

L'APPRENTISSAGE PAR PROJET... VOUS AVEZ DIT PROJET ? NON, PAR PROJET !

Edurne Aguirre, Benoît Raucent
Université Catholique de Louvain

PÉDAGOGIE ACTIVE - APPRENTISSAGE - PROJET - PROBLÈME - OBJECTIFS -
INGÉNIEUR

Résumé

Le nouveau programme de la Faculté des sciences appliquées de l'UCL (Belgique) a été inauguré en septembre 2000. La formation des étudiants y est basée sur une approche mixte d'apprentissage par problèmes *et* par projets (projet Candis2000).

A l'instar de la dualité entre une séance d'exercices et un apprentissage par problème, cette pédagogie induit un nouveau type de projet en complément au projet de synthèse ou d'application. Ces projets, auxquels les étudiants consacrent un tiers de leur temps de travail, nécessitent de redéfinir la démarche d'apprentissage, les objectifs disciplinaires et méthodologiques associés, la coopération entre étudiants, les productions attendues, les outils et ressources disponibles ainsi que le dispositif d'évaluation.

L'objectif du présent article est de présenter et d'analyser ces nouveaux projets. Les similitudes et les différences par rapport aux projets "classiques" sont mises en évidence et étayées par des exemples dans le domaine de l'ingénierie. Les principales difficultés d'implémentation rencontrées seront exposées (ex : expériences préliminaires, liberté accordée aux étudiants, focalisation sur les objectifs disciplinaires, spécialisation des étudiants, évaluation du projet, formations des tuteurs) afin d'identifier clairement les objectifs associés à ce type d'apprentissage.

1 Introduction

En septembre 2000, la Faculté des sciences appliquées (FSA) de l'UCL a inauguré un nouveau programme de formation du premier cycle menant au diplôme d'ingénieur universitaire. Plus de 700 étudiants des deux premières années y sont impliqués.

La formation des étudiants y est basée sur une approche mixte d'**apprentissage par problèmes *et* par projets**, APP². Étudiants et enseignants sont désormais amenés à quitter une culture de transmission du savoir centrée sur l'enseignant et passer à une culture d'appropriation centrée sur l'étudiant [1].

Fort de notre expérience de plus de 25 ans en projets¹, un nouveau type de projet a été conçu, davantage intégré aux objectifs disciplinaires et méthodologiques des trimestres. Nous dénommerons ce nouveau projet "Pré-projet" ou "projet d'apprentissage" car induit un questionnement initial, par opposition au projet classique nommé "post-projet" ou "projet d'application" basé principalement sur la synthèse et l'application de connaissances déjà acquises.

1 Plus de 25 ans de projets tant dans le deuxième cycle (3ème à 5ème année d'étude, au travers notamment des travaux de fin d'études) que dans le premier (ex : les projets de la spécialité architecture, exercices intégrés, projets disciplinaires en mécanique, électricité, informatique).

Les projets "classiques" (ou post-projet d'application) sont utilisés comme méthode d'apprentissage à part entière dans de nombreuses disciplines. Les étudiants s'y forment à l'interdisciplinarité, aux principes de la conception et la gestion d'activités à long terme. En architecture, la formation au projet est considérée comme *"un minimum que l'on puisse attendre d'une école ou d'une faculté d'architecture digne de ce nom"* [2]. Dans les disciplines de l'ingénierie, le projet en mécanique, par exemple, est une pratique pédagogique reconnue efficace [3,4]. Dans son étude sur la capacité à résoudre des problèmes en conception mécanique Eisentraut [5] conclut que *"The major suggestion is to establish an environment of "situated learning" confronting students with complex and realistic design problems not only with task that can be processed in algorithmic way."* Ces projets classiques sont fortement orientés par la volonté d'aboutir à un résultat de type « professionnel » et d'appliquer des connaissances acquises préalablement, ce pourquoi nous les dénommerons *POST-projet d'application*.

Cependant, limiter les objectifs d'un projet à la seule application de connaissances acquises préalablement est très réducteur. R. Talbot [6] précise que *"le projet est un outil pédagogique obligeant l'étudiant à se confronter avec la réalité de la discipline étudiée, et ce dans la mesure où la planification, l'organisation, l'exécution, le contrôle, le feed-back et le suivi ont été préalablement pensés et réfléchis par l'enseignant en fonction de son enseignement et des objectifs poursuivis par les étudiants à fois dans les domaines du savoir, du savoir-faire et du savoir-être rattachés à la discipline enseignée"*.

Dans sa citation JF Mabardi [2] va plus loin : *« Nous sommes face au paradoxe qui voudrait que, d'un côté, cet enseignement poursuive une formation au projet qui, si elle est nécessaire, ne semble pas suffisante et que, de l'autre, cet enseignement aurait la capacité de développer des qualités particulières que d'autres sont incapables de développer »*.

Les citations de JF Mabardi et R. Talbot font ressortir la distinction entre deux objectifs :

- la formation au projet avec un caractère essentiellement disciplinaire, professionnel ou opérationnel,
- et la formation par le projet qui vise une capacité à s'adapter à la diversité des situations professionnelles et intellectuelles (le projet est un prétexte pour apprendre).

Nous souhaitons aller plus loin dans cette distinction en développant, dans un contexte d'enseignement supérieur, la notion *d'acquisition par le projet de connaissances et de compétences disciplinaires et méthodologiques* qui dépassent seule la finalité professionnelle. Ce projet orienté vers l'acquisition est dénommé "pré-projet" ou "projet d'apprentissage" car il met l'étudiant dans une situation de "besoin d'apprendre".

L'objectif de cet article est de préciser ce qu'est un pré-projet, quelles sont ses spécificités et les points communs avec un post-projet, quelles sont les difficultés de mise en œuvre et les dispositifs pour y faire face. Dans la section 2, nous présentons deux projets de conception, un post et un pré-projet. Ces deux exemples étayeront la section 3 portant sur les aspects communs aux deux projets, et la section 4 portant sur leurs différences. La section 5 portera sur les difficultés de mise en œuvre.

2 Les axes communs des pré- et post- projets : les invariants

2.1 Exemples de projets de conception

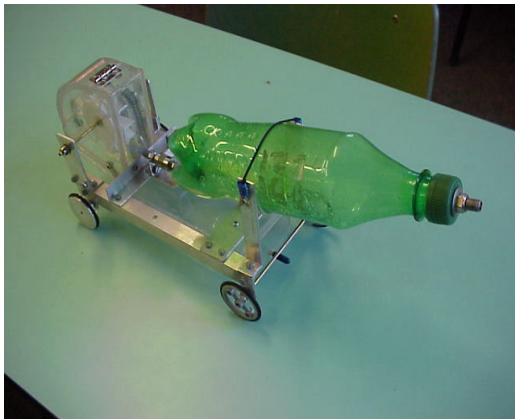
Avant de différencier post et pré-projet, reprenons deux exemples de projets d'ingénierie afin d'illustrer ce que tout projet de conception comprend.

La figure 1 (post-projet A) présente un prototype d'engin mobile construit par les étudiants de deuxième année dans le cadre de l'ancien programme.

