

Prototyper pour renforcer l'expérience d'apprentissage

Pédagogies en pratique

Sous la direction de
**Hervé Barras et
Lina Forest**



**Prototyper
pour renforcer
l'expérience
d'apprentissage**

Pédagogies en pratique

«Pédagogies en pratique» est une série d'ouvrages dédiés à l'innovation pédagogique et à son impact concret sur l'enseignement et l'apprentissage. Chaque volume propose une sélection minutieuse de dispositifs pédagogiques éprouvés, provenant de divers contextes et institutions éducatives.

Rédigés par des praticien·nes passionné·es et engagé·es, ces ouvrages offrent un regard authentique sur les pratiques novatrices qui transforment l'enseignement supérieur. Nos auteur·rices, des enseignant·es eux-mêmes, partagent leurs expériences, leurs réussites et les défis auxquels ils et elles sont confrontés, offrant ainsi des perspectives pratiques et inspirantes pour tous·tes celles et ceux qui cherchent à améliorer leur pratique pédagogique.

Guidé·es par une approche soutenue par la recherche, nos praticien·nes collaborent avec des équipes d'appui pédagogique pour s'assurer que chaque dispositif est ancré dans le *Scholarship of Teaching and Learning* (SoTL), garantissant ainsi sa pertinence et son efficacité.

Sous la direction d'Emmanuel Sylvestre (Université de Lausanne) et de Stéphane Guillet (Grenoble INP-UGA), cette série se veut un précieux outil pour tous·tes celles et ceux aspirant à créer des expériences d'apprentissage enrichissantes et significatives pour leurs étudiant·es.

Prototyper pour renforcer l'expérience d'apprentissage

Pédagogies en pratique

**Sous la direction de
Hervé Barras et
Lina Forest**



Ouvrage publié avec le soutien de la Haute école pédagogique du Valais, domaine Recherche et développement, soutien à l'enseignement et à l'apprentissage.

HEPVS | PHVS 

Haute école pédagogique du Valais
Pädagogische Hochschule Wallis

Direction générale : Lucas Giossi
Directions éditoriale et commerciale : Sylvain Collette et May Yang
Direction de la communication : Prisca Thür-Bédert
Responsable de production : Christophe Borlat
Éditorial : Alice Micheau-Thiébaud et Jean Rime
Graphisme : Kim Nanette
Marketing digital : Gabriel Hussy
Comptabilité : Daniela Castan
Logistique : Émile Razafimanjaka

Première édition 2024

© Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne

Épistémé est un label des Presses polytechniques et universitaires romandes

ISBN 978-2-88915-572-9, version imprimée

ISBN 978-2-8323-2257-4, version ebook (pdf), doi.org/10.55430/8021VA01

Imprimé en France

Ce livre est sous licence :



Ce texte est sous licence Creative Commons : elle vous oblige, si vous utilisez cet écrit, à en citer l'auteur, la source et l'éditeur original, sans modifications du texte ou de l'extrait et sans utilisation commerciale.

Sommaire

Introduction à l'apprentissage et au prototypage _____	7
Hervé Barras & Lina Forest	

Partie 1

Prototyper pour engager et faire apprendre les étudiants _____	27
---	----

- 1 Allers-retours entre théorie et pratique en électronique** ____ 29
Fanny Poinsothe, Nicolas Ruty, Stéphane Guillet & Aurélie Feron
- 2 Apprentissage authentique comme support à la compétence en médecine vétérinaire** _____ 53
Marjorie Dequenne, Marianne Diez, Catherine Delfosse & Pascal Detroz
- 3 Jeu d'évasion pédagogique en sciences du vivant** _____ 75
Anne Couëdel-Courteille, Maryline Moulin, Béatrice Grijol & Antoinette Bouziane
- 4 Enseignement en éthique pour favoriser la réflexion critique** _ 93
Benjamin Galeran, Kévin Henocq & Violaine Charil

Partie 2

Prototyper dans un environnement riche et dans un milieu s'appuyant sur la créativité _____	111
--	-----

- 5 Explorer l'innovation** _____ 113
Régis Lomba, Quentin D'Aspremont Lynden, Benoît Raucent, Victorien Sonneville, Benoit Macq, Jean-Pierre Raskin & Emmanuelle Brun
- 6 Apprendre à entreprendre: sortir « hors les murs » grâce au prétypage** _____ 135
Stéphane Foliard, Sandrine Le Pontois, Florence Courtade & Évelyne Lefèvre
- 7 Processus de conception collectif innovant** _____ 155
Nathalie Nyffeler & Isabelle Capron Puozzo

Partie 3

Prototyper pour développer des expériences et des affordances

	175
8 L'expérience d'apprentissage: évaluation de différents dispositifs	177
Catherine Tobola Couchepin, Sabine Schär, Hervé Barras, Étienne Dayer & Antoine Perruchoud	
9 Option projet: objectif compétences	201
Alban Leroyer, Morgan Magnin, Émilie Poirson & Gwénaëlle Le Mauff	
10 Une culture de projets intégrateurs en formation d'ingénieurs	229
Anouk Desjardins, Patrice Farand, Daniel Spooner, Catherine Carré & Lina Forest	
Conclusion générale	249
Hervé Barras & Lina Forest	
Bibliographie	259
Présentation des auteurs	275
Remerciements	287
Table des matières	289

Hervé Barras & Lina Forest

Introduction à l'apprentissage et au prototypage

La question de l'apprentissage des étudiants dans l'enseignement supérieur est centrale dans tout cursus de formation. Si ce souci est de plus en plus saillant pour les enseignants et les accompagnants, force est de constater que les stratégies d'apprentissage des étudiants ne sont pas toujours très élaborées. En effet, ces dernières sont souvent le fruit d'habitudes acquises pendant leurs cursus antérieurs (Michaut et Romainville, 2012; Ramage *et al.*, 2020). Il nous paraît donc évident que les étudiants doivent s'acculturer aux normes et aux valeurs de l'enseignement supérieur, mais également à sa manière de construire le savoir et d'apprendre (Alava et Romainville, 2001; Coulon, 1997; Maurice, 2001). Il y a donc une forme d'accompagnement à penser visant, chez les étudiants, le développement de stratégies d'apprentissage efficaces pour réussir leur émancipation au terme de leur formation. Elles leur permettraient d'assumer de manière autonome leur nouveau statut obtenu par leur diplôme universitaire. Dans ce livre, nous portons notre attention sur l'apprentissage des étudiants et sur leurs productions au travers de différents prototypages effectués.

Cet ouvrage a donc pour objectif de documenter spécifiquement la place et le rôle du prototypage dans l'enseignement supérieur. Les dix chapitres qui le composent décrivent des dispositifs pédagogiques intégrant le concept de prototypage, dispositifs documentés scientifiquement et reposant sur les principes du *Scholarship of Teaching and*

Learning (SoTL) (Bélanger, 2010; Biémar *et al.*, 2015). Leurs auteurs proposent des solutions variées et modulées à leur contexte. Bien qu'elles ne soient certainement pas transposables directement dans un autre contexte, elles offrent cependant des exemples inspirants grâce à leur diversité face aux défis de l'apprentissage et du développement des compétences des étudiants.

Les dispositifs en question sont issus de diverses disciplines de l'enseignement supérieur, dont la gestion, la santé, la formation des enseignants, l'ingénierie, les sciences du vivant et les sciences politiques. Les équipes d'auteurs de chaque chapitre, formées d'enseignants du supérieur et d'accompagnateurs pédagogiques, tracent le portrait de leur dispositif: finalité, contexte et problématique où il s'inscrit, concepts mobilisés, description ou scénario pédagogique, résultats observés, discussion et enfin, conseils aux lecteurs qui souhaiteraient implanter un tel type de dispositif.

