



Utilisation du Codesign dans la formation d'ingénieurs : exemple de projets en acoustique

N. Côté, B. Dubus, A. Fruleux et C. Roche
IEMN, UMR 8520 CNRS, ISEN, 41 Boulevard Vauban, 59046 Lille, France
nicolas.cote@isen.fr

Les modes d'apprentissage évoluent avec l'expérience de générations d'étudiants habitués à une connexion permanente avec internet. En particulier, les établissements d'enseignement supérieur commencent à intégrer de l'e-learning et de l'auto-apprentissage dans leurs formations. Le groupe HEI-ISA-ISEN a intégré dans son cursus de formation d'ingénieurs une part importante d'apprentissage par projets. Cette formation utilise le codesign afin de développer la créativité et la flexibilité de ces futurs ingénieurs. Le codesign correspond à l'élaboration collective mêlant différentes expertises, par exemple ingénieurs, designers et futurs usagers d'un objet ou d'un service. Cette étude se focalise à partir de projets à fort contenu acoustique sur la pratique du codesign dans le cadre de la formation des étudiants ingénieurs. Contrairement aux sujets d'études simples à vocation pédagogique où le résultat du projet est connu a priori, les projets codesign sont proposés par des clients extérieurs à l'établissement ; entreprises, laboratoires de recherche, associations, etc. Ceux-ci sont à la recherche d'une innovation et le résultat du projet peut-être un concept, un cas d'usage ou un démonstrateur. Dans ce type de projets, le groupe d'étudiants fait face à une succession de problèmes qui nécessitent une nouvelle approche de l'apprentissage de connaissances nouvelles. Afin de débloquent ces verrous, l'équipe d'enseignants accompagne les étudiants dans leurs recherches d'informations et leur auto-apprentissage. Ces types de projets demandent un encadrement particulier. En effet, dans la première partie du projet les étudiants sont en phase de créativité. Le résultat de cette première phase est utilisé lors d'une phase de sélection pour déterminer un certain nombre de cas d'usage ou pour concevoir un démonstrateur. Par le biais d'une comparaison avec des projets étudiants plus classiques, cette étude détaillera les spécificités de la pratique du Codesign à partir d'un projet sur les prothèses auditives.

1 Introduction

1.1 Une génération d'étudiants connectés

L'essor des technologies de l'information et des communications a engendré une nouvelle génération d'étudiants "connectés" aux modes de travail et d'analyse différents des générations qui les ont précédés. La capacité à traiter rapidement un grand nombre de données a cru au détriment de l'acquisition en profondeur d'un socle de connaissance. Une étude par imagerie cérébrale a ainsi montré que la mémoire court terme d'utilisateurs fréquents d'internet est deux fois moins active lorsqu'ils effectuent des tâches en ligne que celle d'utilisateurs occasionnels [1]. Une autre expérience effectuée avec des collégiens a mis en évidence que ceux-ci se souvenaient moins bien d'une information s'ils savaient pouvoir y accéder plus tard via un ordinateur [2]. Le cerveau apprend à ignorer l'information disponible en ligne et cette connexion se renforce à chaque fois que l'opération se répète. Le remplacement d'une partie de notre mémoire à long terme par internet n'est pas sans conséquences car nous utilisons l'information stockée dans la mémoire à long terme pour élaborer une pensée critique, pour comprendre et interagir avec le monde qui nous entoure.

1.2 Impact sur l'enseignement en école d'ingénieurs

L'apprentissage dans les enseignements primaire et secondaire se résume bien souvent à un enseignant qui dicte et un apprenant qui recopie. Ce type d'apprentissage conditionne les deux parties dans leur rôle d'apprenant et de sachant. Dans le contexte des écoles d'ingénieurs, les méthodes pédagogiques classiques reposent sur la présentation par un enseignant-chercheur d'un ensemble d'informations par l'intermédiaire de différents supports (cours magistraux, photocopiés, diapositives) qui permettent l'acquisition d'un savoir par les étudiants. C'est un mode de travail de type "transmissif". L'évaluation des acquis s'effectue généralement sous la forme d'examens écrits où l'étudiant doit résoudre un problème posé en se basant exclusivement sur les connaissances emmagasinées dans son

cerveau sans aucune interaction avec le monde extérieur. Cette différence importante d'accès à l'information entre les conditions de la vie réelle et celles des examens a plusieurs conséquences :