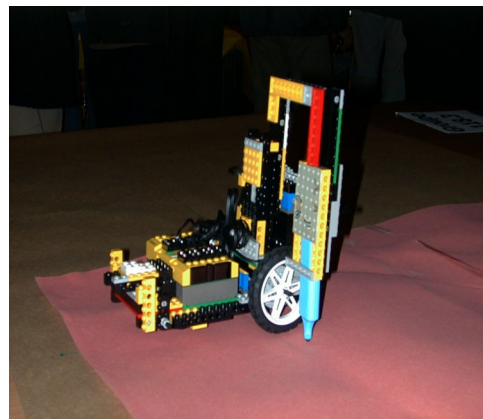
L'objectif était « de concevoir et réaliser un véhicule miniature à partir d'un ensemble d'éléments standards. Ce véhicule doit être capable de parcourir, sur un circuit donné, une distance préalable-ment estimée et cela en utilisant uniquement une source d'énergie mécanique (gravité, volant d'inertie, ressort) ». Ce projet se focalisait sur la créativité (conception d'un véhicule), la modélisation et la simulation (calcul de la distance à parcourir), voir [7,8]. Sur le prototype de la figure 1.A la propulsion est assurée par l'air mis sous pression dans une bouteille en plastique et injecté sur une roue à ailettes.

La figure 1 (pré-projet B) présente un *prototype* d'engin mobile LEGO® réalisé par des étudiants de première année dans le cadre du premier projet du nouveau programme.

L'énoncé de ce projet est de « concevoir et tester un véhicule autonome capable de dessiner les lignes de jeux sur un terrain de sport ». Sur le prototype l'équipement de peinture est modélisé par un marqueur. Un processeur embarqué commande le mouvement vertical du marqueur et la rotation des roues.



A. Post-projet



B. Pré-projet

Figure 1: Exemples de réalisation en post-et pré-projet

Le tableau 1 présente les étapes de conception de ces deux projets. Ils présentent des similitudes en terme de production et d'étapes de conception. Les différences seront explicitées ultérieurement.

Étapes	Post - Projet A	Pré- Projet B
<i>Clarification du problème</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Les étudiants expriment dans leurs propres mots les objectifs attendus : l'indicateur de performances, les contraintes imposées etc... - Indice de production : un cahier des charges définitif. 	<p>Les étudiants expriment dans leurs propres mots les objectifs attendus: indicateur de performances, contraintes imposées etc. (ex: terrains, lignes) Indice de production : un cahier des charges progressif.</p>
<i>Avant-projet</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Choix justifié de la technique de stockage de l'énergie, dessin du véhicule et réalisation des esquisses. - Indice de production : une maquette d'étude à l'échelle 1/1. 	<p>Choix justifié de la structure de l'engin, dessins et réalisation des esquisses. Indice de production : une maquette d'étude à l'échelle 1/5.</p>
<i>Modélisation</i>	<ul style="list-style-type: none"> - ECRITURE DU MODELE DYNAMIQUE DU ROBOT ET EVALUATION EXPERIMENTALE DE CERTAINS PARAMETRES (ex : COEFFICIENT DE FROTTEMENT, TAUX DE RESSORT) - INDICE DE PRODUCTION : LES EQUATIONS CINEMATQUES ET DYNAMIQUE DE L'ENGIN 	<p>ECRITURE DU MODELE CINEMATIQUE PERMETTANT DE CONNAITRE LES DEPLACEMENTS DE L'ENGIN. INDICE DE PRODUCTION : LES EQUATIONS CINEMATQUES DE L'ENGIN</p>
<i>Simulation</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Évaluation des performances du véhicule. 	<ul style="list-style-type: none"> - Validation du modèle cinématique.
<i>Réalisation d'un prototype</i>	<p>réalisés par les étudiants.</p> <p>modélisation</p>	<p>à partir de composants LEGO.</p> <p>modélisation</p>
<i>Clôture</i>	<p>parcourue.</p>	<p>prototype LEGO.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Présentation devant un jury.

Tableau 1. Étapes de conception présentes dans les post et pré- projets

2.2 Les invariants des projets

Plus globalement, diverses caractéristiques communes, inhérentes à tout projet et dénommées "invariants", peuvent être mises en évidence. Ces caractéristiques sont explicitées dans le tableau 2 reprenant divers moyens invariants que l'on retrouve, à des degrés divers, dans chaque projet. Ainsi,

1. le projet s'inscrit dans une *démarche professionnelle et méthodologique*. Les étudiants y sont motivés par son ouverture à la créativité et à l'autonomie.
2. le projet s'inscrit dans un contexte *disciplinaire*. Les étudiants y *intègrent* les acquis de différentes disciplines et *développent* de nouvelles compétences.
3. le projet suscite un *travail collaboratif*. Les étudiants apprennent à gérer le travail en groupe et un planning. Ils développent des compétences en communication,
4. le projet génère une *production de résultats* identifiables et évaluables,
5. le projet mobilise des *ressources humaines et matérielles* pour aider les étudiants dans leur démarche.
6. le projet est *évalué* dans sa démarche et ses résultats.

Néanmoins, malgré l'importance de ces similitudes, post et pré- projets sont très différents ! Pour le percevoir, il faut aborder la coordination de l'ensemble des activités du trimestre et clarifier pour chaque étape les objectifs réellement poursuivis.

Démarche	<i>Énoncé motivant et attractif</i>	L'énoncé du projet met les étudiants devant un challenge à résoudre. La thématique est concrète et proche du vécu étudiant.
	<i>Ouverture Autonomie</i>	Les étudiants sont libres des orientations principales de leur projet mais doivent les justifier (ex : plan d'expérience, technique, théorique).
	<i>Démarche professionnelle de conception</i>	Les diverses étapes d'un projet de conception sont suivies : - clarification du problème (besoins, contraintes, performances) - étude conceptuelle menant à un avant-projet, - modélisation, simulation, réalisation d'un prototype, validation ² , - rapport et présentation.
	<i>Démarche méthodologique</i>	Le projet est inscrit dans la durée et se base sur un questionnement, une démarche de recherche (ex: création, innovation, anticipation), des essais-erreurs, des amendements, ...
Disciplinaire	<i>Intégration</i>	Des concepts issus de différentes disciplines sont intégrées au projet (ex: mathématique, physique informatique)
	<i>Acquisition de connaissances</i>	Des connaissances antérieures sont appliquées et intégrées. De nouveaux savoirs et savoirs-faire sont acquis. De nouvelles compétences et attitudes sont développées.
Coopération	<i>Gestion de groupe</i>	Les groupes sont composés d'un nombre restreint d'étudiants (ex huit) afin de bénéficier de la synergie du travail collaboratif.
	<i>Gestion du temps</i>	Les étudiants sont amenés à identifier les activités à réaliser ³ , à estimer le temps requis et à respecter les échéances imposées. Ce respect nécessite parfois une répartition des tâches entre étudiants.
	<i>Communication</i>	Tant les aspects de communications orales, écrites, graphiques sont développés.
	<i>Réflexion Méta</i>	Les étudiants confrontent différents styles d'apprentissage, ils apprennent à mieux se connaître, à cerner leurs besoins, leurs limites et leur manière de fonctionner en groupe
Production	<i>Reconnaissances</i>	Le rôle du contexte et de l'expérience concrète est primordiale pour construire le projet et motiver les étudiants. La conception est validée à l'aide d'un "produit" au sens large (ex: maquette, programme informatique, rapport) qui entérine le travail réalisé.
Ressources	<i>Encadrement</i>	Un ou plusieurs enseignants supervisent le travail du groupe, gèrent les aspects disciplinaires et méthodologiques, oriente le groupe vers des experts, l'aide dans des aspects logistiques, ...
	<i>Ressources</i>	Les ressources bibliographiques, informatiques, d'expertise abordent des aspects disciplinaires, transversaux, méthodologiques,...
Évaluation	<i>Objectifs</i>	L'évaluation porte sur la solution, la démarche, la communication des résultats, les acquis engrangés, individuellement ou en groupe. Ce travail est évalué en fonction des objectifs d'apprentissage en cours de projet et en fin.

