

PROJET MINES-BTS

Les leçons de l'expérience

JEAN-PIERRE LAMY ^[1]

Depuis quelques années, l'École des mines de Paris, en partenariat avec des lycées technologiques de la région parisienne a mis en place son « projet mécatronique » : des élèves ingénieurs collaborent avec des étudiants de STS pour concevoir et réaliser un objet technique. L'année dernière, c'était un robot mobile autonome, avec pour objectif la Coupe de France de robotique.

Un minisatellite, un drone, une voiture solaire engagée dans le challenge EducÉco, une bouche artificielle joueuse de trompette pour l'Ircam, un robot rover, autant de productions réalisées dans le cadre du « projet mécatronique » de l'École des mines, en collaboration avec des STS CPI (Conception de produits industriels) du lycée Léonard-de-Vinci de Melun et Iris (Informatique et réseaux pour l'industrie et les services) du lycée Diderot de Paris. L'expérience, qui arrive à maturité, est, de l'avis général, un succès au regard des bénéfices réels acquis par tous les étudiants. Voici ce qu'il faut retenir de cette belle aventure pédagogique.

Des hommes, des nombres et de la technologie

Est-ce qu'il suffit de donner à des groupes d'hommes et de femmes l'accès aux technologies numériques de pointe pour qu'un résultat observable et pertinent en émerge? Serge K. Levan évoque à ce propos « un taxi pour l'enfer » (« La collaboration numérique : faire pour comprendre et comprendre pour faire », p. 30)! Mais c'est quand même bien sur ces bases que vient de se créer l'école d'informatique 42, où les étudiants apprennent en collaborant. Miracle? Pas tant que cela, quand on connaît la série d'épreuves sélectives qui attend ceux qui désirent l'intégrer... L'école de la république, qui offre l'accès aux mêmes outils modernes (et même plus), procède avec un peu plus de précautions et des méthodes différentes, comme nous allons le voir. L'audace n'excluant pas la responsabilité, il s'agit d'identifier clairement les critères de réussite, puis de mettre en place les outils, les structures humaines et matérielles ainsi que les méthodes adéquates.

[1] Professeur agrégé de SII en STS Iris au lycée Diderot de Paris (75019).

Mots-clés

communication, démarche pédagogique, lycée technologique, postbac, projet

Un outil numérique pour communiquer : la plate-forme collaborative

La plate-forme collaborative est un logiciel qui permet d'échanger différents types d'informations entre les membres d'une équipe indépendamment des contraintes géographiques et temporelles et en toute sécurité. Les transactions s'effectuent via internet.

Une plate-forme de ce type offre au minimum les fonctionnalités suivantes :

- Un service de messagerie
- Un système de partage de ressources et de fichiers avec gestion des accès et des versions
- Des forums, pages de discussion
- Un trombinoscope et un annuaire des profils des utilisateurs
- Un calendrier
- Un système d'archives collectives et de pages personnelles
- Un index ou outil listant les tâches faites et à faire

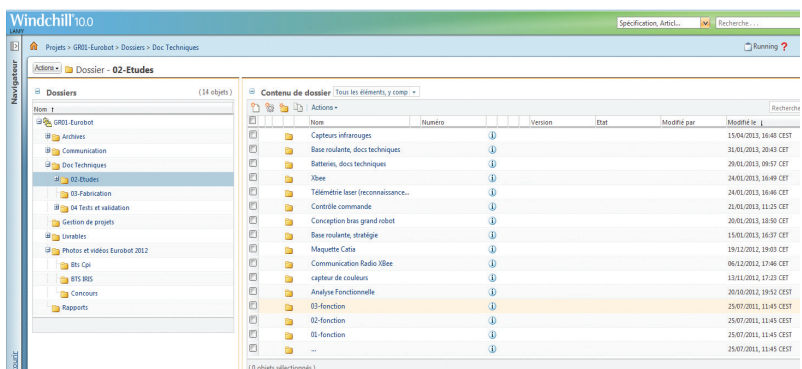
L'interface de la plate-forme adoptée par l'École des mines, Windchill, est présentée en 1.

Les étudiants et les encadrants ont chacun un compte qui leur permet d'accéder aux espaces qui leur sont réservés.