- l'évaluation perd de son sens dans la mesure où elle s'éloigne fortement des conditions réelles d'exercice du travail d'ingénieur. Elle devient simplement un obstacle à franchir vis-à-vis duquel de plus en plus d'étudiants tendent à développer des stratégies d'optimisation (minimisation du travail à réaliser pour satisfaire aux critères) qui peuvent se généraliser à un cursus complet (choix des modules d'enseignement pouvant être validés avec un travail minimal). L'apprentissage à rendement immédiat est privilégié au détriment d'un apprentissage en profondeur (i.e. acquisition des connaissances).
- la finalité de la formation est également vidée de son sens. Elle n'apparaît plus que comme une course d'obstacles à valider pour obtenir le diplôme, le véritable apprentissage ne démarrant qu'ensuite dans l'entreprise.

Pour inciter les étudiants à approfondir leurs connaissances en sciences et techniques, il est possible de développer des pédagogies basées sur l'interactivité entre l'apprenant et le sachant [3] : apprentissage par résolution de problèmes, apprentissage coopératif, pédagogie par le projet. Dans l'enseignement supérieur comme au lycée, cette approche se traduit sous la forme de projets de plusieurs semaines pendant lesquelles les étudiants travaillent en petits groupes. Ce type de pédagogie dite "active" peut être schématisé par le pentagone de l'apprentissage (figure 1) proposé par M. Lebrun [3], qui illustre le couplage entre les différentes étapes de l'apprentissage. En particulier, la qualité des ressources pédagogiques influencent l'acquisition des savoirs techniques et donc l'acquisition de compétences (savoir faire). De plus, les projets proposés aux étudiants et l'environnement de travail sont des facteurs de motivation.

Cet article présente un exemple de pédagogie active appliquée à l'apprentissage des élèves ingénieur : le *codesign*. Il est divisé en trois sections. La section 2 introduit le codesign en tant qu'outil pour la pédagogie

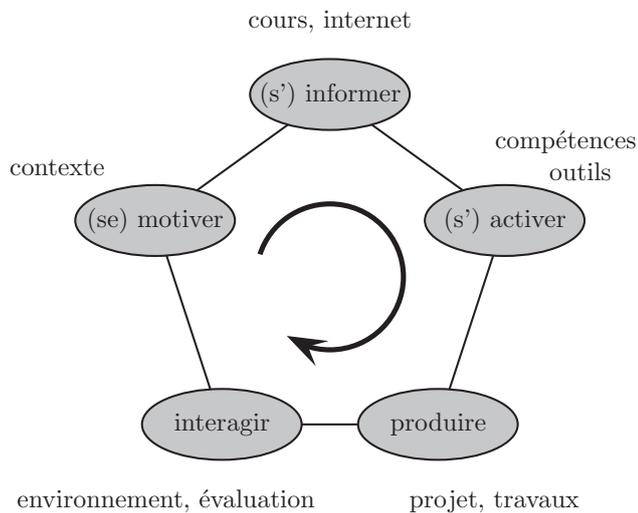


FIGURE 1 – Le pentagone de l'apprentissage adapté de M. Lebrun [3].

active. La section 3 donne un exemple concret de projet en acoustique employant le codesign : la proposition de services innovants pour les prothèses auditives. Enfin la conclusion analyse les apports de cet outil en détaillant les avantages et les inconvénients du codesign vis-à-vis des méthodes habituellement mises en œuvre dans les écoles d'ingénieurs.

2 Le Codesign, un outil pour la pédagogie active

2.1 Qu'est ce que le codesign ?

Le codesign est un outil d'ingénierie concourante utilisé en informatique industrielle pour le développement commun en électronique et en informatique. Ce mode de fonctionnement permet de gagner en rapidité en évitant les multiples aller-retours entre différents services au sein d'une même entreprise. Le terme codesign désigne également d'autres types de développements collaboratifs et en particulier ceux d'équipes intégrant des ingénieurs de différentes disciplines mais également des usagers d'un futur produit ou service. Suivant Soudoplatoff [4], un projet en mode codesign repose sur sept principes :

1. partir d'une question, d'un problème et non d'un cahier des charges,
2. mettre tous les acteurs du projet au même niveau dans la prise de décisions,
3. associer les futurs usagers du produit ou service,
4. intégrer l'ensemble des acteurs en un lieu unique,
5. désigner un animateur qui ne décide pas dans le projet mais aide à son bon déroulement,
6. proposer rapidement un démonstrateur même imparfait du produit ou du service,
7. fonctionner en mode essai-erreur et éviter l'excès de planification.