Tableau 2 : Les invariants des projets

² Outre la conception de l'engin, les étudiants sont invités à modéliser le fonctionnement (cinématique ou dynamique) de leur engin et à en simuler les performances qui seront validées sur le prototype.

³ Ex: maquette, modélisation, simulation, réalisation, programmation, validation, rapport,...

3 Les spécificités des projets d'application (post) et d'apprentissage (pré) :

3.1 Le projet d'application ou post-projet

De nombreuses institutions affichent une volonté d'introduire des activités de type problèmes et projets dans leur curriculum d'ingénieur. Néanmoins, elles les concentrent principalement durant les dernières années, les premières étant consacrées à l'acquisition des sciences de base telles les mathématiques et la physique.

Depuis quelques années cependant, un certain nombre de facultés ont introduit des projets en début de curriculum. Les connaissances acquises lors de cours magistraux sont rapidement appliquées lors de mises en situation. C'est le cas du post-projet A de notre ancien programme. On peut également citer les innovations introduites par K. Wallace [9] au niveau de la deuxième année du programme du Master of Engineering de Cambridge. Pour l'auteur, cette activité de projet se caractérise par: "1) a considerable amount of "learning by doing", 2) a clear and consistent model of design process, 3) a conscious effort to apply and integrate the fundamentals taught in other subjects".

Les objectifs d'un post-projet sont principalement :

1. *L'application a posteriori de concepts*, de connaissances et compétences acquises lors d'enseignements théoriques antérieurs d'où son appellation « post-projet ». La figure 2-A illustre les différents séquençements des acquis d'un concept physique entre le cours et le projet
2. *L'intégration de ces acquis* dans un contexte mono ou multi-disciplinaire.
3. *L'acquisition de compétences méthodologiques* au moyen d'une mise en situation réelle (ex gérer un planning d'activité, exploiter des ressources, organiser le travail en équipe, communiquer des informations, faire preuve d'autonomie et d'initiative, ...)
4. *L'initiation aux exigences professionnelles* avec en corollaire l'importance accordée au réalisme de la situation et de la production finale (ex: appréhender un vrai problème concret, complexe et multidisciplinaire, concrétiser et valider le résultat).

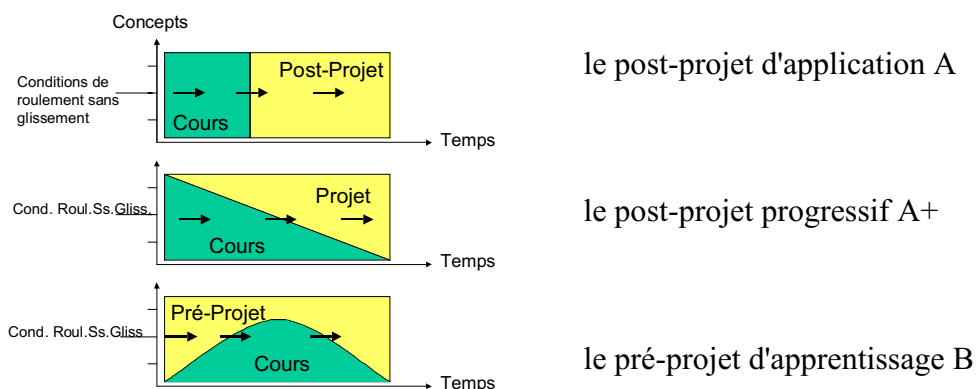


Figure 2 : L'acquisition de concepts dans le cadre d'un projet

Lorsque l'apprentissage d'une méthodologie de travail spécifique à finalité professionnelle est également un objectif, il s'agit explicitement de l'apprentissage *au* projet (ex: poser le problème à partir d'un besoin exprimé ou d'une idée, résoudre ce problème en utilisant un processus structuré).

Le projet A (Figure 1) est un post-projet. Il a lieu après les enseignements de base et a pour objectif d'appliquer les compétences acquises antérieurement. Le projet vise également l'acquisition de compétences méthodologiques et place les étudiants en face d'un vrai problème avec des échéances, des contraintes de travail en groupe, etc...Le projet constitue une première initiation à la méthodologie de la conception en génie mécanique (finalité professionnelle) bien que cet aspect ne pas soit primordial (projet à option suivi par 50 étudiants sur 300).

Ce projet est *autonome*. Il a peu de rapport avec les autres activités du trimestre. Les compétences en informatique et en mathématique sont des objectifs de première année et ont été acquises avant le début du projet, cas de la figure 2-A.

Par contre, certaines notions de physique (ex: la dynamique) sont vues durant le même trimestre et sont directement appliquées dans le projet. Le transfert s'effectue du cours (obligatoire) vers le projet (à option) et jamais dans le sens inverse (voir Figure 2 : le Post- projet progressif A+).

3.2 Le projet d'apprentissage ou Pre-projet

Dans l'approche par pré-projet, des caractéristiques propres à la pédagogie d'appropriation sont introduites. Nous n'en reprenons ici que quatre, révélatrices des différences entre post et pré-projet : le changement conceptuel de la construction du savoir, la réflexion sur l'apprentissage (le caractère méta); le caractère individuel de l'apprentissage; et les compétences de haut niveau à exercer.

L'objectif du post-projet "d'application a posteriori dans une situation nouvelle" n'est plus de mise dans un pré-projet. Le projet se veut un des moteurs de l'apprentissage des connaissances de base. Les étudiants se mettent en projet *avant* que les connaissances requises ne soient abordées en APP (apprentissage par problème) ou aux cours, c'est pourquoi nous parlons de pré-projet (figure 2B).

La figure 3 illustre cette nouvelle synchronisation des activités. Durant diverses phases d'analyse du pré-projet (ex: mécanique, informatique), les étudiants contextualisent des notions qui leur font défaut (i.e. Ils apprennent à se poser de bonnes questions). Ces notions ou concepts sont ensuite développés dans le cadre d'activités disciplinaires (ex: problèmes ou cours) pour être ensuite recontextualisés et appliqués dans le cadre du projet afin de progresser dans la résolution.