Que l'on parle d'accompagner au mieux, d'améliorer ou d'optimiser l'apprentissage, de consolider ou d'ancrer les acquis, de développer des compétences disciplinaires ou transversales, tous les dispositifs sélectionnés pour l'ouvrage montrent la volonté commune des enseignants d'améliorer l'apprentissage, tout comme l'expérience d'apprentissage, au travers des divers scénarios développés, où le «faire», le «réaliser», est au cœur des préoccupations. Avant de présenter succinctement les particularités de chacun des chapitres de l'ouvrage, précisons notre vision de l'apprentissage et du prototypage au sein des dispositifs développés.

Gabarits d'apprentissage

Les enseignants du supérieur ont une bonne image de l'activité d'apprentissage, souvent construite à travers leurs parcours personnels d'étudiants, puis d'enseignants-chercheurs. En effet, les efforts consentis pour constituer et réussir cette carrière démontrent bien leur capacité d'apprendre et de surmonter des difficultés de diverses formes. Ils en retirent une expérience personnelle forte et des capacités de travail importantes. Il en découle une variété de pratiques pédagogiques issues des conceptions personnelles des enseignants (Duguet et Morlaix, 2012). D'ailleurs, ces conceptions peuvent avoir un impact sur l'apprentissage, parfois même négatif pour les étudiants (Ménard, 2012). À l'évidence, construire sa compréhension d'un phénomène sur

sa seule expérience, qui pourrait se résumer ici par une succession de réussites, ne devrait pas être retenue comme un cadre de travail valide. En conséquence, voici une vision de l'apprentissage, découpée en six gabarits, afin de formaliser une compréhension de l'expérience d'apprentissage dans un cadre plus large, fournissant également une forme de guide utile à la scénarisation pédagogique du prototypage.

Premier gabarit : la mémoire humaine, apports de la physiologie

La littérature scientifique s'est largement penchée sur la mémoire humaine. Les neuropsychologues montrent clairement que la mémoire est un phénomène multiple. Il n'existe pas une, mais des mémoires (Grimaldi *et al.*, 2015). Dans le cadre de ce chapitre, nous nous restreindrons aux principes organisationnels de la mémoire et non à ses différents modèles, ou à son fonctionnement moléculaire (voir Bear *et al.*, 2002 a; 2002 b).

L'organisation de la mémoire humaine nous fournit un premier gabarit. Elle est structurée en trois temps, l'encodage, le stockage et la restitution (Fayol, 2011). Ils correspondent globalement au tempo de l'enseignement entre la découverte de la matière par l'étudiant, sa conservation dans la structure mnésique et le temps de l'évaluation finale qui permet à l'enseignant de s'assurer de la présence des connaissances. L'encodage est le passage d'une information sensorielle, présente dans l'environnement d'un individu, vers des structures dans son cerveau. Plusieurs facteurs vont favoriser l'encodage de l'information, comme l'activité déployée par l'apprenant, des indices propres à la situation et l'attention. Toutefois, toutes les informations sensorielles reçues, traitées et perçues ne sont pas forcément conservées dans les diverses structures de la mémoire. Une grande partie est perdue et seulement certaines sont consolidées et mémorisées, cela correspond au stockage. Le stockage mnésique est fortement soumis au mécanisme de l'oubli. Les apports de la psychologie cognitive nous aident également à compléter cette compréhension de l'architecture mnésique. La mémoire est classiquement décomposée en mémoire de travail (MdT) et mémoire à long terme (MLT). La MdT possède une capacité limitée en ce qui concerne le contenu et la temporalité (Delaloye *et al.*, 2008), alors que la MLT est quasi illimitée, de longue durée et d'un oubli lent (Croisile, 2009). Aujourd'hui, nous admettons que la MdT

peut contenir entre trois et cinq éléments (Cowan, 2010). Les conséquences sont multiples, notamment pour la charge cognitive limitant la MdT, particulièrement lors d'une surcharge liée à la tâche demandée à l'apprenant (Chandler et Sweller, 1991; Tricot, 1998). En conséquence, il faut être attentif à la présentation des consignes, mais aussi à une scénarisation pédagogique favorisant le développement des automatismes afin de diminuer le recours à la MdT. Ils sont favorablement influencés par une pratique systématique permettant la création de schémas (Bartlett, 1932), par des corrections rapides des erreurs évitant de les consolider (Masson, 2020), mais également par une évaluation régulière (Karpicke et Roediger, 2008). Finalement, au moment opportun, il est possible de restituer ces informations stockées, c'est-à-dire de retrouver les savoirs en reconnaissant une situation, un problème ou en se rappelant activement des savoirs. Cette remémoration est facilitée par la ressemblance du contexte ou de la situation et des indices de rappel, mais également par l'expertise et les connaissances antérieures. La mobilisation des caractéristiques de la mémoire est un gabarit exploitable lors de la construction de situations d'apprentissage (Puma et Tricot, 2021).

La compréhension du fonctionnement mnésique est un gabarit utile à l'enseignement. Il offre une structure propice lors de la préparation, de la scénarisation pédagogique et du choix des tâches pédagogiques demandées. Cependant, bien qu'il devrait influencer favorablement l'apprentissage des étudiants, il est nécessaire de le compléter par des apports ciblés du cognitivisme et des neurosciences.

Deuxième gabarit : les piliers de l'apprentissage, apports du cognitivisme et des neurosciences

Dehaene (2018) propose une synthèse des travaux actuels sur la psychologie et la physiologie de l'apprentissage utile à l'enseignement. Il définit l'apprentissage comme une formidable capacité humaine soutenue par quatre piliers : les phénomènes attentionnels, l'engagement actif des apprenants, le retour sur les erreurs et la consolidation. Nous reprenons ces quatre piliers, tout en nous écartant clairement de la critique sur le constructivisme.

Le premier pilier, l'attention, permet au cerveau de trier et de sélectionner les informations dans l'environnement, de les amplifier, de les approfondir et de les canaliser. Ces fonctions évitent à notre système

de saturer sous la masse d'informations reçues en permanence de la part des systèmes sensoriels. Elles sont communément dénommées la concentration. Celle-ci explique pourquoi les étudiants sont capables d'assister à un cours dans un amphithéâtre bondé et de suivre les propos de l'enseignant malgré le bruit environnant des personnes qui tapent sur leur clavier. Le cerveau amplifie la voix de l'enseignant et annule le bruit environnant. Cet effet peut se retourner contre la personne concentrée qui ne capterait pas une information saillante dans l'environnement. Il est désigné comme la cécité inattentionnelle (*inattentional blindness*). Il a été rendu célèbre par l'expérience du gorille de Simons et Chabris (1999). Dans cette expérience, les participants ont pour tâche de regarder une vidéo et de compter, dans un groupe de six personnes, le nombre de passes effectuées avec des ballons par une équipe de trois. Après quarante secondes, deux événements improbables peuvent se passer : un gorille ou une personne avec un parapluie traverse l'écran pendant cinq secondes. Près de la moitié des participants ne détectent pas cet événement. Cette expérience démontre que le cerveau concentré sur une activité peut écarter de la conscience des événements. Nous retenons que les processus attentionnels sont nécessaires à l'apprentissage, mais il faut veiller au bon positionnement de son focus.

Le second pilier, le concept de l'activité comme aide à l'apprentissage ou l'engagement actif, se retrouve chez nombre d'auteurs en psychologie. Par exemple, la répétition permet de modifier le comportement pour les behavioristes alors que l'action sur le réel explique le développement des connaissances et des capacités pour les constructivistes. Ce lien entre action et développement est un levier puissant. Nous le retrouvons ancré dans le fonctionnement des systèmes biologiques qui ont besoin d'une interaction avec l'environnement pour se développer de manière efficace. Hubel et Wiesel ont démontré et précisé cette idée dans des études aujourd'hui classiques sur la privation sensorielle chez le chaton. Ces auteurs cachent ou entravent un œil des animaux. Il découle de cette absence ou insuffisance de stimulations rétiniennes une altération du fonctionnement comportemental et physiologique (Hubel et Wiesel, 1964; Wiesel et Hubel, 1963). À la même époque, Held et Hein (1963) proposent à des paires de chatons une expérience visuelle similaire dans un carrousel. Le premier se déplace activement alors que le second est entraîné passivement par le premier. Cette privation motrice produit chez l'animal

un comportement semblable à celui d'un chaton aveuglé dans l'expérience précédente. Ils en déduisent qu'un développement fonctionnel nécessite une coordination entre l'expérience visuelle et l'action. Nous retenons que la boucle perception-action est nécessaire à un développement harmonieux et qu'elle se traduit dans l'apprentissage par une nécessité de s'engager activement pour apprendre efficacement.