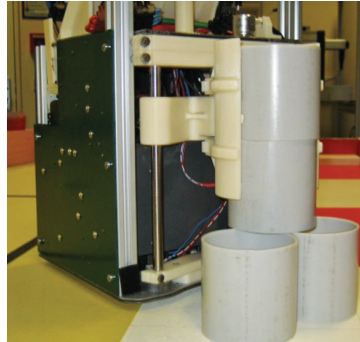
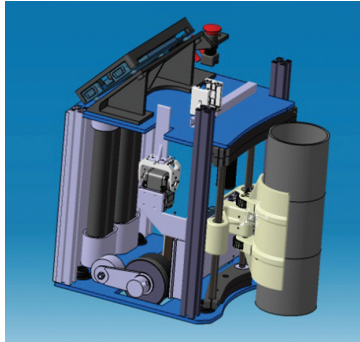
Des outils numériques pour concevoir

Cela peut paraître évident, mais pour communiquer grâce au numérique il faut que tous les outils de conception génèrent des modèles numériques sous forme de fichiers typés. Il est tout aussi nécessaire qu'ils soient compatibles entre eux : même logiciel, même version.

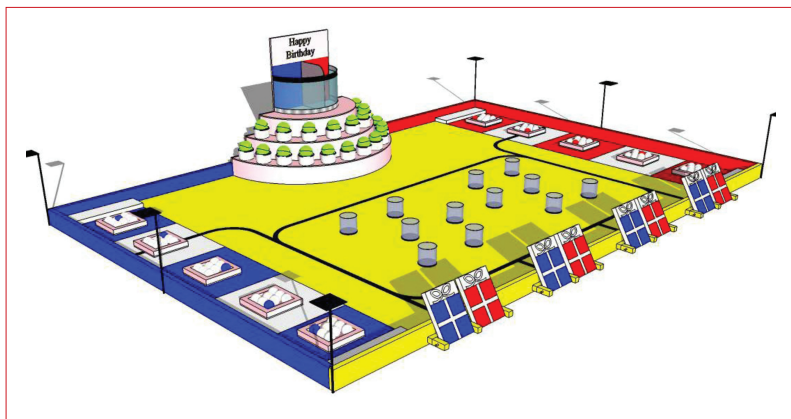
Les mécaniciens ont choisi le logiciel Catia de Dassault Systèmes; les informaticiens conçoivent les modèles SysML avec MagicDraw et programment les cartes embarquées en langage C# et C sous Visual Studio.



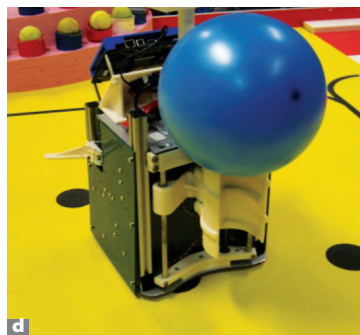
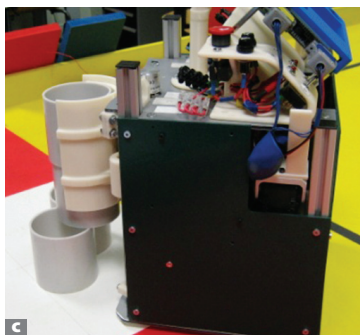
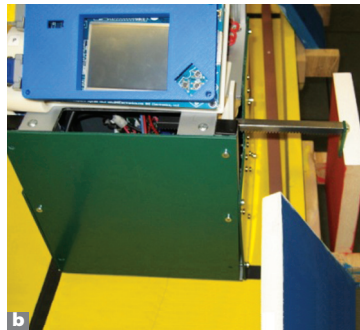
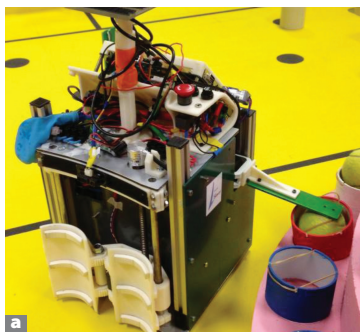
1 L'interface de la plate-forme Windchill



2 Le robot modélisé sous Catia et le robot réel



3 La table de jeu



4 Les épreuves du robot

- a** Éteindre les bougies de sa couleur
- b** Déballer les cadeaux de sa couleur
- c** Rappporter et empiler les verres dans son camp
- d** Gonfler un ballon en fin de match

Des étudiants motivés

Chacun s'accorde à dire que l'efficacité des apprentissages dépend de la motivation des étudiants, sans toutefois préciser ce que signifie exactement ce terme.