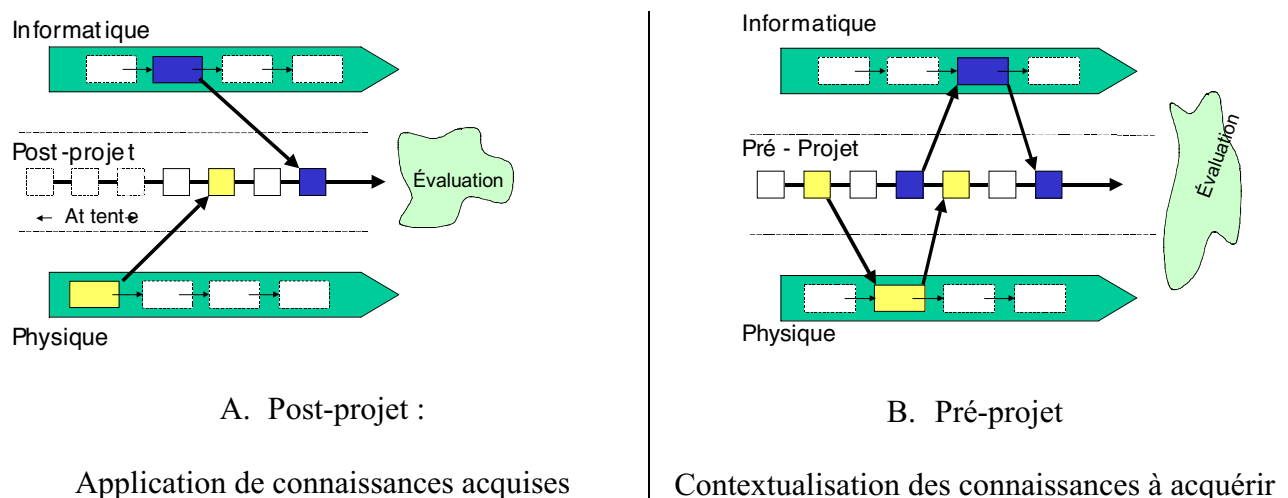


Figure 3 : La synchronisation des notions disciplinaires

L'université de Aalborg et le Copenhagen Engineering College sont des pionniers dans ce type de projet et basent tout leur curriculum sur l'apprentissage par projet [10,11,12].

Cet objectif modifie profondément la thématique du projet. En effet, toutes les activités du trimestre doivent être organisées pour atteindre un double objectif, à savoir :

- Le groupe doit produire une *solution* technique ou scientifique à un problème posé en adoptant une *démarche* de résolution et en la *validant* par une *production*.
- Chaque étudiant doit acquérir *individuellement de nouvelles connaissances et compétences disciplinaires et méthodologiques*. Ces éléments à acquérir sont imposés par le programme.

Le "produit" final n'est plus seulement le résultat mais la validation des concepts et la vérification que chaque étudiant du groupe a atteint les objectifs assignés par les différentes disciplines associées au projet.

3.3 Quelques comparaisons

Ces différences en termes d'objectifs se répercutent à différents niveaux (figure 4) :

- **L'énoncé du pré-projet** met les étudiants dans la situation "d'apprenti" se formant à leur futur métier d'ingénieur (et non plus de stagiaire ayant les connaissances requises). Ils doivent proposer une solution à un problème et la valider (comme pour un post-projet), mais pour ce faire, ils doivent encore acquérir de nouvelles compétences disciplinaires et méthodologiques.

Dans le post-projet, peu de nouvelles connaissances disciplinaires sont requises.

- **L'intégration du pré-projet** avec les autres activités du trimestre est totale et nécessite un important travail de préparation et de synchronisation en équipe de trimestre, contrairement au post-projet qui peut être autonome.

La Figure 3 illustre les différences d'intégration entre un post et un pré-projet. Dans le post-projet, les étudiants appliquent des connaissances acquises antérieurement ou lors du même trimestre, alors que dans un pré-projet, les concepts sont initiés dans le cadre du projet, développés dans les disciplines et réintégré au projet.

L'avant projet B conduit à proposer une structure du véhicule et à la représenter par une maquette d'étude. Pour commander ce véhicule, le modèle cinématique de la structure doit être établi mais les étudiants sont incapables de le faire à ce stade. Néanmoins, sur base de leur acquis, ils débutent un questionnement qui étayera l'activité APP (apprentissage par problème) organisée par les physiciens sur ce thème. Une fois acquise les notions de base les étudiants reviennent au projet en réalisant le modèle de leur structure.

- L'acquisition de **compétences et de connaissances** dans le cadre du **pré-projet** sont déterminées en concertation avec les différentes équipes disciplinaires. Les concepteurs du projet et les tuteurs doivent pour cela veiller à recentrer le questionnement des étudiants vers ces compétences et éviter que les étudiants n'aillent "trop loin". Cet ajustement et cette régulation interdisciplinaire nécessitent une étroite coordination des enseignants.
- Tous les étudiants du **groupe** doivent acquérir ces objectifs disciplinaires. Cela nécessite de leur part un équilibre entre leur apprentissage individuel et le travail en groupe. Toute répartition des tâches, toute spécialisation, doit être réfléchi (et sera de toute façon contrée). La **mise en commun** des tâches effectuées individuellement joue un rôle d'auto-évaluation entre étudiants.

Par contre, dans le post-projet, les compétences à acquérir sont fortement liées au thème du projet et peuvent être spécifiques à chaque groupe en fonction des orientations prises. Une répartition du travail entre étudiants est réalisée par domaines d'activités ou suivant leurs affinités. Elle est autorisée (voire incitée) car elle améliore l'efficacité du groupe dans la recherche de la solution.

- **Le cheminement** du pré-projet introduit chez l'étudiant des moments de **réflexion** sur son propre apprentissage, qu'il soit disciplinaire ou relatif à sa méthode de travail. Le groupe a des occasions pour analyser ses acquis ou ses besoins de formation, proposer une stratégie d'acquisition et intégrer les acquis individuels.

Durant l'avant projet les étudiants ont principalement travaillé sur base de leur intuition. Au cours d'un **jury d'orientation** ils présentent leurs résultats et discutent des orientations à prendre pour continuer : que faut-il développer, quelles notions acquérir pour commander le robot, ...?

De même, des outils méthodologiques sur l'organisation du groupe leur sont fournis afin de les aider dans leur questionnement (ex : positionnement, planning,...)

- **L'évaluation** est un réel moteur pour l'apprentissage car les étudiants ont tendance à travailler pour réussir. Dans le pré-projet, elle comporte, outre une composante basée sur les **résultats** obtenus (qualité de la solution, démarche utilisée lors de la conception, rapport, présentation orale devant un jury), une **évaluation spécifique à la gestion du groupe et à l'acquisition de connaissances** et de compétences disciplinaires pour chaque étudiant.
- **L'encadrement** d'un pré-projet comprend des aspects similaires à celui d'un post-projet (ex: aide logistique aux étudiants) mais joue un rôle majeur dans l'apprentissage. Il ne s'agit plus de répondre à une question mais d'aider l'étudiant à acquérir de nouvelles compétences. Dans cette optique, la réponse directe à une question peut stopper le processus de recherche personnelle. Il est évidemment plus facile pour l'étudiant d'obtenir une réponse directement du tuteur que de devoir la chercher, mais est-ce plus efficace en terme d'apprentissage ? Le tuteur est incité à se positionner "en miroir" renvoyant au groupe son propre questionnement. Ajoutons à cela que le tuteur ne peut pas être compétent dans toutes les disciplines relatives au projet, il doit donc disposer lui-même d'un encadrement spécifique en terme de formation et d'outils méthodologiques et disciplinaires. Les compétences du tuteur sont analysées dans la section 5.

La classification en post- et pré- projets suivant les objectifs poursuivis n'est en pratique pas aussi rigide. Tout projet aura comme objectif l'application de certaines connaissances ou pratiques acquises antérieurement et l'acquisition de nouvelles connaissances. Il importe à nos yeux non pas de porter un jugement sur l'un ou l'autre projet, mais de conscientiser les responsables sur l'identification des objectifs à atteindre et donc les caractéristiques à donner au projet.

Dans cet esprit, le tableau de synthèse de la Figure 4 illustre les divers objectifs poursuivis.