Le retour sur l'action ou sur les erreurs, le troisième pilier, est un appui à l'apprentissage. Nous retrouvons clairement ce concept dans l'activité motrice et le contrôle moteur. Un geste s'inscrit dans des conditions initiales, un état désiré et un schéma moteur (Schmidt, 1975). Il est le fruit d'une commande motrice générée dans des zones corticales dédiées, puis transmise aux muscles. Cette commande est copiée et envoyée au cortex sensoriel, c'est la copie efférente (von Helmholtz, 1925; von Holst et Mittelstaedt, 1950). Le retour d'information est assuré par les systèmes sensoriels comparant à la copie efférente l'état attendu et les conséquences de l'action. Le retour d'information est donc profondément présent dans les systèmes physiologiques et est fonction du retour et des attentes. Dans cette vision, nous retrouvons le concept du schéma mental décrivant une structure de connaissance rationalisée et hiérarchisée, évoluant selon les apprentissages et les expériences (Bartlett, 1932; Rumelhart *et al.*, 1987). Reason (1990) propose un panorama très large sur les erreurs humaines. Il insiste sur la nécessité d'analyser les erreurs pour progresser. Cette analyse ne se fait pas au travers du système de notation. En effet, la note est un outil de jugement de la performance et non d'apprentissage. Butera (2011) explique ce constat au travers de fausses idées sur les notes qui risquent davantage de produire une menace sur l'apprenant et de le placer en mode de survie au détriment de l'apprentissage. En effet, s'il est probable que la notation induise de la motivation pour l'apprenant, l'effet inverse est également possible. Dans ce dernier cas, l'apprenant peut rapidement développer de l'impuissance acquise (Ric, 1996; Seligman et Maier, 1967). Autrement dit, peu importe ses efforts, il n'est pas récompensé. En retour, il abandonne avant même de débiter. Cependant, des tests réguliers, systématiques et portant sur l'ensemble du cours influencent positivement l'apprentissage en réactivant les connaissances (Karpicke et Roediger, 2008). De ce fait, le retour sur l'erreur fournira une information riche et précise sur la production de l'apprenant en mettant en évidence les schémas qu'il utilise, tout en gardant en ligne de mire sa progression.

Le quatrième pilier, la consolidation, tend à libérer une partie des ressources cérébrales nécessaires à une nouvelle acquisition. Elle permet de rendre inconscient et automatique le nouveau schéma appris grâce à la pratique et à l'expérience. Par exemple, tout conducteur automobile se souvient des difficultés rencontrées lors de son apprentissage, puis de l'aisance très relative lors de l'obtention de son permis. Il est aussi capable, aujourd'hui, de parler ou de réfléchir à autre chose en effectuant un créneau, ce qui n'est évidemment pas une bonne idée, mais démontre l'automatisation des schémas de la conduite. D'ailleurs, lors de l'utilisation d'un nouveau véhicule, ce conducteur expert doit adapter son comportement et ses schémas à ce changement. Dans une expérience classique, Stroop (1935) propose une tâche de dénomination de couleur de l'encre de mots. Elle est rendue plus difficile et la dénomination est ralentie lorsqu'il présente un nom de couleur non apparié à l'encre, par exemple le mot ROUGE écrit en vert. Le participant doit dans ce cas inhiber le traitement automatique de la lecture, au profit de la dénomination de la couleur du mot. Cette expérience démontre que la lecture devient, après un long apprentissage, un processus automatisé. Le sommeil est une variable importante de ce quatrième pilier. Il assure une consolidation de la mémoire par une réactivation neuronale durant la nuit dans différentes zones cérébrales (Bertran, Harand *et al.*, 2013). Finalement, ce mécanisme favorise l'automatisation des schémas à l'aide de la pratique et d'une bonne hygiène de vie.

Les quatre piliers de l'apprentissage proposent ainsi un deuxième gabarit profitable au prototypage d'une démarche d'apprentissage. Ce gabarit est parfaitement mobilisable dans la scénarisation d'un enseignement. Ces quatre piliers devraient prendre corps dans un dispositif d'enseignement qui se saisit de l'environnement proposé par l'équipe enseignante.

Troisième gabarit : richesse de l'environnement, quelques apports ciblés du constructivisme

Il est essentiel de revenir sur certains concepts développés par Piaget (1947; 1975) dans son explication du développement de l'intelligence, afin de mieux appréhender certains mécanismes de l'apprentissage utiles à la conception de l'enseignement (pour aller plus loin, voir aussi Montangero et Maurice-Naville, 2019). Nous retiendrons l'idée que l'intelligence est comprise comme une adaptation ou, plus généralement,

comme une acquisition de connaissances nécessitant une interaction entre l'environnement et le sujet. Les connaissances et la compréhension de ce dernier se modifient lorsqu'il peut expérimenter et bricoler avec le réel. Cette confrontation au réel doit permettre l'émergence d'un conflit cognitif, afin que l'individu puisse prendre conscience de l'inefficacité de son schéma ou de ses connaissances. L'émergence d'un déséquilibre dans les structures cognitives de l'individu peut déboucher sur une rééquilibration, dite majorante, c'est-à-dire une connaissance, ou encore une structure cognitive mieux adaptée afin de résoudre efficacement le problème.

Chez Piaget, le biologiste, il y a bien une équivalence claire entre l'observation du biotope et de l'organisme. Cependant, cette équivalence semble moins évidente chez l'épistémologue entre le développement de l'intelligence et l'environnement dans lequel interagit le sujet. Toutefois, l'accommodation permet la modification des schèmes par l'action du milieu. Donc, le milieu interagit avec le sujet en modifiant ses structures cognitives. En s'appuyant sur cette idée, l'enseignant doit offrir des possibilités d'interactions riches avec le milieu composé d'une tâche ou d'un objet, renvoyant au sujet de l'information, par exemple, un prototype qui fonctionne *versus* un qui ne fonctionne pas. Ainsi l'apprenant pourra modifier sa compréhension. Un milieu est considéré comme riche lorsque les informations qu'il renvoie sont de qualité, à l'inverse d'un milieu stérile qui n'offre pas d'interaction.

Cette compréhension de l'apprentissage semble particulièrement enrichissante. Toutefois, il faut veiller à éviter une surcharge de la mémoire de travail lors de la réalisation d'une activité trop complexe. Si cette surcharge devait survenir, il n'y aurait pas d'acquisition possible, et par conséquent, on ne pourrait obtenir l'apprentissage attendu. Il faut donc s'assurer que l'apprenant possède bien les automatismes nécessaires à l'exécution de la tâche complexe demandée. De plus, un soutien de la part de l'enseignant se révèle nécessaire, particulièrement au début de la tâche (van Merriënboer *et al.*, 2003). De fait, sans retour rapide sur l'erreur par l'enseignant, c'est l'erreur qui risque d'être consolidée en mémoire à long terme (Masson, 2020).

Il en découle pour l'enseignement un troisième gabarit : la richesse de l'environnement. Ce dernier favorise l'émergence de conflits. Pour mobiliser cette richesse, il est intéressant d'avoir quelques clés de compréhension issues de la recherche sur la perception.