Ces sept principes sont introduits dans le contexte de la formation de futurs ingénieurs comme suit. Une problématique est soumise par une entreprise à l'équipe pédagogique. Celle-ci la traduit sous la forme d'un projet, incluant des "séances de codesign", proposé aux étudiants. Les acteurs du projet sont les étudiants, les experts du domaine et également le personnel de l'entreprise. L'encadrant est un enseignant-chercheur de l'école qui assure le suivi du projet. Le codesign est ainsi un outil pédagogique qui idéalement facilite l'insertion de l'étudiant au sein de l'entreprise en développant autant son savoir (scientifique et technique), son savoir-faire (application d'outils dans la résolution d'un problème), son savoir-être (interactions, coopérations) et son savoir-devenir (appropriation des problématiques de l'entreprise, développement d'un projet professionnel).

2.2 La séance de codesign

Concrètement, plusieurs "séances" de codesign sont effectuées durant les projets dans un lieu adapté (voir Figure 2) : les ADICODE (Ateliers De l'Innovation et du CO-DEsign) [5]. Ces centres de codesign intègrent un ensemble d'outils facilitant le travail collectif, l'accès et l'échange d'informations sous toutes ses formes et le prototypage rapide (écran collaboratif, salle modulable, écrans tactiles, imprimante 3D). Les séances sont des temps d'élaboration collective entre l'entreprise, l'équipe pédagogique, les étudiants et également les usagers du futur produit ou service. Elles peuvent avoir plusieurs formes :

- créativité pour produire des idées,
- questionnement pour enrichir et/ou sélectionner des concepts,
- co-élaboration d'un cahier des charges.

Les séances de créativité appliquent les techniques utilisées dans le Design depuis plusieurs années (aller-retours abstrait/concret). Lors de ces séances, il existe un principe d'égalité de dignité entre les personnes : il n'y a pas d'apprenant et de sachant. Ce principe permet à chaque proposition d'être entendue de la même manière qu'elle provienne d'un étudiant, d'un usager ou d'un expert.

La séance de codesign est préparée par plusieurs animateurs qui rencontrent les étudiants et le client de manière à identifier la question posée. Elle s'organise en plusieurs temps qui répondent chacun à un objectif particulier. Après un accueil, un premier exercice court et ludique permet aux participants de faire connaissance, de s'échauffer l'esprit et de renforcer la cohésion du groupe. Il peut être physique et/ou oral et implique l'ensemble des participants. Il contribue également à casser les hiérarchies possibles et à instaurer l'égalité de dignité.

Les phases 2 à 4 appelées respectivement "imprégnation", "divergence" et "convergence" ont pour objectif de conduire à l'émergence collective d'idées nouvelles comme illustré à la Figure 3.

- La phase d'imprégnation a pour objectif l'appropriation individuelle et collective d'une question inductrice. Effectué en sous-groupes, l'exercice vise à reformuler un ou plusieurs aspects de la question posée sous une autre forme (graphiques, saynètes, collages



FIGURE 2 – Le centre de codesign de l'ISA

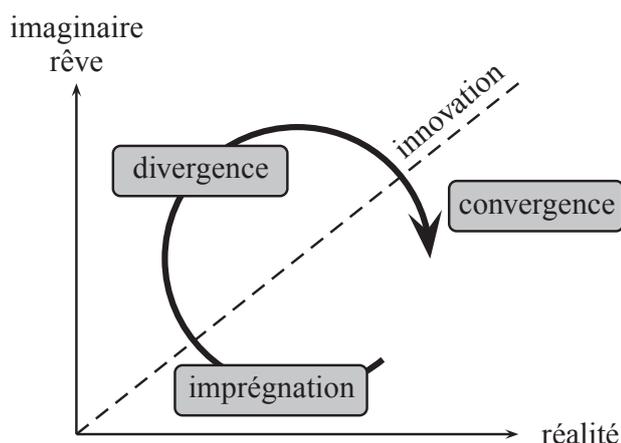


FIGURE 3 – Les phases d'une séance de codesign

projectifs ...). Les travaux réalisés sont mis en commun et peuvent servir de point de départ pour l'exercice suivant.