Pour Barbara L. McCombs, du Mid-continent Educational Laboratory (McREL), une activité proposée aux étudiants doit respecter au moins neuf principes pour être motivante :

- 1 Avoir des objectifs et des consignes clairs.
- 2 Tenir compte des intérêts des étudiants.
- 3 Être à l'image de celles qu'ils accompliront dans leur métier ou leur profession.
- 4 Représenter un défi à relever.
- 5 Nécessiter l'utilisation de stratégies de résolution de problèmes.
- 6 Nécessiter l'utilisation de connaissances acquises dans différents domaines.
- 7 Donner l'occasion de faire des choix.
- 8 Se dérouler sur une période de temps suffisante.
- 9 Conduire à un produit fini.

La pédagogie de projet semble la plus à même de vérifier ces neuf principes... et davantage si le sujet est bien choisi.

Le projet

Le choix de la production

Le choix de production pour le projet s'est porté sur un robot mobile autonome qui participera à la Coupe de France de robotique **2**. Ce choix est pertinent : il s'agit d'un véritable objet technique à caractère mécatronique riche dont l'architecture modulaire se prête bien au travail coopératif/collaboratif; le système est très complexe, seule une importante équipe pluritechnologique peut le réaliser dans un cadre collaboratif où chacun pourra mettre en œuvre ses compétences; les objectifs sont clairs – se classer le mieux possible, voilà le défi; enfin, le projet se déroule sur une année scolaire – une durée juste suffisante.

● Les épreuves de la Coupe de France de robotique 2013

Le robot, qui devra être autonome, et son adversaire évolueront sur une table de jeu **3** ou seront disposés un « gâteau » – pour marquer les 20 ans du concours – avec ses « bougies » (balles de tennis) à « éteindre », des « cadeaux » (planches pivotantes) à « déballer », des « verres » (tubes) à empiler pour former une « fontaine à jus de fruits », et des « cerises sur le

gâteau » (balles de ping-pong) à envoyer sur le haut de la structure ; à la fin des 90 secondes du match, le robot aura 10 secondes pour gonfler au moins un ballon embarqué **4**.

Collaboration ou coopération ?

● La collaboration

Au cours de chaque phase du projet, chaque participant contribue à la production collective sans qu'une répartition des travaux soit clairement établie, comme c'est le cas par exemple pour l'encyclopédie Wikipédia, le système Coyote dont la base de données est renseignée en permanence par les utilisateurs, ou les fourmilières construites sans qu'aucune fourmi en connaisse le plan.

● La coopération

Le système à fabriquer est décomposé en sous-systèmes plus petits dont la réalisation est confiée à des équipes, voire individuellement à des étudiants. L'assemblage final des modules ainsi réalisés permet d'obtenir le système global.

La collaboration laisse plus de liberté, mais exige une grande autonomie et une communication très élaborée entre les membres de l'équipe ; la coopération présente les caractéristiques inverses **5**. Nous verrons que les deux méthodes coexistent et évoluent au cours de l'avancement du projet.

L'organisation

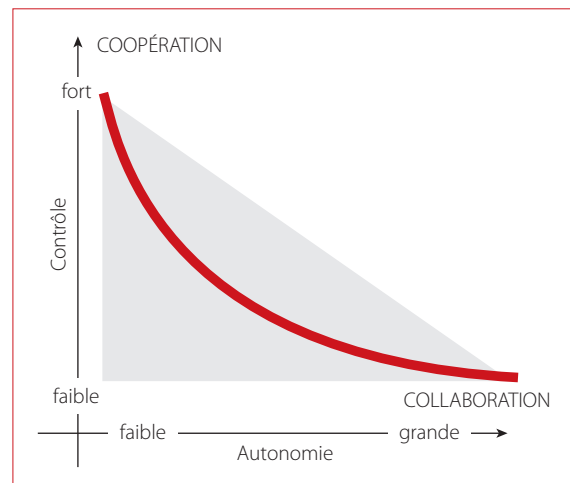
Le partage des tâches et la structure organisationnelle

Une analyse orientée objet met en évidence une décomposition arborescente de premier niveau. Ici, trois modules mécatroniques communiquant par bus CAN composent le robot : un « cerveau », une base roulante et un ensemble de préhenseurs.