Quatrième gabarit : l'affordance, apport de la psychologie de la Forme et de la perception directe

La *Gestalt* psychologie, ou psychologie de la Forme, se développe en marge du courant dominant qu'est le behaviorisme, dans la première moitié du XX^e siècle aux États-Unis. Elle recherche des lois d'organisation du comportement qui prennent sens au sein d'une structure dénommée Forme ou *Gestalt*. Le sujet explore son environnement pour « construire » une organisation stable comme cadre à son action (Köhler, 1964). Une Forme est composée de plusieurs éléments, mais elle est plus que la somme de ses parties. Ce principe se retrouve dans des figures ambiguës comprenant des complétions avec trois camemberts formant un triangle, ou comportant deux images en une, comme le célèbre dessin « Ma femme et ma belle-mère », dans lequel certains reconnaissent une jeune femme et d'autres une femme âgée. Il n'est pas possible de percevoir les deux images à la fois. Seule une image est accessible à la perception. On peut néanmoins basculer de l'une à l'autre. Ce basculement se retrouve également dans la résolution de problèmes. Cette dernière est souvent brusque et fonction des expériences antérieures. De ce courant émerge la proposition d'une perception directe de l'environnement. Elle est formalisée par Gibson (1979) au terme d'une carrière prolifique et d'une construction itérative. Le psychologue américain comprend l'environnement comme ce qui est perçu par un observateur, et qui n'est donc pas l'équivalent du monde physique. L'environnement est appréhendé directement au travers des flux perceptifs, sans recours à une évaluation ou à une mécanique computationnelle. La perception est un processus dynamique entre l'observateur et l'environnement. Cet accès perceptif direct offre des possibilités d'interaction avec l'environnement qui sont accessibles à l'observateur à l'aide d'invariants. L'affordance est un invariant de haut niveau qui invite l'observateur à interagir avec son environnement en lui suggérant le mode d'utilisation qu'il peut en faire. L'affordance d'un objet donne ainsi accès à l'éventail d'actions possibles par rapport à lui, par exemple, elle permet de déterminer si l'on peut marcher sur telle texture ou si l'on peut nager dans ce lac.

Bien que l'œuvre de Gibson soit focalisée sur la perception visuelle, une partie de ses idées sont transposables dans le monde de l'apprentissage. D'ailleurs, Crawford (2016) identifie des liens entre le concept d'affordance et l'apprentissage. Il propose une procédure permettant

de calibrer l'action qu'il nomme « gabarit ». Nous reprenons cette idée en l'élargissant. Les gabarits sont, à l'image des schémas mentaux de Bartlett (1932), des structures qui donnent accès directement à l'apprentissage. Les gabarits nécessitent une organisation de l'environnement et offrent des possibilités d'action propres à chaque individu. Ainsi, l'organisation par un professionnel de son plan de travail, par exemple un plateau d'instruments chirurgicaux, sera perçue comme une suite d'outils en métal pour un pédagogue, mais comme la représentation d'une opération précise pour un chirurgien. Les gabarits réduisent en conséquence les degrés de liberté offerts dans un environnement propre, puisque l'information est contenue et directement accessible. Chez l'expert, le gabarit organise l'environnement en facilitant le suivi de la tâche, en percevant ou en anticipant les composantes successives de la tâche et en prédisant les effets de son action sur l'objet (Kirsh, 1995). Nous utilisons également un processus de « délocalisation » de l'apprentissage dans l'environnement lorsque nous effectuons un calcul complexe, en nous aidant d'un papier et d'un crayon, ou lorsque nous notons des idées sur un calepin. Cette délocalisation, ou cognition étendue, évite une surcharge de la mémoire de travail, ou laisse de l'espace libre pour d'autres besoins.

Nous conservons de cette approche un quatrième gabarit: le gabarit comme une bonne forme ou une organisation dans l'environnement directement perceptible, offrant des possibilités d'action et de réflexion. Afin de favoriser l'utilisation de l'environnement, une analyse de pratiques devrait faciliter sa compréhension, comme nous allons le voir.

Cinquième gabarit : l'expérience d'apprentissage, apports de l'analyse de l'activité

À de rares exceptions, il est impossible pour un individu de se rappeler tout ce qu'il a fait durant une journée, une semaine, ou plus. Nous avons vu également que ce souvenir s'estompe avec le temps. Cependant, il est possible d'apprendre de son vécu, c'est ce que les professionnels nomment l'expérience. Pastré (2013) définit l'expérience comme la capacité d'une personne à transformer un simple vécu en un événement assumé. Nous ajoutons que ce vécu devrait être également compris et explicable ou relié avec diverses connaissances. Nous retrouvons cette idée dans le concept de la pratique réflexive et de la boucle pratique-analyse-généralisation-transfert (Kolb, 1984).

La pratique réflexive est une démarche qui a pour but de donner du sens aux activités en les reliant aux connaissances. Avec celle-ci, il est possible d'élaborer une expérience. Ceci nécessite une forme de doute qui doit habiter la personne qui s'y astreint. La situation vécue n'est pas ce qui instruit l'individu, mais bien ce qui dérange, contraire, questionne, heurte au point que la personne puisse douter. Ce doute naît d'une situation qui n'est pas explicable et devient le point de départ d'un questionnement et d'une enquête (Dewey, 2006). L'intention de cette enquête est bien de modifier les conceptions (Zask, 2019). Pierce (1877, dans Zask, 2019) relève quatre méthodes d'enquête qui permettent de déterminer les connaissances: la ténacité (par force de répétition, on stabilise les croyances); l'autorité (on impose ses idées aux autres par divers moyens: contrainte, manipulation, violence); l'a priori (l'idée est acceptée car plaisante); finalement, la méthode scientifique (utilisation d'hypothèses déduite des connaissances, et des observations objectivant le réel, le tout partagé). Il découle de cette explication le besoin d'une méthode pour mener l'enquête afin d'éviter les écueils.

Reason (1990) propose un large modèle d'analyse de l'erreur qui se révèle être un modèle quasi exhaustif d'explicitation de l'activité. Dans son modèle, l'erreur apparaît dans un système complexe et est rarement réductible à une seule composante. Cette vision s'est bien diffusée auprès de certains professionnels, par exemple les pilotes ou les médecins qui structurent leur manière d'apprendre en analysant systématiquement et en groupe leur pratique (Barras et Ghiringhelli, 2022; Barras et Mauron, 2019; Barras *et al.*, 2020). Nous avons observé également leur capacité à imaginer des situations dégradées au travers d'un questionnement de type «que faire si un problème survient», dans le but de trouver une solution réaliste en amont. Ici, nous sommes proches d'une préparation mentale qui favorise le potentiel de l'individu, en recherchant une forme d'optimum de fonctionnement (Heuzé et Lévêque, 1998; Raimbault et Pion, 2004; Vignes *et al.*, 2013). Ces pratiques militent en faveur d'une pratique réflexive comme construction de l'expérience d'apprentissage, où l'enseignement théorique et la confrontation à la pratique se complètent mutuellement afin de créer du sens.

Cette pratique réflexive constitue le cinquième gabarit. Elle structure l'apprentissage en permettant d'analyser ou de projeter l'activité entre ces deux mondes que seraient la théorie et la pratique pour n'en

fournir qu'un, celui de l'expérience. Dans le but de mobiliser ce gabarit, il est nécessaire pour l'enseignant de proposer aux étudiants un environnement favorisant les apprentissages.

Sixième gabarit : le milieu, apport des didactiques

Un système se compose d'un ensemble complexe d'éléments en interactions dynamiques et organisés selon un but. Définir un système, c'est considérer un objet comme une partie active dans un tout englobant dont l'ensemble est interprété par son comportement et ses ressources. De ce point de vue, l'enseignement dans une institution universitaire comprend plusieurs parties en interaction les unes avec les autres qui composent un « système ». L'enseignement est habituellement défini entre deux partenaires : l'enseignant et l'apprenant. Cependant, ces parties sont en relation avec une troisième : le savoir. Ces trois parties s'insèrent dans un contexte institutionnel donné. La rencontre de ces parties forme le système didactique : enseignant, apprenant et savoir (Chevallard, 1999). Le système didactique offre un cadre de réflexion et d'action qui permet de déployer les différents gabarits décrits.