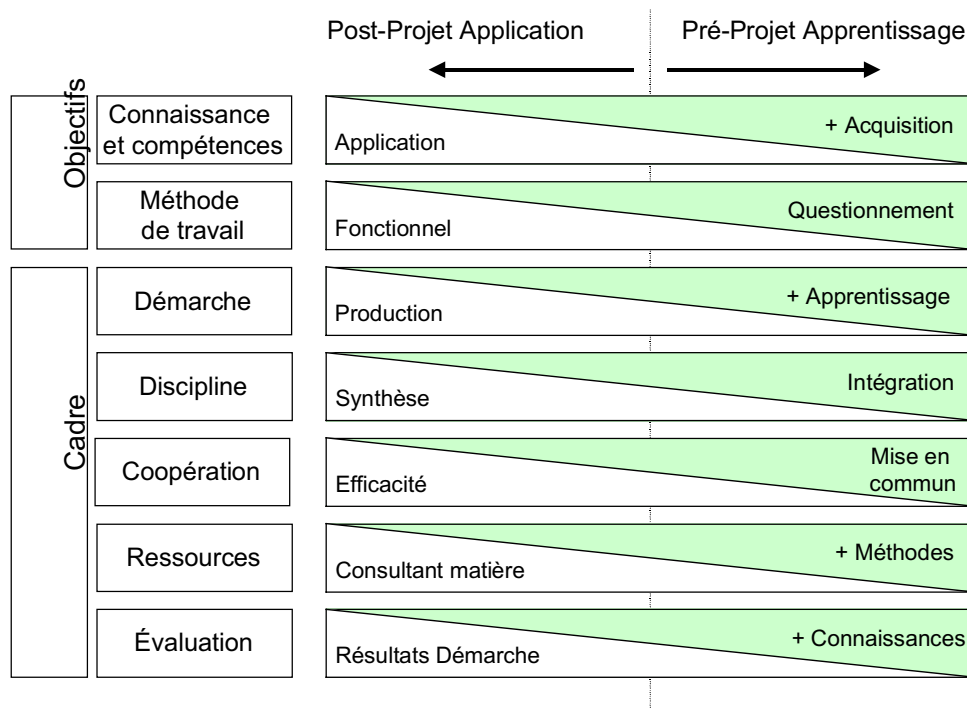


Figure 4. Objectifs et caractéristiques des post et pré- projet

4 Difficultés d'implantation d'un pré-projet

Comme l'a introduit la comparaison de la section 4, la conception d'un pré-projet nécessite une grande collaboration entre tous les responsables des activités du trimestre. En effet, au-delà de la détermination des pré-requis et des besoins spécifiques du projet, les concepteurs doivent déterminer "quels objectifs disciplinaires seront introduits et abordés dans le cadre du projet", "comment acquérir ces nouvelles compétences et connaissances " et "comment coordonner, encadrer et évaluer les différentes activités".

4.1 Expériences préliminaires d'intégration

Le premier pré-projet fut conçu sur base d'une longue expérience dans l'enseignement par projet et de diverses expériences préliminaires nous permettant d'affiner les objectifs spécifiques au pré-projet.

Expérience 1:

Durant plus de 7 ans, un projet de conception [8] fut proposé aux étudiants de première année portant sur la conception et la réalisation de produit⁴. Les étapes de clarification du problème (rédaction du cahier des charges sur base d'un énoncé très ouvert), de réalisation d'un avant-projet et d'une maquette ont été reprises dans notre pré-projet B.

L'année précédant le nouveau curriculum, ce projet de conception fut davantage intégré avec le cours de physique [15] et une étape de modélisation des engins fut rajoutée. Cependant, l'énoncé était trop ouvert (concevoir un engin de foire) et les engins choisis trop complexes (ex: tornado) que pour être modélisés cinématiquement. L'enseignement principal de cette expérience fut de limiter les objectifs à atteindre en fonction des réelles compétences des étudiants.

⁴ exemple: cadrans solaires, cerf-volant, engins électriques ludiques.

Expérience 2:

Trois ans avant le nouveau programme, un projet de conception de robots mobiles⁵ capables de se déplacer dans un labyrinthe fut proposés (figure 4). Les étudiants devaient concevoir et réaliser la structure mécanique du robot, la commande et l'algorithme [13]. Seuls les moteurs étaient imposés afin de pouvoir simplifier l'électronique de commande fournie.

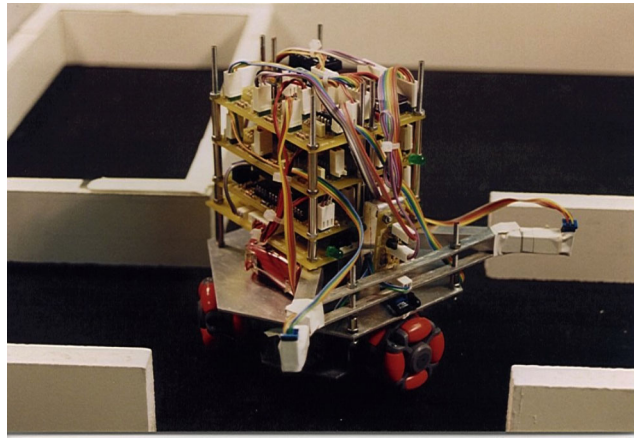


Figure 4. Projet « labyrinthe »

Les enseignements tirés de cette expérience étaient :

- le libre choix des composants nécessite trop de travail pour réaliser les pièces (la fabrication n'est pas un objectif du projet)
- réaliser une électronique maison est extrêmement lourd à mettre en œuvre
- le projet était trop ambitieux et poussait les étudiants à se focaliser sur le résultat et à se spécialiser dans des disciplines particulières.

Ces deux expériences nous ont conduit aux conclusions suivantes :

- Le projet doit être suffisamment ouvert pour créer une motivation interne mais également être bien circonscrit afin d'assurer une bonne intégration des acquis.
- Le projet ne doit pas se focaliser sur le résultat ou son réalisme (authenticité), mais bien sur l'acquisition des connaissances. La réalisation du prototype expérimental doit être vue comme une simple validation de la solution avancée
- Le projet doit être organisé de manière à éviter la sur-spécialisation des étudiants dans une discipline particulière.

A ces trois conclusions, se rajoutent des recommandations logistiques :

- Utilisation d'un dispositif modulaire (ex : de type Meccano, Fishertechnics ou LEGO) avec une électronique et une commande intégrée. Ce dispositif doit être programmable dans un langage informatique de haut niveau (JAVA par exemple)

Ces exemples illustrent l'importance de la réalisation d'expériences pluridisciplinaires préalables, afin d'intégrer progressivement contenu, objectifs et méthodes.

⁵ Ce projet est directement issu de la compétition MicroMouse proposé par l'IEEE

4.2 Degré de liberté accordé aux étudiants

La première difficulté à résoudre est de préciser le degré de liberté accordé aux étudiants; distinction applicable aux post et pré-projet sans distinction.

H. Nielsen [11] établit la distinction entre trois types de projet :

- *Projet fermé* : Les étudiants doivent réaliser une succession de tâches déterminées à l'avance par les enseignants. Ces derniers connaissent la solution ainsi que la méthode pour y arriver. Ce type de projet permet donc un contrôle facile de la réalisation des tâches.
- *Projet semi-fermé* : La solution et la méthode sont partiellement connues. Les étudiants possèdent une certaine liberté de "creuser" plus en profondeur un aspect particulier du projet.
- *Projet Ouvert* : Les étudiants se voient confier une liberté totale, leur première tâche est de clarifier les objectifs et la méthode de travail permettant de les atteindre. Les enseignants ne connaissent pas la solution ni la méthode avec exactitude, leur expérience leur permet d'encadrer le questionnement des étudiants (ex: travaux de fin d'étude).