La conception et réalisation de chaque module sont confiées à une équipe pluridisciplinaire constituée d'un groupe informatique et d'un groupe mécanique qui coopèrent **6**. Les équipes et les groupes coopèrent, les étudiants d'un groupe collaborent.

La taille et l'organisation de chaque groupe sont laissées à l'appréciation des étudiants, avec cependant une contrainte : un groupe comprend des mineurs et des BTS, CPI ou Iris, selon sa spécialisation. Cette année, 6 élèves d'Iris, 4 élèves de CPI et 12 élèves des Mines se sont distribués les rôles en fonction de leurs compétences et de leurs aspirations, un mineur chef de projet coordonnant l'ensemble. L'École des mines met à leur disposition quelques experts spécialisés en électronique ou en mécanique. Quatre enseignants en STS CPI ou Iris encadrent le projet.

Un extrait d'un courriel du chef de projet en phase initiale de répartition des rôles est donné en encadré.



5 Les niveaux de contrôle et d'autonomie

Le planning

Un planning général est élaboré par le chef de projet, puis chaque équipe affine son propre séquençage en respectant les contraintes temporelles imposées.

Les revues de projet

Les revues de projet ne se font pas dans un esprit d'évaluation des étudiants. À l'École des mines, elles sont présentées par l'équipe entière, et permettent avant tout de faire le point sur l'avancement du projet, de détecter les problèmes, les erreurs commises et les solutions possibles pour y remédier, comme dans une véritable entreprise.

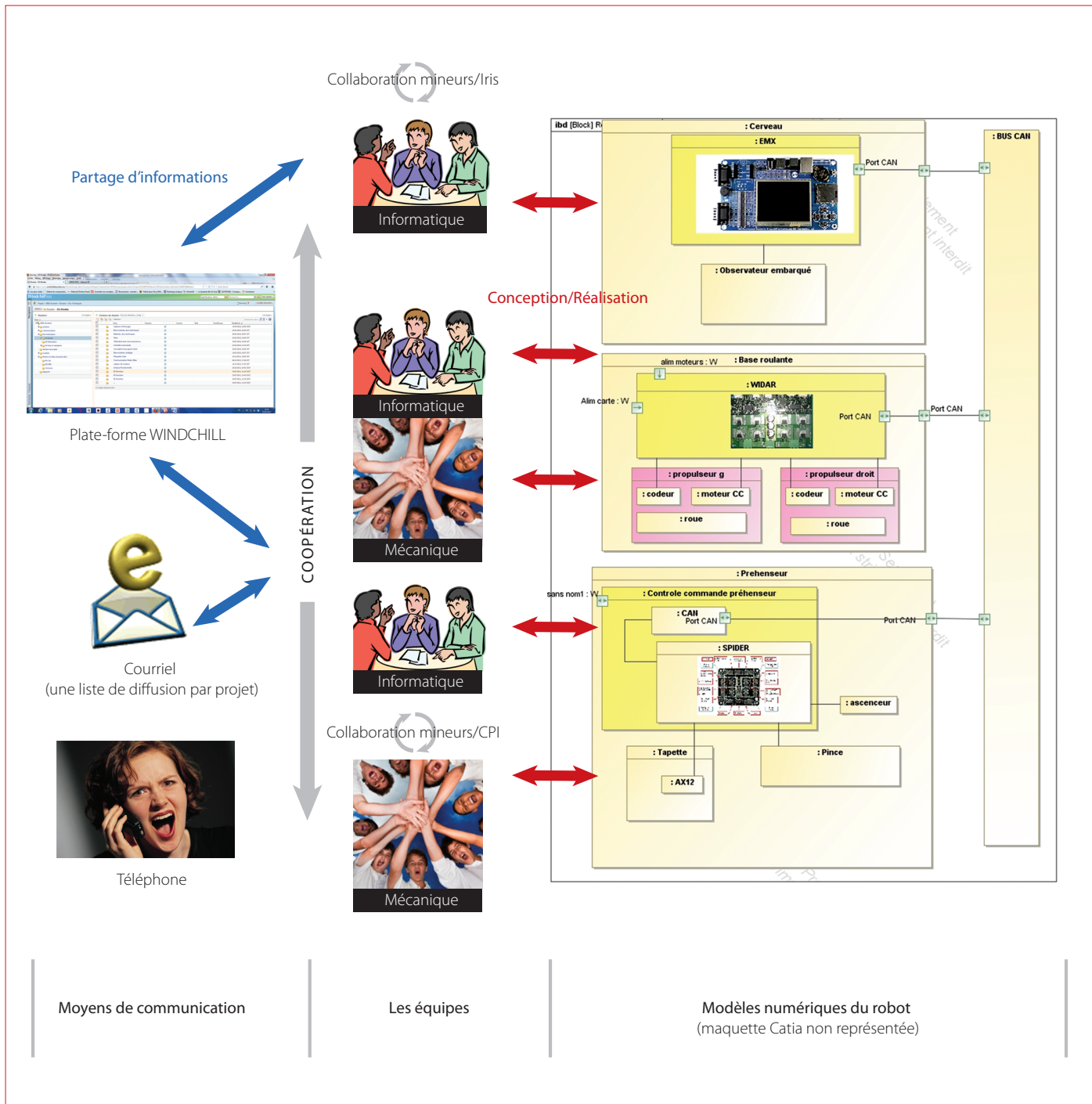
- **À l'École des mines** : 2 revues de projet de 15 min environ, et 2 soutenances de 1 h 30 réparties sur l'année.
- **Pour les BTS** : 2 revues individuelles et une soutenance finale devant le jury d'examen, ainsi que des revues d'étape par l'équipe entière si nécessaire.