Brousseau (1988) modélise le concept de milieu avec les variables que sont les activités, les tâches, les matériaux réels, symboliques et/ou virtuels, les ajustements, les régulations et le contrat. Il donne ainsi un outil permettant de penser et d'agir sur une situation d'enseignement. Dans ce modèle, l'enseignant crée et propose des situations plus ou moins complexes dans un milieu dont l'objectif est de provoquer des apprentissages attendus chez l'apprenant. Bien que l'enseignant propose un milieu, c'est bien l'apprenant qui s'approprie ce milieu grâce à ses mécanismes perceptifs et à ses expériences antérieures. Nous relierons clairement la proposition de Brousseau à celle de l'affordance de Gibson. Ici, le même outil ou matériel n'offrira pas les mêmes « invites » en fonction des expériences antérieures, d'expertises ou de possibilités de l'apprenant. Nous utiliserons le concept de milieu en tenant compte des apports de la perception directe de Gibson, sans trahir ceux de Brousseau.

Nous comprenons donc le milieu comme un lieu d'apprentissage réel ou virtuel offert par la situation d'apprentissage créée par l'enseignant. Il est issu du système didactique. Cependant, la manière d'interagir dans ce milieu dépend des affordances des différents protagonistes

et de leurs expériences antérieures ou de la scénarisation (Miras et Burrows, 2021, p. 207-208). Le milieu est bien fonction de l'enseignant, mais également de l'étudiant selon les affordances qu'il possède dans le milieu proposé. Nous possédons ainsi un modèle interactif d'analyse de l'activité des prototypages qui est le dernier gabarit : le milieu issu du système didactique.

Au terme de ce rapide panel sur l'apprentissage, nous retenons les six gabarits décrits : la mémoire, les piliers de l'apprentissage, la richesse de l'environnement, l'affordance, l'expérience d'apprentissage et le milieu (tableau 1). Ils peuvent se déployer dans la scénarisation pédagogique et pendant le déroulement de l'activité d'enseignement. Ils sont des balises que l'enseignant peut utiliser dans sa réflexion pédagogique. Ils offrent un cadre et des outils à la préparation des enseignements à acquérir et des tâches à construire pour les étudiants. Chacun de ces gabarits permet de calibrer et de favoriser l'apprentissage des étudiants dans un contexte de formation donné.

TABLEAU 1 Les six gabarits d'apprentissage.

1. La mémoire	4. L'affordance
2. Les piliers d'apprentissage	5. L'expérience d'apprentissage
3. La richesse de l'environnement	6. Le milieu

Prototypage

En fonction du type de dispositif didactique dans lequel il s'insère, le prototypage peut être compris de deux manières. Il constitue une des étapes de tout processus de conception de produits, systèmes ou marchés (Camburn *et al.*, 2017) qui, transposé dans une activité pédagogique, permet à l'étudiant de tester ou de créer des apprentissages. Il fait également partie du processus de recherche en conception (Plomp, 2013). Le prototypage revêt aussi la forme d'une stratégie ou d'une approche pédagogique qui permet à l'étudiant de se confronter au réel par l'action. Voyons ce qui distingue ces deux représentations du prototypage.

Le prototypage comme savoir à construire

Le prototype représente, selon son étymologie, la forme primitive ou le premier modèle réel d'un objet (Rey, 1998). Nous retrouvons également cette idée dans l'enseignement et dans l'apprentissage. Dans certaines formations professionnalisantes, comme l'ingénierie, les sciences du design, l'architecture ou la gestion, le prototypage constitue un des savoirs à construire dans le système didactique que forme l'enseignant, l'apprenant et le savoir. Le prototypage y est connu comme l'une des étapes de presque tous les projets de conception de produits, de systèmes ou de services (Camburn *et al.*, 2017). Plus spécifiquement, Otto et Wood (2001) le définissent comme un artefact représentant une ou plusieurs caractéristiques d'un produit, d'un système ou d'un service en développement. Aussi bien virtuel que physique, il peut aussi s'appliquer à un sous-ensemble ou à une version réduite des exigences de conception. Et dans le cas où construire un prototype physique et fonctionnel n'est pas une option, des maquettes peuvent alors s'avérer très utiles (Sefelin *et al.*, 2003).

Dans leur revue de littérature de plus de 300 articles en lien avec le processus de prototypage, Camburn *et al.* (2017) ont identifié quatre principaux objectifs liés au prototypage (tableau 2). Le premier est l'amélioration progressive du design pour en valider les exigences, dévoiler des problèmes de conception, réduire des erreurs, améliorer les performances, etc. Le deuxième est la communication et le partage de l'information avec l'équipe de conception sur certains concepts ou avec d'éventuels utilisateurs. Le troisième est l'exploration ou la recherche de nouveaux concepts ou produits, pratique très répandue chez les concepteurs en industrie. Le dernier est l'acquisition ou l'approfondissement de connaissances, particulièrement dans sa compréhension de l'espace de conception et de ses variations selon son contexte.

TABLEAU 2 Les quatre objectifs du prototypage, selon Camburn *et al.* (2017).

-
1. améliorer progressivement
 2. communiquer l'information
 3. explorer de nouveaux concepts
 4. développer/approfondir des connaissances
-

Quand il est question de prototypage à des fins d'amélioration, de communication ou d'exploration, les diverses itérations de prototype réalisées par les professionnels de la conception reposent sur les savoirs théoriques construits au cours de leur formation et sur leur pratique. Soutenus par une pratique réflexive, ils enrichissent ainsi ce que Pastré (2013) nomme l'expérience. Quant au dernier objectif répertorié par Camburn *et al.* (2017), le rôle du prototypage y est plutôt celui de développer une stratégie ou une expérience d'apprentissage. C'est de cette réalité qu'il sera question dans cet ouvrage.

En éducation, le prototypage fait également partie du corpus de connaissances à construire. Dans son chapitre d'introduction à la recherche en conception pédagogique, Plomp (2013) identifie trois phases communes dans les diverses représentations du processus de recherche en conception. La première est la recherche préliminaire: analyse des besoins et du contexte, revue de littérature, développement d'un cadre conceptuel ou théorique de l'étude. La deuxième est le développement ou le prototypage. La dernière est l'évaluation, pour conclure si l'intervention ou la solution répond aux spécifications prédéterminées.

Pour ce qui est de la phase de développement ou de prototypage, Plomp (2013) la décrit comme celle où le chercheur réalise une version provisoire d'une intervention éducative avant de la mettre en œuvre. En fait, ce sont plusieurs versions ou itérations de prototype qui seront développées, documentées et révisées avant d'arriver à celle qui sera implantée et évaluée formellement. Il précise aussi que tout processus de recherche en conception englobe les phases du processus de conception: analyse, conception, évaluation et révision, où la phase de conception correspond ainsi à la phase de développement et de prototypage. Lorsqu'on accède à la profession d'enseignant par un programme de formation, le processus de conception, tout comme le processus d'apprentissage présenté en début de chapitre, fait partie des outils essentiels à maîtriser. À l'aide du gabarit de la pratique réflexive, l'enseignant, au même titre que le pilote ou le médecin, conçoit ses dispositifs d'enseignement et d'apprentissage en alternant entre théorie et pratique, et bâtit ainsi lui aussi son expérience. Dans cet ouvrage, chaque dispositif présenté est le résultat du prototypage d'une intervention éducative réalisé par des enseignants universitaires dans l'enseignement de leur discipline.

Le prototypage pour apprendre

Le prototypage est une stratégie qu'on peut très bien exploiter dans l'enseignement de diverses disciplines pour permettre à un apprenant de représenter tout autant une idée, un événement ou une communication qu'un produit, un système ou un service. Les prototypes réalisés le placent ainsi en rapport avec des outils réels ou symboliques qui vont lui permettre de s'engager dans son apprentissage, d'évaluer son action, de recevoir une rétroaction sur cette dernière et enfin de l'améliorer. Cette stratégie s'intègre bien aux diverses représentations ou gabarits de l'apprentissage proposés précédemment. En voici quelques exemples.