Un projet "ouvert" permet de donner beaucoup de liberté aux étudiants, ce qui augmente leur motivation et permet de développer plus facilement les **aptitudes** méthodologiques tel que l'autonomie, la prise de risque, etc. Les objectifs de type disciplinaire n'y sont pas imposés à priori, c'est la nature du projet et le choix des étudiants qui définira les connaissances nouvelles qui seront acquises durant l'exécution du projet.

Un projet " fermé" est lui, plus facile à concevoir et permet facilement de **contrôler les étapes** visant à l'acquisition de connaissances. La construction d'un projet fermé peut se limiter à la définition d'un fil conducteur sur lequel viennent se raccrocher des activités spécifiques. Chaque activité est conçue séparément et vise à l'acquisition de compétences particulières.

Venant d'une culture de transmission du savoir dans l'enseignement secondaire, il est très difficile d'imaginer un projet ouvert durant les premières années du curriculum. Ce pourquoi, nous avons opté pour une association de problèmes et de projets. Les projets semi-fermés permettent le développement des compétences interdisciplinaires et méthodologiques à long terme alors que les problèmes permettent de se focaliser sur des apprentissages bien spécifiques durant une période courte (typiquement une ou deux semaines).

Le projet B (voir figure 3-B) est conçu directement sous la forme d'un projet relativement ouvert (les étudiants établissent eux même le cahier des charges de ce qu'ils vont concevoir), mais avec des activités plus « fermées » qui permettent d'assurer un apprentissage en profondeur **pour tous les étudiants**. Le choix du projet est ainsi étroitement lié à toute l'organisation du trimestre et à la définition **de points de passage obligés**.

4.3 Du cours au projet ... et du projet au cours

La seconde difficulté est de ne pas se focaliser sur le réalisme du résultat mais bien sur les objectifs disciplinaires à acquérir. Afin d'illustrer cette dualité, reprenons le cheminement de la conception de notre premier pré-projet.

Le pré-projet B étant un projet de conception, un groupe de concepteurs expérimentés⁶ [14] a pris en charge sa préparation. Le déroulement chronologique de la préparation fut le suivant :

1. *Choix du sujet* : L'équipe du trimestre propose de concevoir un robot mobile en utilisant le système modulaire LEGO Mindstorms⁷. Le projet comporte des composantes disciplinaires de physique (ex: modélisation cinématique), informatique (ex: commande de trajectoire) et mathématique (ex: raccordement de trajectoire)
2. *Expérience préliminaire* : Une expérience préliminaire est réalisée afin de vérifier la faisabilité technique du projet et préciser le cadre de l'énoncé. Les premiers essais avec un robot LEGO sans capteur sont cependant très décevants !
3. *Proposition alternative des concepteurs* : Pour pallier les imprécisions expérimentales et rendre le projet plus réaliste, plus performant et plus motivant, les concepteurs proposent de rajouter des capteurs extérieurs et d'utiliser une commande plus sophistiquée.
4. *Retour aux objectifs de départ* : La proposition des concepteurs repose la question des objectifs du projet et du trimestre : l'accepter revient à (sur-)spécialiser les objectifs annoncés et à consacrer moins de temps à l'apprentissage des concepts de base. Après discussion l'équipe de trimestre décide de rejeter cette proposition afin de consacrer le projet à l'apprentissage des notions de base en cinématique et informatique.

Les arguments sont :

- Le résultat n'est que secondaire, l'apprentissage prime. Il faut éviter tout nouvel objectif aussi intéressant soit-il qui détourne les étudiants de leurs objectifs d'apprentissage dans les disciplines de base et risque d'accroître la tendance à la spécialisation des étudiants au sein du groupe.
- Ce projet proposé en début de première année a un objectif méthodologique particulier : l'initiation à l'apprentissage par projet. Il est donc particulièrement mal venu d'ajouter des objectifs disciplinaires supplémentaires.
- Les imprécisions du prototype seront utilisées dans un esprit formatif. Il sera demandé aux étudiants de faire une analyse critique des performances de leur robot.
- Cette étude critique devrait atténuer le sentiment de « frustration » des étudiants devant un robot moins performant que prévu. Cet argument a été confirmé par la suite.

Cet exemple montre la difficulté de construire un pré-projet et toute l'importance du travail en équipe. La préparation du projet et des activités associées ne peut pas se faire de manière isolée. La tendance naturelle de tout spécialiste est de parvenir à un résultat de qualité, réaliste et motivant. Il a donc tendance, souvent inconsciemment, à privilégier le résultat plutôt que le processus d'apprentissage. Cela nous rappelle le difficile équilibre entre le partage de l'expérience et l'apprentissage de compétences [8].

⁶ Expérience en conception de système mécatronique - tant au niveau recherche (conception de robot mobile omnidirectionnel, de robot circulant dans des tuyaux, de robot d'aide à la chirurgie) - qu'au niveau pédagogique (projet de conception de robot mobile pour les étudiants de 4^{ème} année en mécatronique)

⁷ Les avantages de Lego Mindstorms sont de disposer de composants mécaniques de tout type, brique (RCX) avec un micro processeur embarqué et une communication de type infra-rouge avec un PC. Seul point sombre : la précision du mouvement engendré et la rigidité du montage. Les pièces LEGO seront-elles assez rigides et le processeur sera-t-il assez précis ?

L'intégration du projet et des disciplines ne doit pas se faire à sens unique, mais doit se construire dans la concertation avec un rappel constant aux objectifs du trimestre. Nous devons appliquer à nous-mêmes ce que nous demandons aux étudiants en terme de collaboration et de maintien des objectifs !

La concertation de tous les enseignants du trimestre va jusqu'à une véritable collaboration dans laquelle chacun accepte de jouer le jeu et de construire les activités de sa discipline en fonction des objectifs du trimestre.

Ce travail de préparation n'est donc pas purement linéaire : définition des objectifs du projet et ensuite recherche de liens avec les disciplines. Au départ, seuls sont connus les objectifs du trimestre le travail de préparation consiste à déterminer les objectifs qui seront abordés 1) dans le projet seul, 2) dans le projet et dans les disciplines, 3) dans les disciplines seules. La répartition se base sur des expériences préliminaires de projets et d'intégration projet/cours.

L'analyse des objectifs du projet B a permis de mettre en évidence trois liens fondamentaux entre le projet et les disciplines :

- Le modèle cinématique indispensable pour commander le robot
- La programmation du micro-processeur embarqué
- La dynamique qui permet de dimensionner les moteurs, les réducteurs, etc...

Ces trois liens constituent les points de passages obligés du projet et vont être traités comme présenté à la Figure 2.c : contextualisation dans le cadre du projet, acquisition de connaissance et compétence via des APP disciplinaires et application dans le cadre du projet.

4.4 Comment éviter la sur-spécialisation des étudiants ?

Dans un souci d'efficacité évident au sein de leur groupe, les étudiants ont tendance à se spécialiser. Celle-ci étant naturelle, elle doit être régulée, voire contrée, afin de soutenir un apprentissage individuel efficace couvrant l'ensemble des objectifs.

Pour éviter les travers d'une éventuelle sur-spécialisation, nous recommandons :

- de ne pas favoriser cette spécialisation dans le chef des enseignants ! Il s'agit de pondérer la charge de travail et le niveau d'objectifs à atteindre aux réelles capacités des étudiants.
- de prévoir explicitement à l'agenda des périodes de travail de groupe, de travail individuel et de mise en commun.
- de gérer les échéances des diverses activités (ex : production, évaluation, rapport,...) et les équilibrer en terme de charge de travail, afin ne pas créer de conflit horaire ou de surcharge permanente.
- d'inciter le tuteur à être le garant de cette mise en commun en questionnant chaque étudiant sur son niveau de compréhension.
- de prévoir une évaluation en conséquence.