La Coupe de France de robotique

La Coupe s'est déroulée du 7 au 11 mai dernier à la Ferté-Bernard **7 8 9**. Nous y présentions deux robots. L'un, IrisDiderot, s'est classé 59^e sur 180 équipes, qui représentaient la quasi-totalité des écoles d'ingénieurs et universités technologiques françaises, et l'autre, Happyboatday, 82^e.

Extrait d'un courriel du chef de projet en phase initiale de répartition des rôles

Je voulais juste dire rapidement à tous les BTS comment est organisé le travail des mineurs pour qu'ils puissent avoir le bon intervenant.
 Qiwei et Aymeric s'occupent de la télémétrie.
 Lésia est en charge de ce qui est capteur couleur, et avec Wenyao s'intéresse à comment à partir d'une photo remonter aux couleurs (dans le but de déterminer les couleurs des bougies).
 Magali, Jérémy et Édouard s'occupent de l'informatique ; je ne connais pas les détails de leur répartition, mais comme ils ont déjà rencontré les BTS Iris, chacun sait vers où s'orienter.
 Jérémy est aussi responsable communication de notre côté.
 Guillaume a aussi rencontré les BTS Iris, et s'oriente vers la base roulante aux dernières infos que j'ai eues (je n'ai pas pu venir jeudi).
 Je suis en charge de gérer le projet côté mineurs, et aussi de la communication Xbee ; j'aimerais d'ailleurs dès cet après-midi pouvoir voir avec les BTS Iris où ils en sont là-dessus.



6 L'organisation

Le retour d'expérience

La pédagogie de projet

Collaboration et compétition

En général, l'école n'apprend pas vraiment à travailler en collaboration lorsqu'elle ne place pas les élèves en situation de compétition. Néanmoins, pour que ces aspirations naturelles à la compétition puissent s'exprimer de manière positive, l'École des mines choisit souvent comme thème de projet la participation à un concours à caractère technique avec une couverture médiatique. Les étudiants, et souvent les encadrants, forment alors une équipe, en compétition certes, mais cette fois avec un adversaire extérieur.

Le travail collaboratif

Au cours du processus collaboratif, les individualités, après une phase de compréhension, s'intègrent petit à petit dans une équipe unique qui mutualise ses connaissances pour en produire de nouvelles. L'adhésion à cette démarche suppose que les étudiants acceptent de confronter leurs propres représentations à celles des autres, et souvent de les modifier pour en adopter d'autres plus pertinentes pour résoudre un problème. Certains étudiants se retrouvent, parfois pour la première fois, en situation d'échec. C'est aux encadrants de gérer ces cas limites en réglant de manière optimale le décalage entre le niveau de difficulté de la tâche et le niveau de compétence de l'étudiant.