Dans le gabarit de la mémoire humaine, le prototypage intervient en proposant la situation ou le problème qui permet à l'étudiant de faire appel à ses savoirs emmagasinés. Avec le principe des itérations, associé au processus de prototypage, l'étudiant dispose de plusieurs moments pour tester et valider sa connaissance. Si l'on s'inspire des travaux de Piaget et plus largement de ceux du courant constructiviste, le prototypage offre le contexte d'expérimentation qui permet à l'étudiant d'éprouver ses connaissances, de les questionner par rapport à la situation pour les renforcer, les modifier et en développer de nouvelles. D'ailleurs, en convoquant également Gibson, le prototype renvoie directement à l'apprenant un retour sur son fonctionnement, mais aussi sur ses possibilités.

Transposées dans le gabarit des piliers de l'apprentissage de Dehaene, les expériences de prototypage proposées dans les chapitres suivants proposent toutes l'engagement actif de l'étudiant dans une situation proche de celles présentées ou étudiées. Et pour autant que les dispositifs des enseignants aient prévu une rétroaction de qualité, riche et ciblée, en cours d'apprentissage ou, dit autrement, qu'ils aient planifié le retour sur l'action, l'apprentissage est en voie de consolidation pour usage futur.

Structure de l'ouvrage

L'ouvrage est divisé en trois parties. Nous reconnaissons d'emblée que la répartition peut être discutable : certains chapitres auraient pu basculer d'une partie à l'autre selon l'endroit où se place le focus. La première partie, « Prototyper pour engager et faire apprendre les étudiants », présente quatre dispositifs implantés dans des disciplines différentes. Les visées communes de ces chapitres sont d'influencer l'apprentissage des

étudiants, en s'appuyant particulièrement sur la mémoire et les piliers de l'apprentissage par la réalisation d'une production.

Le chapitre 1, « Allers-retours entre théorie et pratique en électronique », se déroule dans un enseignement d'électronique obligatoire destiné à un groupe de 160 étudiants de première année d'une école d'ingénieurs française, Grenoble INP Phelma. Bien que fondamental dans la formation d'ingénieur, l'électronique n'est pas au cœur du métier choisi par tous les étudiants concernés. Un projet semi-guidé où les étudiants réalisent individuellement un montage électronique vise à augmenter leur motivation par rapport à cette discipline et à ancrer davantage les apprentissages débutés dans les cours théoriques.

Le dispositif présenté au chapitre 2, « Apprentissage authentique comme support à la compétence en médecine vétérinaire », prend place dans des travaux pratiques requis en médecine vétérinaire à l'Université de Liège en Belgique. Plus spécifiquement, ils s'inscrivent dans une unité d'enseignement (UE) qui traite de la nutrition et de l'alimentation des animaux de compagnie. L'UE s'adresse à une cohorte de près de 300 étudiants en master 1 (quatrième année), dont l'intérêt pour le sujet est variable, selon l'orientation professionnelle envisagée. L'élément central du dispositif consiste en une simulation de consultation nutritionnelle, la plus près possible d'un contexte authentique, c'est-à-dire d'une situation professionnelle que les étudiants pourraient être appelés à vivre.

Le chapitre 3, « Jeu d'évasion pédagogique en sciences du vivant », montre un dispositif implanté auprès d'une quinzaine d'étudiants à l'Université de Paris. Au cours de cet enseignement facultatif, les étudiants doivent réaliser le prototype d'un jeu qui sera, en dernière étape du dispositif, expérimenté auprès des membres de la communauté universitaire. Le dispositif implanté vise à faire approfondir les connaissances disciplinaires des étudiants, tout en favorisant le développement de certaines compétences transversales.

Pour ce qui est du chapitre 4, « Enseignement en éthique pour favoriser la réflexion critique », les auteurs y décrivent un scénario pédagogique mis en place dans une unité d'enseignement optionnelle intitulée « Éthique et pouvoir » à l'Université de La Rochelle. Les deux enseignants impliqués ont choisi de travailler en co-intervention dans le cours. Proposé à des étudiants de licence en première et deuxième année de l'ensemble des facultés, le dispositif cherche à développer la réflexion critique autour de sujets historiques et contemporains. Entre

35 et 40 étudiants par trimestre s'y inscrivent. La réflexion des deux enseignants, concepteurs du dispositif, les a conduits progressivement dans une démarche SoTL qu'ils explicitent.

La deuxième partie de l'ouvrage s'intitule « Prototyper dans un environnement riche et dans un milieu s'appuyant sur la créativité ». Dans les trois chapitres qui la composent, le prototypage constitue une étape cruciale d'un processus ou d'une approche en lien avec la créativité et l'idéation. Nous voyons le gabarit de la richesse de l'environnement qui profite aux dispositifs pédagogiques proposés, ainsi que la mobilisation d'un milieu didactique qui soutient le développement de l'apprentissage et des compétences des étudiants.

Au chapitre 5, « Explorer l'innovation », les auteurs traitent du rôle et de la nature du prototypage dans un cours à option pour développer l'esprit d'innovation à l'École polytechnique de Louvain, en Belgique. Les 24 étudiants de quatrième année du cours, sélectionnés à partir d'un dossier de candidature, proviennent de différents parcours de formation ou programmes (ingénierie, architecture, etc.) et d'universités belges et internationales. Dans le dispositif proposé, les étudiants participent à deux parcours d'innovation, « l'exercice de lancement » et « le grand challenge », où ils doivent suggérer des solutions concrètes aux problèmes qui leur sont soumis. À travers ces expériences, ils peuvent constater les différents rôles que peut prendre le prototypage.

Trois dispositifs différents, offerts dans des programmes d'éducation à l'entrepreneuriat à l'Institut universitaire de technologie de Roanne, sont discutés au chapitre 6, « Apprendre à entreprendre : sortir "hors les murs" grâce au prototypage ». Bien que de durée différente, ils ont en commun l'utilisation d'une approche *design thinking* afin d'élaborer et de tester une idée d'affaires auprès d'un public cible. Une des phases de l'approche, celle de la créativité et de l'idéation, a pour but de mobiliser ces capacités chez les étudiants. Elle prévoit une étape de prototypage qui valide la proposition en la confrontant rapidement. Les auteurs se sont demandé si cette étape, dans les trois dispositifs, pouvait aider les membres des équipes d'étudiants à construire une vision commune du projet et favoriser leur insertion dans l'environnement d'affaires.

Le dispositif décrit au chapitre 7, « Processus de conception collectif innovant », s'inscrit dans une formation de master en innovation de la Haute école spécialisée de Suisse occidentale. Au cours d'une année, des groupes d'étudiants interdisciplinaires vivent une démarche de

conception innovante à partir d'opportunités d'affaires proposées par des entreprises. Ils sont plongés dans un processus créatif qui comprend le développement d'un prototype. Après avoir décrit de façon élaborée ce qu'est la créativité, les autrices discutent de l'impact du développement des prototypes sur la créativité des étudiants.

Dans la troisième partie, «Prototyper pour développer des expériences et des affordances», le fil conducteur des trois chapitres se situe sur le plan du décloisonnement des aspects théoriques et pratiques pour améliorer l'expérience d'apprentissage et permettre le développement de compétences professionnelles et transversales de façon plus intégrée entre les savoirs savants et les expériences vécues. Dans cette partie, les gabarits de l'expérience d'apprentissage et des affordances sont mobilisés au travers des différents prototypages.

Le chapitre 8, «L'expérience d'apprentissage: évaluation de différents dispositifs», présente et compare quatre dispositifs pédagogiques en se concentrant sur la motivation des étudiants à s'engager dans les études et sur les méthodes d'apprentissages proposées. Deux des dispositifs sont exposés sous forme de «Team Academy», les deux autres de manière duale. Développés dans des hautes écoles suisses pour des formations professionnalisantes en économie d'entreprise, soins infirmiers, enseignement primaire et enseignement secondaire, les dispositifs ont tous en commun d'utiliser une pédagogie de la formation en alternance, c'est-à-dire à la fois académique et pratique, ce qui permet aux étudiants de se confronter à la réalité et de créer de nouvelles affordances ou invitations à l'action. De plus, ces dispositifs s'appuient sur la réflexivité comme soutien au développement des compétences professionnelles.