L'idée principale est à nouveau de coordonner l'ensemble des activités du programme pour permettre à l'étudiant d'atteindre un niveau d'autonomie suffisant pour savoir gérer son apprentissage individuel et le travail en groupe. L'atteinte de l'efficacité du groupe ne porte pas seulement sur la production ou la démarche du projet mais également sur la qualité des apprentissages de chaque membre du groupe.

Le pré-projet B s'inscrit dans un trimestre durant lequel les étudiants sont pendant 17h encadrés par des enseignants (ex: projet, APP, cours magistraux), et pendant 23h "libres" (dont 3 après-midi pour leur permettre de travailler sur des plages horaires suffisamment longue).

4.5 L'évaluation

Dans un pré-projet, l'évaluation joue un rôle particulier comme moteur d'acquisition de compétences et de connaissances disciplinaires. L'évaluation des étudiants comporte quatre volets représentatifs des objectifs poursuivis :

- 1) La production
 - La qualité de la démarche utilisée et des acquis méthodologiques
 - Les performances des résultats obtenus
- 2) L'apprentissage
 - La qualité des nouveaux acquis inter-disciplinaires
 - Le niveau des objectifs atteints
- 3) Le travail collaboratif
 - La composante de groupe comme moteur du projet
 - L'implication de chacun au sein du groupe
- 4) Le projet personnel
 - Les acquis individuels en terme de connaissances

Ces quatre axes peuvent être pondérés différemment. Ainsi, cherche-t-on à valoriser le travail collaboratif (et éventuellement à pénaliser l'étudiant qui n'y participe pas) ou cherche-t-on à évaluer les acquis individuels (au risque de détériorer l'esprit du groupe) ?

Comment faut-il équilibrer l'évaluation de la démarche utilisée (pour autant que le projet ait laissé un certain degré de liberté aux étudiants), le résultat obtenu (prototype, rapport, présentation) ou les acquis disciplinaires associés ? En quoi cette évaluation disciplinaire doit-elle être différente d'une évaluation classique ?

Des combinaisons de ces 4 axes nous ont permis de mettre en œuvre diverses modalités d'évaluation.

Modalité 1 : Présentation du groupe devant Jury

La première année de la réforme, une modalité d'évaluation basée sur le travail de groupe a été mise en place. Elle est inspirée de l'Université de Aalborg en réduisant la durée du jury à 2h (au lieu de 4h).

Chaque groupe d'étudiants présente son projet devant un jury composé de 3 enseignants. La présentation comporte 2 parties :

- Partie 1 (durée 30 min): Présentation préparée des étudiants (présentation du projet, démonstration, réponse à deux questions technique et prospective, etc...) et discussion générale sur le projet
- Partie 2 (durée 1h) : le jury interroge chaque étudiant individuellement sur les objectifs disciplinaires associés au projet. Il n'y a, a priori, pas de questions nécessitant une longue préparation, mais éventuellement quelques instants de réflexions (ex : usage du tableau, recherche dans les notes,...).

Diverses difficultés ont été mises en évidence par les étudiants et les membres des jurys :

- Difficulté d'évaluer correctement les 8 étudiants d'un groupe durant la deuxième partie du jury (i.e. durée trop courte, questions non équilibrées, disciplines non équivalentes).
- Difficulté d'homogénéiser le fonctionnement des 45 jurys, malgré l'existence d'un outil d'appréciation critériée, la participation des enseignants à différents jurys et un réel souci de coordination.
- Différence d'appréciation parmi les enseignants sur la pondération entre les deux parties : l'objectif est-il de différencier la note de chaque étudiant au sein de chaque groupe ou au contraire de considérer que tous les étudiants d'un groupe reçoivent a priori la même note s'ils ont correctement contribué au travail; dans ce dernier cas l'attribution d'une note différente à un étudiant est une exception.

Modalité 2 : Évaluation individuelle écrite et présentation du groupe devant Jury

Pour pallier ces difficultés, la composante individuelle a été renforcée par l'introduction l'année suivante d'une évaluation individuelle écrite de 2h portant sur les objectifs disciplinaires associés au projet. Cette évaluation complémentaire assure une meilleure adéquation des questions posées aux objectifs disciplinaires associées et une meilleure équité entre étudiants.

La présentation et la discussion devant un jury se focalisent ainsi sur les acquis disciplinaires, la démarche et le résultat du groupe. Les objectifs évalués peuvent également être de plus haut niveau (ex : analyse, synthèse, évaluation) car les échanges au sein du groupe sont sollicités afin de construire collégialement les réponses.

Cette formule en deux temps a satisfait les parties, mais à générer :

- un surcroît de travail et de tension chez les étudiants et ... les enseignants
- un questionnement quant à l'opportunité de l'évaluation écrite supplémentaire alors que les deux évaluations continues des disciplines du trimestre avaient déjà fourni des informations quant aux performances des étudiants [1].
- une dualité quant au message perçu par l'étudiant : Doit-il favoriser son étude disciplinaire individuelle ou va-t-il poursuivre son investissement personnel dans le travail du groupe.

La difficulté de pondérer les deux composantes de l'évaluation est donc maintenue dans cette modalité, avec parmi les enseignants des points de vue très différents.

Modalité 3 : Évaluation individuelle écrite associée à l'évaluation continue et présentation du groupe devant Jury

Une troisième modalité consiste à intégrer l'évaluation du projet aux deux évaluations continues du trimestre.

Ces évaluations portent sur les objectifs poursuivis dans chaque discipline du trimestre (ex: math, physique, info, chimie, anglais,...). Elles sont organisées en semaine 5 et 10 de chaque trimestre (qui en compte 11) et durent 4 heures. Les questions disciplinaires seront proposées dans un contexte du projet en veillant à y intégrer l'ouverture octroyée aux étudiants.

Cette formule paraît plus souple à mettre en œuvre et intègre les deux modalités.

4.6 La formation des tuteurs

Un dernier aspect important dans l'implémentation d'un apprentissage par projet est relatif aux compétences des tuteurs-enseignants et à leur formation. Le rôle du tuteur pré-projet est en effet à cheval entre celui d'un tuteur problème [16],[1] et d'un tuteur post projet. Cette comparaison est synthétisée dans le tableau 3, où différentes représentations de l'acte d'enseigner sont repris.

1. Le tuteur doit *connaître les (et si possible adhérer aux) principes de pédagogie active* afin de les appliquer durant son encadrement.
2. Le tuteur du pré-projet doit avoir un *minimum de connaissances* (pas zéro) dans toutes les disciplines associées au projet afin d'aider les étudiants à reformuler leurs questions et les diriger vers des ressources spécifiques. Il ne pourra cependant pas être compétent dans toutes les disciplines, il est donc important qu'il soit bien outillé (ex: questions interdisciplinaires, graphe fonctionnel, contacts-relais...).
- Par contre, le tuteur d'un post-projet est un expert dans la discipline et oriente les étudiants vers une production qui valide leurs acquis antérieurs.
3. Tout tuteur doit favoriser *l'autonomie du groupe* en adoptant une attitude de guidance, de responsabilisation et de confiance dans les ressources du groupe. Le tuteur doit apprendre à

gérer le sentiment d'insécurité propre à un projet ouvert et éviter de se considérer comme le détenteur du savoir.