Le travail collectif des étudiants « favorise la perception qu'ils ont de leur compétence et de leur capacité à contrôler leurs apprentissages » (Rolland Viau, « Offrir aux élèves des activités motivantes », in *Résonances*, 2003). En échangeant des savoirs, en se confrontant à des points de vue différents et aux (dures) réalités, l'étudiant ne va plus se contenter d'emmagasiner des contenus de « savoir statique », mais se construire un solide socle de connaissances et développer des compétences qui lui permettront d'acquiescer son autonomie (voir la conclusion du rapport de projet des Iris en encadré).

Le travail de conception

L'étudiant, et plus particulièrement le mineur, est placé dans une situation nouvelle pour lui ; la démarche n'est pas linéaire comme celle dont il a l'habitude en mathématiques. Ici, il faut souvent compléter les hypothèses – le cahier des charges –, le produit fini n'existe encore pas, et, pire, avant d'arriver à une solution, il faut souvent explorer plusieurs chemins... dont certains se terminent en cul-de-sac.

Face à ces difficultés, l'étudiant a souvent le réflexe de demander des formations classiques en espérant qu'elles combleront toutes ses lacunes techniques et lui fourniront la solution. Une des missions les plus difficiles des encadrants consiste à expliquer et à convaincre les étudiants désorientés et parfois en grande détresse que tout cela est normal, que c'est le lot de tous les concepteurs du monde.

Les plates-formes collaboratives et la communication

Si la jeune génération ne rechigne pas à l'utilisation de nouveaux outils numériques, en contrepartie elle attend des performances sérieuses : elle est aussi capable de contourner l'utilisation imposée de solutions logicielles, leur préférant les siennes. Les récriminations les plus fréquentes sont des temps de réponse lents, une faible capacité de stockage, une interface inesthétique et peu intuitive, et une configuration inadaptée du logiciel. D'autre part, certaines fonctionnalités de la plate-

La conclusion du rapport de projet des Iris

Cette expérience a été très enrichissante.

Sur le plan technique, elle nous a permis de mettre en application les connaissances acquises au cours des deux années de formation, et d'avoir une idée concrète de l'usage que l'on peut en faire. De plus, l'apprentissage sur le terrain de nouvelles notions techniques a été un élément clé dans la réalisation de ce projet.

Sur le plan humain, elle nous a mis face à la réalisation d'un projet complexe nécessitant la coopération avec plusieurs pôles. La communication avec ceux-ci était donc un facteur déterminant pour le développement du projet.

Sur le plan logistique, elle nous a appris à gérer les situations d'urgence ainsi que les imprévus : tout ne se passe pas toujours comme planifié.



7 Le premier match



8 L'homologation passée avec succès



9 Une partie de l'équipe après la compétition

forme, forums, visioconférence ou agendas, considérées comme des gadgets inutiles, ne sont pas utilisées.

La plate-forme n'est pas un outil miracle, les outils numériques ne remplaceront jamais la magie des relations humaines directes, qui mobilisent des moyens d'expression tellement complexes. Qui n'a jamais pris du plaisir à gribouiller, en groupe, un schéma sur un tableau ou sur un coin de table ? Forts de ces considérations,

les rencontres entre les étudiants ont été favorisées : il n'est pas rare que des groupes de mineurs passent des après-midi en projet avec les BTS même si cela ne leur est pas imposé.

La relation professeurs-étudiants

Ces nouvelles méthodes d'acquisition de compétences et de savoirs modifient radicalement les rapports entre les enseignants et les étudiants, qui vont tisser des relations n'ayant plus aucun rapport avec celles qui ont cours dans un enseignement classique : le savoir n'est plus transmis par un maître qui débite ses litanies en boucle ouverte devant des étudiants sagement à l'écoute (en principe) jusqu'au prochain contrôle. Ici, l'enseignant ne gave pas des canards, mais il met en œuvre au sein de l'équipe une pédagogie active basée sur la réflexion et l'action collectives. Les savoirs et compétences sont remis en question au contact des réalités du projet. Il arrive même que, porté par le défi, l'enseignant s'intègre complètement à l'équipe.