L'«option projet: objectif compétences», dont il est question au chapitre 9, correspond à une année de spécialisation, en deuxième et troisième année d'un cursus d'ingénieur à l'École centrale de Nantes, qui s'éloigne du modèle d'enseignement plus classique où les cours et travaux pratiques sont souvent plus cloisonnés. Le dispositif imaginé propose un projet unique qui permet de mieux intégrer le développement de compétences transversales à celles techniques et scientifiques. Le projet d'envergure, dans lequel un partenaire extérieur est associé, place *de facto* les étudiants dans une réalité leur permettant de développer une expertise et des affordances.

Le chapitre 10, «Une culture de projets intégrateurs en formation d'ingénieurs» présente trois exemples de cours-projets dans lesquels

les étudiants réalisent un processus de prototypage. Implantés à Polytechnique Montréal, depuis le début des années 2000, dans tous les programmes d'ingénieur, ces dispositifs veulent contribuer à la consolidation des acquis par leur application à une situation authentique. Ils sont également conçus pour favoriser le développement de compétences en travail d'équipe, gestion de projet et communication.

Partie 1

**Prototyper
pour engager
et faire apprendre
les étudiants**

Fanny Poinsothe, Nicolas Ruty,
Stéphane Guillet & Aurélie Feron

1 Allers-retours entre théorie et pratique en électronique

Résumé

Dans ce chapitre, nous présentons un exemple d'enseignement d'électronique à l'École nationale supérieure de physique, électronique, matériaux de l'Institut polytechnique de Grenoble (INP-Phelma), école d'ingénieurs française. La cohorte concernée est composée de 160 étudiants de première année, équivalent à une L3. Pour améliorer les apprentissages dans une discipline qui n'est pas leur cœur de métier, nous proposons un enseignement articulé notamment un cours et un bureau d'études dans lequel s'effectue une activité de prototypage, ici un montage d'électronique conçu et réalisé de A à Z par les étudiants. Le scénario pédagogique global choisi pour l'enseignement est présenté, les choix faits en ce qui concerne le mode de travail sont explicités. Nous interrogeons notamment le mode d'évaluation choisi et la place très importante accordée au prototype fonctionnel. Nous montrerons que l'activité de prototypage permet une plus forte motivation des étudiants, réduit dans une certaine mesure l'hétérogénéité de la cohorte et permet d'ancrer davantage les apprentissages.

Contexte et problématique

En 2008, le panorama des écoles d'ingénieurs change à Grenoble. Trois écoles d'ingénieurs de spécialités différentes (une spécialisée en

électronique, une en physique et l'autre en matériaux) fusionnent pour donner l'école Phelma, une des six écoles de l'Institut polytechnique Grenoble INP. Phelma en est la plus grande école¹: 360 étudiants par promotion, répartis en première année en deux sous-promotions thématiques que l'on appelle troncs communs, l'un en physique, matériaux et procédés (PMP) et l'autre en physique, électronique et télécoms (PET). Ces deux troncs communs regroupent les étudiants selon leurs préférences: physique et chimie en PMP; informatique, électronique et traitement du signal en PET.

Les écoles d'ingénieurs en France accueillent les étudiants en équivalent de troisième année d'études supérieures (3^e bachelor). Les étudiants de Phelma viennent pour 70 % d'entre eux de classes préparatoires aux grandes écoles et pour 30 % du cycle préparatoire INP (écoles publiques d'ingénieurs), d'IUT (Institut universitaire de technologie) ou de troisième année à l'université.

L'électronique est une matière fondamentale pour tous nos étudiants: ils doivent suivre au moins une unité d'enseignement (UE) d'électronique. L'UE décrite dans ce chapitre s'adresse aux 180 étudiants ayant choisi le tronc commun PMP. Ces étudiants sont plutôt des physiciens et des chimistes, et sont souvent plus intéressés par la théorie que par la pratique. L'objectif de l'équipe enseignante est d'en faire des interlocuteurs crédibles lorsqu'ils auront à traiter avec des experts en électronique et en instrumentation.

Certaines contraintes sont à considérer dans la planification de ces enseignements. Tout d'abord, la taille de la cohorte est importante. Il y a 180 étudiants répartis en cinq groupes de 36 étudiants, qui suivent des cours en parallèle avec des enseignants différents. Ensuite, l'emploi du temps global des étudiants est chargé et fortement conditionné par l'alternance des groupes dans les locaux. Cela nous oblige souvent, malheureusement, à adapter l'enchaînement pédagogique à l'emploi du temps, plutôt que l'inverse.

Concepts

Apprentissages en profondeur

Dans ce chapitre, nous présentons les solutions mises en place pour transformer les apprentissages de surface du cours d'électronique en

¹ Grenoble INP propose également un cycle préparatoire intégré et compte aujourd'hui huit écoles: www.grenoble-inp.fr

apprentissages en profondeur (Parmentier et Vicens, 2019), en nous appuyant sur l'activité de prototypage. En effet, les travaux de Piaget (1924), et plus largement ceux du courant constructiviste (Larochelle et Bednarz, 1994; Ménard et St-Pierre, 2014), soulignent l'importance du « faire » et du « faire soi-même » pour développer et renforcer les apprentissages. Globalement, nous avons notamment tenté de cibler les processus cognitifs de haut niveau de la taxonomie de Bloom révisée (analyse, évaluation, création) par Krathwohl (2002). Or, plus le niveau acquis par l'étudiant est élevé, plus il sera capable de réutiliser ce savoir et plus celui-ci sera ancré en profondeur (Prégent, Bernard, et Kozanitis, 2009).

Nous entendons par « apprentissage en profondeur » « la mémorisation à long terme et le transfert de connaissance, de sorte qu'un étudiant soit capable d'appliquer plus tard et dans un autre contexte ce qu'il a appris ici et maintenant » (Parmentier et Vicens, 2019, p. 6).

Nous avons travaillé selon deux objectifs pédagogiques. Nous souhaitons d'une part améliorer la motivation des étudiants. D'autre part, nous cherchions à tenir compte de l'hétérogénéité forte des étudiants arrivant en première année d'école d'ingénieur, en ce qui concerne les prérequis en électronique. Il s'agissait donc de vérifier si le dispositif pédagogique permettait ou non de réduire les écarts de départ en termes d'apprentissages en électronique. Les choix pédagogiques que nous avons faits visent à répondre à ces problématiques (ancrage des apprentissages, motivation et hétérogénéité) : nous avons cherché à renforcer l'intérêt des étudiants pour cet enseignement, leur motivation, leur implication, afin de renforcer leurs apprentissages et d'ancrer davantage ces derniers (Krathwohl, 2002).

Motivation

Les étudiants sont assez peu motivés par cette matière au départ. Même si les objets électroniques, de type smartphones, font partie de la vie des étudiants, l'électronique reste pour certains une matière difficile et, pour beaucoup, une matière abstraite et loin de leur quotidien.

L'intérêt des étudiants de PMP pour l'électronique est beaucoup moins grand que celui des étudiants de PET, pour qui elle constitue le cœur de métier. Lors d'enquêtes approfondies, menées en 2012, auprès de deux groupes de 36 étudiants, l'un du tronc commun PMP et l'autre du tronc commun PET, 25 % des étudiants PMP disent ne pas comprendre l'intérêt du cours d'électronique pour leur formation, contre

seulement 5% en PET. Cette problématique se retrouve aussi pour les enseignants amenés à enseigner une thématique qui n'est pas le cœur de métier des étudiants.

Viau (2009) considère la motivation comme un concept dynamique, évoluant selon les étudiants et les situations. Cette dynamique motivationnelle dépend des perceptions qu'ils ont d'eux-mêmes (c'est-à-dire leur sentiment de compétence à accomplir une tâche) et de leur environnement. Ce qui les incite, ou non, «à s'engager dans une activité et à persévérer dans son accomplissement afin d'atteindre un but». Pour analyser la motivation, nous nous appuyons sur ce modèle de la dynamique motivationnelle de Viau, au regard des activités pédagogiques, et plus particulièrement sur ses déterminants que sont les perceptions de la valeur de l'activité (le sens accordé à l'activité), de la compétence (à réaliser l'activité), et de la contrôlabilité (les choix, l'autonomie dans l'activité).