Le tuteur doit aider les étudiants à *gérer une démarche d'apprentissage par projet*. Il incite le groupe à respecter des étapes, à définir des indices de production, à se questionner,...

4. Tout tuteur doit savoir *gérer sa position d'enseignant* face aux groupes ou aux étudiants. Il doit servir de guide sans être ni "copain", ni "le détenteur du savoir". Le tuteur doit faire confiance au groupe dans sa dynamique et sa capacité à résoudre ses problèmes.

5. Le tuteur du pré-projet doit *guider les apprentissages* par une écoute, un accompagnement, un questionnement : c'est à dire : poser des questions judicieuses visant à exploiter les acquis, à comparer les solutions avancées, à confronter des points de vues, à dégager une synthèse des échanges,...

Le tuteur du pré-projet incite les étudiants à se mettre en évidence des liens interdisciplinaires et leurs besoins en acquis disciplinaires complémentaires (rappel : Un concept est induit dans le cadre du projet, développer dans les activités disciplinaires et réappliquer dans le cadre du projet ; voir figure 3).

6. Le tuteur du pré-projet doit stimuler la *dynamique du travail en groupe* (ex: motivation, confiance, mise-en commun, auto-régulation). Cette compétence nécessite un certain feeling pour déceler un problème technique ou social...et pourvoir le résoudre sans générer de blocage.

7. Le tuteur du pré-projet doit être capable *d'évaluer en continu* le travail du groupe ou d'un étudiant en regard des objectifs de production et d'apprentissage et de critères d'évaluation. Pour ce faire, il propose aux étudiants des arrêts stratégiques afin qu'ils portent un regard critique sur leur apprentissage et leur méthode de travail. Il fournit une rétroaction tant vers les étudiants que vers les enseignants qui coordonnent le projet.

	Post-projet	Pré-projet	Exercices	Problème
1. Connaître les principes pédagogiques	—	—	—	—
2. Connaître les matières	—	●	—	—
3. Favoriser l'autonomie	●	—	—	—
4. Gérer sa position d'enseignant	—	—	●	—
5. Stimuler le travail du groupe	●	—	—	●
6. Guider les apprentissages	●	—	●	—
7. Évaluer les apprentissages	Certificatif	Formatif + Certificatif	—	Formatif

— : objectif non abordé ● : objectif partiellement réalisé — : objectif à part entière

Tableau 3 : Les compétences des tuteurs

Cette représentation de l'acte d'enseigner nécessite une très grande coordination au sein de l'équipe d'enseignant qui gère le projet afin d'intégrer les objectifs méthodologiques dans la pratique des tuteurs et des étudiants. Ainsi, l'accompagnement pédagogique mis en place par l'équipe de coordination veillera à outiller le tuteur en explicitant :

- les objectifs ou les apports disciplinaires permettant de vérifier que les liens interdisciplinaires sont réalisés.
- les critères d'évaluation permettant de valider l'acquisition de ces objectifs.
- les référents disciplinaires vers lequel diriger le tuteur et/ou les étudiants
- les liens projets- disciplines permettant aux tuteurs des activités disciplinaires de relayer le questionnement.

A nouveau, coordination et explicitation des objectifs de formation assurent la cohérence du dispositif.

5 Conclusions

En introduisant la notion d'apprentissage disciplinaire dans un projet, nous avons été plus loin que la traditionnelle question de l'apprentissage par ou pour le projet. Deux exemples ont été utilisés pour montrer les points communs et les différences de ce que nous avons appelé post-projet d'application et pré-projet d'apprentissage. La distinction est subtile et n'apparaît que lors d'une étude détaillée. Les enseignants, habitués à concevoir des post-projets ne perçoivent pas toujours le changement de représentation nécessaire. Notre contribution est d'inciter tout concepteur de projet à identifier les modifications à apporter en terme d'objectifs méthodologiques et inter-disciplinaires à atteindre, de démarche à adopter, de coopération entre étudiants à inciter, de production à effectuer, de ressources à mettre en place ou d'évaluation à réaliser.

Divers axes de comparaisons ont été proposés mettant en évidence le changement conceptuel de la construction du savoir, le caractère méta de la réflexion sur l'apprentissage en cours et le caractère individuel de l'apprentissage.

L'atteinte des objectifs d'un pré-projet nécessite un important effort de préparation et de coordination interdisciplinaire, ainsi qu'un réel soucis d'encadrement et de formation des tuteurs.

6 Références

1. *Devenir ingénieur par apprentissage actif*, E. Aguirre, C. Jacqmot, E. Milgrom, B. Raucent, A. Soucisse, Ch. Trullemans, C. Vander Borght, Pédagogie par le projet, Brest 27-29 juin 2001.
2. *La « formation au projet » et « la formation par le projet »*, Jean-François Mabardi, proc. of "Projet et pédagogie" organisé par l'Association Européenne pour l'enseignement de l'Architecture, Louvain-la-Neuve, Belgique, 1996, pp17-21.
3. *Introducing Problem Based Learning in a Machine Design Curriculum: Result of an Experiment*, B.Raucent, to be published in Engineering Design, 2001.
4. *Contests Make Better Engineers*, E. J. J. van Breemen, proc. of 11th Int. Conf. on Engineering Design, ICED 97, Tampere, vol. 3, pp 519-522.
5. *"Problem Solving Styles in Mechanical Engineering Design"*, R. Eisentraut, proc. of 11th Int. Conf. on Engineering Design, ICED 97, Tampere, vol. 3, pp 499-504.
6. *La pédagogie par projet*, Talbot TW, PUQ, 1990
7. *Linking design and simulation: a student project*, B. Raucent and D. A. Johnson, Journal of Engineering Design, vol 8, n°1, 1997, pp 19-31
8. *L'apprentissage de la conception en génie mécanique, le rôle du projet*, E. Aguirre et B. Raucent, Didaskalia, n°13, 1998, pp129-143.
9. *Three years experience of running an Integrated Design Project at Cambridge*, K. Wallace, J. Matheson, C. Hogue, D. Isgrove, proc. of 11th Int. Conf. on Engineering Design, ICED 97, Tampere, vol. 3, pp 407-410.
10. *The Aalborg Experiment, Project innovation in university education*, Finn Hjersdam, Aalborg University Press, 1994.
11. *Reflection on real operating experience- The role of a supervisor*, S. H. Nielsen, Project Based Learning, Project-led Education and Group Learning, A. S. Pouzada editor, 2000.

12. *Project-organisation within single subjects*, Ole Vinther, proc. of SEFI conf. on The first years in engineering education, Louvain-la-Neuve, Belgium 1979, pp 289-297.
13. IEE World Micro-mouse Championships: <http://www.swallow.co.uk/Contents/microm.htm>
14. *Fédérer des activités pédagogiques pour constituer un projet intégré en mécatronique: compte rendu d'innovation*, Grenier D., Fiset P., Raucent B., *Didaskalia* n° 16, 2000, pp 163-178.
15. *Du cours au projet et du projet au cours, une intégration constructive*, E. Aguirre, G. Campion, G. Dutry et B. Raucent, proc. CIFA 2000, Lille, July 2000.
16. *Référentiel de compétences caractérisant un tuteur idéal dans un processus d'APP et pistes pour le dispositif de formation des tuteurs*, Braibant JM, de Theux M.N., Smidts D., Wouters P., document interne FSA-IPM, 2002