- la phase de divergence s'appuie sur des méthodes d'analogie, d'association ou de combinatoire pour produire un grand nombre d'idées ou de concepts sans souci de rationalité. Elle est également réalisée en sous-groupes, différents de la phase précédente. Chaque groupe présente l'ensemble ou une sélection des résultats produits pour échange et discussion.
- la phase de convergence a pour double objectif de sélectionner et d'enrichir les idées et concepts issus de la phase précédente. Elle s'appuie sur un ou plusieurs exercices successifs utilisant des techniques du type : vote pondéré, dossiers tournants, avocat de l'ange / avocat du diable, chapeaux de *Bono* ... Un ensemble de fiches de synthèse est produit à la fin de cette phase.

2.3 Le codesign au sein de la formation d'ingénieur ISEN

Les Majeures (i.e. options) *High Technologies & Innovation Design* (HTID) et *High Technologies & Environment* (HTE) de l'Institut Supérieur de l'Électronique et du Numérique (ISEN) ont été mises en place en 2010 (HTID) et 2011 (HTE) à la suite de premières expériences

pédagogiques incluant le codesign. Elles sont conçues autour de trois principes :

- une formation aux sciences et techniques en lien avec l'informatique, l'électronique et l'acoustique,
- 50% du temps des étudiants dédié aux projets (représentant par conséquent 50% des ECTS) et intégrant des séances de codesign,
- une formation technique en auto-apprentissage.

Les projets durent 12 semaines pour des étudiants de première année de Majeure (M1) et 20 semaines pour des étudiants de deuxième année (M2). Classiquement les projets en lien avec un client doivent permettre aux étudiants d'intégrer rapidement les problématiques des entreprises (délais courts, travail en équipes composées de compétences variées, renouvellement continu des produits proposés par l'entreprise ...) tout en développant un esprit d'analyse nécessaire aux ingénieurs. Ces projets simulent des situations professionnelles réelles. Les deux majeures HTID et HTE intègrent le codesign comme élément central de la formation d'ingénieur.

3 Exemple de projet sur les prothèses auditives

Plusieurs projets d'acoustique utilisant le codesign ont été réalisés par des étudiants de l'ISEN. Nous présentons ici un projet portant sur les prothèses auditives. Ce projet intègre également des étudiants d'une école partenaire : l'Institut Supérieur du Design (ISD).

3.1 Demande initiale du client

L'entreprise ayant proposée ce projet est un laboratoire d'audioprothésistes lié au réseau Entendre, "Audition Geny", représentée par son gérant. Les premières discussions entre l'équipe pédagogique et l'entreprise ont débuté en mai 2013. Le client souhaitait obtenir à la fin du projet un démonstrateur de prothèse auditive comparable au standard actuel et intégrant un aspect innovant. Le projet s'est déroulé sur une année complète (semestres 1 et 2). Seul le travail du premier semestre, portant sur la proposition de services innovants pour les prothèses auditives, est décrit dans cet article. A la fin de ce premier semestre, les étudiants devaient fournir un cahier des charges détaillant les composants et le fonctionnement d'une prothèse auditive innovante.

3.2 Organisation générale du projet

Le projet s'est déroulé du 23 septembre 2013 au 17 janvier 2014. Quatre étudiants de l'ISEN de première année de Majeure et six étudiants de l'ISD (3 de troisième année et 3 de cinquième année) ont travaillé sur le projet. Une réunion hebdomadaire était organisée entre les étudiants de l'ISEN et les pilotes (enseignants-chercheurs) et parfois l'entreprise. Cependant les étudiants pouvaient rencontrer le client à tout moment dans le projet après une prise de rendez-vous. De plus, le client répondait de manière très réactive aux messages électroniques des étudiants.

