De plus, l'équipe pédagogique a pu ressentir une véritable motivation de la très grande majorité des étudiants pour cette activité; nous en voulons pour preuves :

- le taux d'absentéisme quasi-nul lors de l'ensemble des séances non tuteurées,
- la richesse des informations débattues et donc présentes sur les tableaux de tous les groupes,
- la grande qualité d'une majorité de posters par rapport au temps imparti pour leur préparation (et au fait qu'il s'agissait pour les étudiants de leur premier poster au format congrès).

En résumé, les résultats obtenus sont extrêmement positifs, et l'équipe pédagogique est convaincue que cette activité a permis aux étudiants d'acquérir un savoir (et un savoir-faire) solide et durable, beaucoup plus en tout cas que celui qui aurait pu être transmis au cours d'une activité "classique" de type cours/TD/TP.

3.3 Point de vue des étudiants

3.3.1 Difficultés techniques

Les questions les plus fréquemment posées, correspondant aux aspects les plus compliqués du projet du point de vue des étudiants, étaient :

- la différence entre codage source, codage canal et codage en bande de base,
- la manipulation du message en Matlab[®] et sa transformation en flot de bits (problème unique-

ment lié à l'outil),

- le choix du débit binaire en fonction de la fréquence d'échantillonnage des cartes son et de la réponse du canal,
- les problèmes de synchronisation dus aux légères différences de fréquence d'échantillonnage entre les deux PC,
- d'autres problèmes de synchronisation dus au comportement passe-haut des cartes son.

Néanmoins, certains de ces problèmes ont été résolus sans l'aide des tuteurs par les étudiants les plus brillants. En particulier, ces derniers ont découvert que l'introduction d'un motif de synchronisation (sans composante continue) dans l'entête d'une trame pouvait les aider à résoudre les difficultés de synchronisation.

Avant le cours de restructuration, chaque groupe devait préparer 2 questions écrites pour l'équipe pédagogique. Ce cours a été préparé et donné en fonction des problèmes mentionnés ci-dessus, et a duré 75 minutes (durée habituelle d'un cours à l'ESEO).

En ce qui concerne la modulation, presque tous les groupes ont réussi à implémenter l'OOK. Un groupe a commencé à développer une modulation sd'amplitude en quadrature (QAM) mais n'a pas pu terminer par manque de temps.

3.3.2 Opinions et retour d'expérience

Selon le modèle fourni par l'équipe FA²L, tous les étudiants se sont vu remettre, lors de la dernière séance de l'APP, une grille d'auto-évaluation (figure 3) comprenant une notation en 6 rubriques (à noter de 1 à 4). A cette grille s'ajoutaient quelques questions ouvertes : points ayant bien ou mal fonctionné pour le travail en groupe, améliorations possibles.

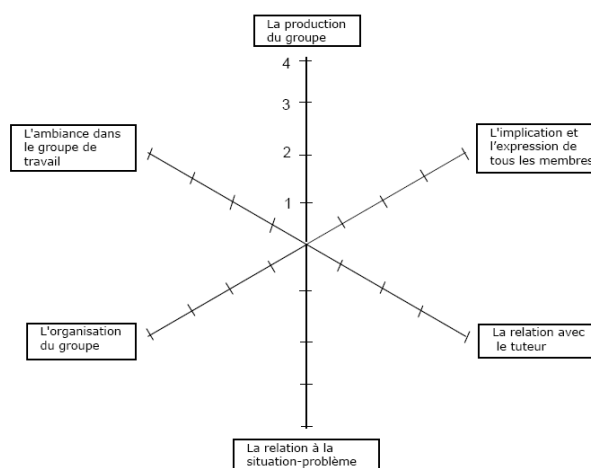


FIG. 3. Grille d'auto-évaluation (d'après FA²L)

Après compilation de l'ensemble des réponses fournies, il s'avère d'une manière générale que les étu-

dians sont relativement peu critiques sur l'APP lui-même (sujet, rôle des tuteurs), mais nettement plus sur leur propre organisation et, pour certains, sur l'ambiance au sein de l'équipe.

Parallèlement à cela, il est à remarquer que même les étudiants redoublants qui avaient obtenu leurs crédits l'année précédente ont quand même assisté à l'APP même si cela était pour eux facultatif. Ceci démontre l'intérêt de cette technique.

4 Conclusion

Au cours de l'année scolaire écoulée, le Département Electronique et Sciences Physiques de l'ESEO a pu développer et mettre en œuvre avec succès un Apprentissage par Projets consacré aux savoirs de base en télécommunications. Certes, la construction d'une telle activité exige l'adhésion de l'ensemble de l'équipe pédagogique ainsi qu'une somme de travail conséquente, mais les résultats obtenus au niveau de la compréhension et de la motivation des étudiants (et des notes!) sont tels que l'équipe pédagogique a unanimement décidé de reconduire cette activité pour l'année scolaire 2010-2011.

Dans l'avenir, les effectifs étudiants de l'ESEO augmentant sans cesse, il deviendra sans doute de plus en plus souhaitable d'enseigner selon cette méthode. Les autres départements d'enseignement de l'ESEO sont d'ailleurs en train de bâtir leurs propres APP.

Références

- [1] O. Bonaventure, J.M. Braibant, C. Pêcheur, B. Raucent, P. Sobieski, and P. van Bastelaer. Apprentissage par Projets : livret tuteur APP0. 2008.
- [2] Equipe Formation Apprentissage Actif (FA²L) de l'Université Catholique de Louvain. <http://www.fsa.ucl.ac.be/FA2/index.html>.
- [3] J.L. Azan. *Précis d'Electronique - Deuxième Année*. Bréal, 2005.