L'organisation

Les étudiants doivent avoir le sentiment que les compétences acquises et celles qu'ils développent leur permettent de maîtriser les tâches en cours, d'évaluer le chemin parcouru et celui qu'il reste à accomplir. C'est aux encadrants de bien définir les objectifs avec leurs exigences ainsi que le contexte des activités, de remettre sur le chemin les brebis égarées en leur reprécisant les tâches et les compétences nécessaires à leur exécution.

Les principaux problèmes de management proviennent du grand nombre d'étudiants (une vingtaine), répartis sur des pôles géographiques distants, travaillant à des vitesses différentes et pas toujours en même temps (voir le courriel envoyé par une équipe d'Iris aux mineurs en encadré). La maîtrise de tous ces paramètres nécessite une préparation minutieuse du travail qui anticipe les aléas au maximum.

Un nouveau paradigme pédagogique

Les acquisitions

Nous le répétons, cette pédagogie contextualise l'acquisition conjointe de savoirs et de compétences multiples au sein d'un environnement réel qui met en jeu les relations sociales. On ne propose pas ici des corpus

En ligne

La Coupe de France de robotique sur Planète Sciences, avec le règlement téléchargeable de l'édition 2013 :

www.planete-sciences.org/robot/index.php?section=pages&pageid=79

Des vidéos du projet et des réalisations des autres années :

www.youtube.com/channel/UCLvhU71xc4oLwY4hMYGWQQQ?feature=watch

Retrouvez tous les liens sur <http://eduscol.education.fr/sti/revue-technologie>

de connaissances sur étagères distribués selon les besoins conjoncturels et les modes du moment. Les apprentissages simultanés de la technique, de la communication, des relations avec les autres, des responsabilités et du sens critique contribuent non seulement à préparer l'étudiant au monde du travail, mais aussi et surtout à son épanouissement personnel.

Les évaluations

L'évaluation s'effectue naturellement lorsque l'étudiant confronte son travail à la réalité : ça marche ou ça ne marche pas. La satisfaction d'avoir réussi et apporté sa pierre à l'œuvre commune grâce à ses seules capacités prime sur l'importance de la note attribuée qui, de toute façon, sera toujours corrélée au résultat perçu.

L'égalité des chances

Les intellectuels de la pédagogie, tout en affichant les meilleures intentions – « ne laissons personne au bord du chemin » – inspirent au système, depuis toujours, des directives éducatives officielles établies en référence à leurs propres échelles de valeurs. Mais les méthodes imposées ne sont pas forcément adaptées à une population hétérogène ; tout le monde n'en possède pas toutes les clés. Nous sommes persuadés, car nous l'avons observé, que la pédagogie par projet, par la richesse de ses propositions et ses espaces de liberté, permet à des profils très différents de s'exprimer et de réussir.

En conclusion

Les bénéfices évidents de cette pédagogie ne doivent pas masquer les difficultés qu'il faut surmonter en permanence. Malgré les résultats, nous avons parfois l'impression de travailler à contre-courant, les incompréhensions sont toujours là, et les critiques pas toujours justifiées. Il faut, en particulier, comprendre que le projet n'est pas un gros TP, qu'il faut du temps, beaucoup de temps et de liberté pour que les étudiants en comprennent les enjeux et modifient leur manière d'aborder les problèmes. Malgré les difficultés, nous sommes persuadés de la pertinence et du succès de cette pédagogie. Reste à persuader les décideurs et les professeurs de s'engager sur cette voie. ■

► Remerciements

Je remercie tous les étudiants qui ont participé à ces projets ainsi que les collègues avec lesquels je collabore :

Yvon GAIGNEBET, coordinateur des projets mécatroniques à l'École des mines de Paris
Fatima HAMANI, professeur en STS IRIS au lycée Diderot de Paris
Pascal ARBELLOT DE VACQUEUR, professeur en STS CPI au lycée Léonard-de-Vinci de Melun
Denis POYAC, professeur en STS CPI au lycée Léonard-de-Vinci de Melun
Sans oublier Nicolas CHEIMANOFF, directeur des études à l'École des mines de Paris jusqu'en 2013, qui a porté et soutenu le projet mécatronique