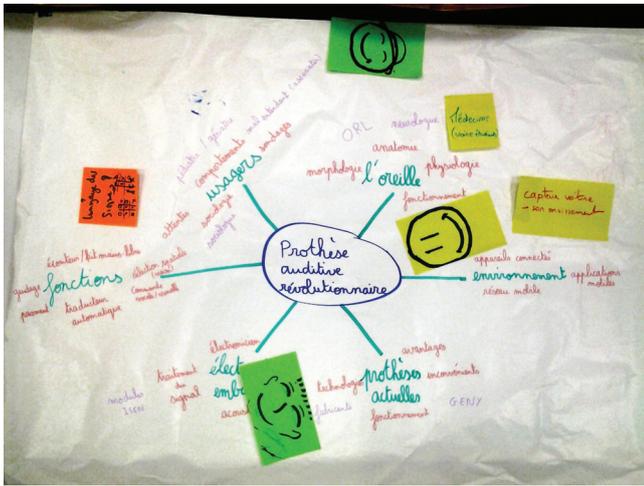


FIGURE 4 – Première séance de codesign : exemple de présentation du sujet par des étudiants “naïfs”.

3.3 Les séances de codesign

Trois séances de codesign ont été effectuées lors de ce projet. Le but des trois séances est résumé ci-dessous. Seul le déroulement de la deuxième séance portant la production d'idées est détaillé.

- La première séance (01/10/2013) portait sur la compréhension du sujet par les étudiants et sur la planification du travail à effectuer via quatre étapes : compréhension partagée (par les étudiants du projet et des étudiants “naïfs”, figure 4) du sujet (via une présentation croisée), inventaire des savoirs et savoir-faire nécessaires et des ressources accessibles (via une carte mentale), réflexion sur l'organisation de l'équipe et élaboration d'un plan d'action et d'un planning (via une matrice facile/complexes/rapide/lent).
- La deuxième séance (15/10/2013) abordait la production d'idées et l'entraînement à la démarche de création. Cette seconde séance de codesign s'est passée en présence du client et de l'équipe de l'ISD. Six concepts innovants ont été proposées à la fin de la seconde séance.
- Lors de la troisième séance (12/11/2013) les étudiants ont sélectionné via une matrice SWOT (Forces/Faiblesses/Opportunités/Menaces) trois concepts innovants à développer en priorité (figure 5).

La fin du projet a consisté pour le groupe d'étudiants à déterminer un cahier des charges (pour les étudiants ISEN) et une ébauche visuelle (pour les étudiants ISD) pour chaque innovation sélectionnée.

La seconde séance de codesign portant sur la production d'idées a réuni trois groupes projets. Chaque groupe avait préparé une question inductrice. La phase d'échauffement de cette séance consistait en une série d'énigmes à élucider, par exemple “Un capitaine fut décapité. Deux moines eurent la tête tranchée. Il n'y a pourtant qu'un seul mort. Pourquoi?”. Afin de trouver les réponses aux énigmes, chaque groupe pouvait poser deux questions fermées. Il n'existe pas de bonnes ou de mauvaises réponses à ces énigmes. Le but étant de trouver des solutions plausibles à des énigmes illogiques. Lors de la phase de divergence, les étudiants proposaient



FIGURE 5 – Troisième séance de codesign : sélection des innovations à partir des choix du client.

trois univers distincts (autre lieu, autre temps, autre contexte) dans lesquels la question inductrice pouvait être transposée. Les groupes inter-équipes composés d'étudiants, de clients et d'experts, devaient proposer une série de 10 transpositions de la question vers ces univers imaginaires. L'exercice suivant, par groupes inter-équipes également consistait à analyser les transpositions proposées et à les ramener dans le contexte initial. Dans la phase de convergence, l'équipe projet initiale récupérait le résultat de ce travail afin d'en tirer trois saynètes qui étaient critiquées par l'ensemble des personnes présentes. L'analyse des résultats produits lors de cette seconde séance de codesign a permis de proposer une série de six concepts innovants :

- une interface de contrôle (volume sonore, directivité...) de la prothèse qui soit facilement accessible,
- la recharge de la batterie par induction,
- l'intégration d'un système de restitution sonore large-bande,
- une liaison sans-fil de la prothèse vers un système multimédia (smartphone, tablette tactile, télévision connectée),
- l'ajout d'exercices auditifs utilisant le système multimédia,
- l'utilisation d'un microphone additionnel mobile.

3.4 Livrables et mode d'évaluation

L'évaluation quantifie l'assimilation par les étudiants de nouvelles connaissances est non la qualité du projet ou du service développé durant le projet. Cependant la réponse aux attentes de l'entreprise est prise en compte après une analyse préalable des objectifs atteignables par les étudiants à la fin du projet. Si idéalement ce retour vers l'étudiant doit être immédiat, il est le plus souvent réalisé à la fin du projet. Les projets codesign sont évalués sur quatre critères :

- un rapport technique qui sert à transférer leur travail vers l'entreprise en indiquant le “reste à faire” et les perspectives,
- une soutenance orale pendant laquelle les étudiants doivent présenter en peu de temps les points majeurs de leur travail,

- la gestion de projet qui intègre à la fois leurs méthodes et leur comportement/motivation durant le projet (cette note est individualisée),
- la réponse aux attentes de l'entreprise. Cette note est donnée par l'entreprise et validée par l'équipe pédagogique. Elle peut être individualisée par les étudiants eux-mêmes.

4 Conclusion

Le codesign implique une conception collaborative d'un objet ou d'un usage et ainsi améliorerait la qualité d'expérience utilisateur. En intégrant une démarche de résolution de problèmes basée sur la conception collective, le codesign permet aux étudiants de mettre en œuvre toutes les étapes de l'apprentissage de futurs ingénieurs : acquisition de savoirs scientifiques, de compétences techniques, développement de la coopération, utilisation des modes de communication du monde professionnel et développement d'un projet professionnel concret. Cependant, nous manquons encore de synergie entre les experts, les utilisateurs et surtout entre les étudiants eux-mêmes. Ainsi, lors d'une séance de codesign, les étudiants alternent temps de travail collectif et temps de travail personnel. Ils sont globalement moins concentrés lors des moments de travail personnel que lors des discussions collectives.

La mise en œuvre de la séance pose certains problèmes pratiques, en particulier dans l'organisation des séances de codesign. L'idée qu'une séance de codesign doit pouvoir s'effectuer lorsque les étudiants en ressentent le besoin se heurte à la disponibilité de l'ensemble des participants potentiels (client, experts, usagers). Même si les étudiants des Majeures HTID ou HTE prennent conscience du fonctionnement d'une entreprise, ils ont des difficultés à prendre du recul par rapport à leur travail. Par exemple, ils sous-estiment l'impact de leur travail dans le projet global d'une entreprise cliente.

Le codesign est un outil qui est appliqué dans différents domaines comme le développement informatique, l'innovation et maintenant la pédagogie. Il est cependant peu développé dans le milieu de la recherche. Quelques exemples de projets de recherche impliquant le codesign existent [6]. Il a en particulier été appliqué pour élaborer le Labex "ZEST" déposé par l'IEMN en 2011. De notre point de vue, le codesign est un outil utile pour la recherche appliquée ou fondamentale qui doit aider à la définition de futurs axes de recherche interdisciplinaire.

Remerciements

Le codesign est soutenu par les *Investissements d'Avenir* [5]. Les auteurs remercient les étudiants des Majeures HTID et HTE de l'ISEN et les équipes ADICODE du groupe HEI-ISA-ISEN.

Références

- [1] G. W. Small, T. D. Moody, P. Siddarth, S. Y. Bookheimer, Your Brain on Google : Patterns of Cerebral Activation During Internet Searching. *The American Journal of Geriatric Psychiatry : Official Journal of the American Association for Geriatric Psychiatry* **172**, 116–126 (2009).
- [2] B. Sparrow, J. Liu, D. M. Wegner, Google Effects on Memory : Cognitive Consequences of Having Information at Our Fingertips, *Science* **333**, 776–778 (2011).
- [3] M. Lebrun, *Théories et Méthodes Pédagogiques pour enseigner et apprendre : quelle place pour les TIC dans l'éducation*, De Boeck, 2007.
- [4] S. Soudoplatoff, "Innovation Processes Revisited by Internet", *In Innovative Internet Community Systems*, **3908**, 1–16 (2006).
- [5] ADICODE : Ateliers de l'Innovation et du Co-Design, *Initiatives d'excellence en formations innovantes*, Investissements d'Avenir (2011).
- [6] D. Hug, N. Misdariis, "Towards a conceptual framework to integrate designerly and scientific sound design methods", *In Proceedings of the 6th Audio Mostly Conference : A Conference on Interaction with Sound*, 23–30 (2011).