Hétérogénéité

L'hétérogénéité est entendue ici au sens de Dupriez et Draelants (2004), c'est-à-dire la diversité des performances scolaires. Les étudiants arrivent en première année avec des prérequis en électronique très hétérogènes. Lors de la première séance d'électronique, nous leur faisons passer un test de positionnement sur un ensemble de connaissances et de capacités de calculs simples, constituant les acquis attendus avant l'entrée des étudiants dans l'école d'électronique qui a donné naissance à Phelma.

L'écart-type au test de positionnement est très important: 4,8/20 en 2020, et les notes varient de 0 à 20. Ceci est dû en grande partie à la diversité des parcours que les étudiants ont eus auparavant. L'électronique est quasi absente des programmes de certaines filières de classes préparatoires aux grandes écoles (comme les filières en maths-physique), alors qu'elle est centrale pour les étudiants venant d'un IUT en électronique par exemple.

Dispositif pédagogique

Le dispositif pédagogique présenté ici a été conçu pour lier des apports théoriques à une réalisation concrète sous forme de prototype. Le cours d'électronique a été modifié à plusieurs reprises depuis 2011. D'un cours

magistral avec des travaux dirigés très guidés, en passant par un cours pour moitié en apprentissage par problèmes, nous avons finalement abouti à une forme 100 % inversée et «centrée étudiants». Cette dernière prend mieux en compte l'hétérogénéité de nos étudiants et nos envies d'enseignants d'être plus tuteurs et accompagnants que professeurs (Jouquan et Bail, 2003). La solution adoptée pour répondre aux différentes contraintes a été d'associer un cours d'électronique (CE), un cycle de travaux pratiques (TP) assez guidés et un bureau d'études (BE). Ce dernier consiste en un projet semi-guidé (Castelan et Bard, 2018) pendant lequel les étudiants effectuent une activité de prototype complète. Les trois enseignements ont été pensés ensemble et s'articulent comme illustré sur la figure 1.1.

Les trois enseignements d'électronique représentent en tout entre 175 et 210 heures de travail étudiant, sur les 1500 à 1800 heures de la première année. Ils totalisent 75 heures en présentiel pour les étudiants et se déroulent au semestre 5. Le CE représente vingt-trois heures encadrées par un enseignant, neuf heures non encadrées prévues dans l'emploi du temps et environ vingt-cinq heures de travail personnel. Les TP représentent trente-six heures encadrées en huit séances, et entre huit et seize heures de travail personnel. Le BE, pendant lequel nous proposons aux étudiants de réaliser un prototype de circuits électroniques, représente seize heures encadrées par un enseignant, quatre heures non encadrées dans la maquette et une quinzaine d'heures de travail personnel. Les enseignants responsables du CE et du BE sont identiques.

Cours d'électronique

Les objectifs du cours d'électronique (CE) tels que décrits dans les documents de cours sont de :

donner les bases et les outils pour l'analyse et le calcul de circuits électroniques analogiques. L'étudiant sera capable à la fin de concevoir et de dimensionner un montage permettant de répondre à un cahier des charges fonctionnel nécessitant l'utilisation de résistances, condensateurs, bobines, diodes et amplificateurs opérationnels. Il sera capable de simuler le fonctionnement du montage et d'analyser les résultats de simulation.

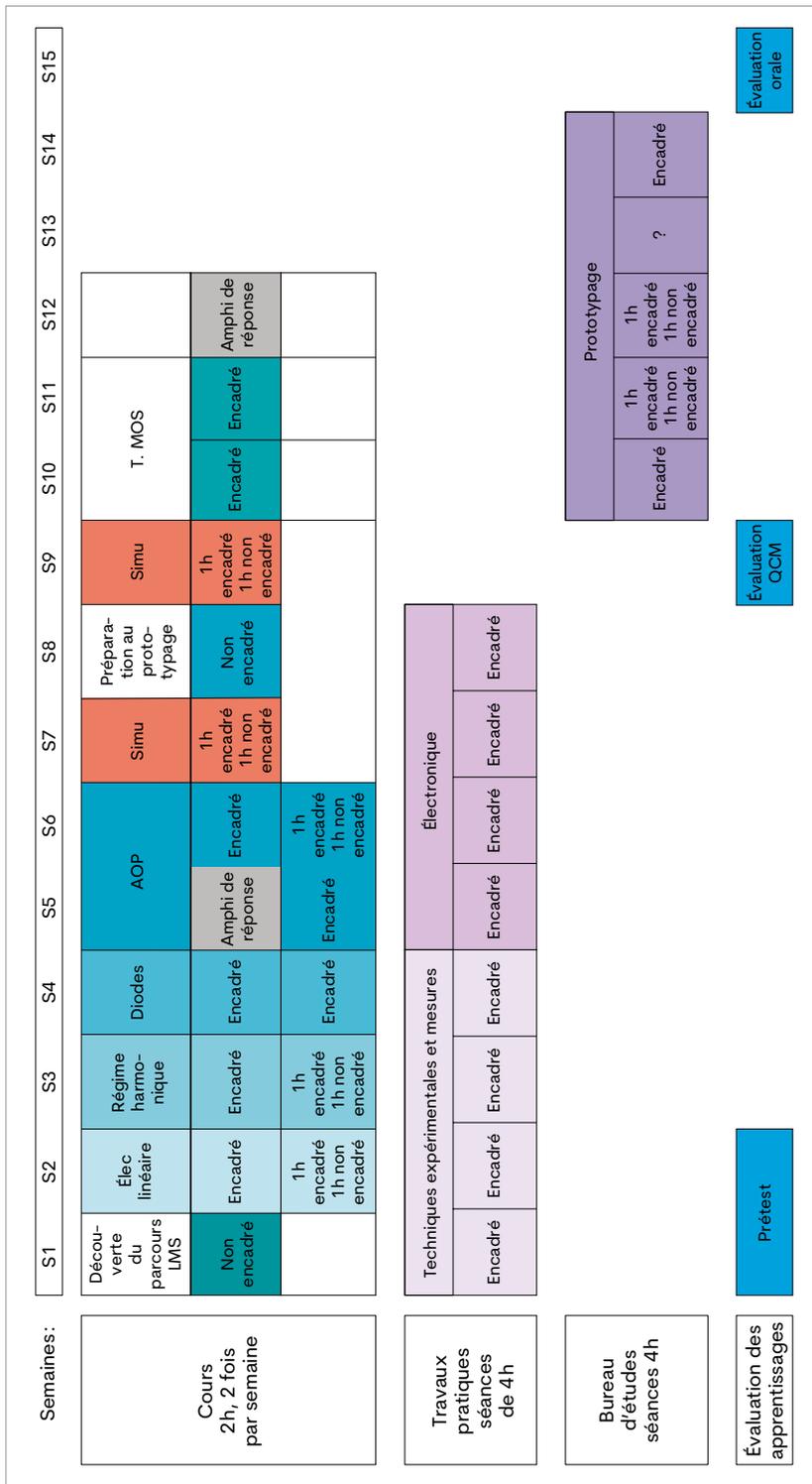


FIGURE 1.1 Articulation entre les différents enseignements d'électronique.

Le CE se déroule de la manière suivante: les étudiants suivent un parcours sur notre plateforme d'apprentissage interactif en ligne (*learning management system* – LMS). Ils visionnent, en amont des séances, des capsules vidéo présentant les principales notions de l'électronique analogique ainsi que les composants de base. Pendant les séances (en moyenne deux fois deux heures par semaine au début du semestre 5), ils sont répartis en groupe de six. Chaque séquence thématique du cours (quatre séquences au total) les fait travailler d'abord sur une fiche d'exercices d'application permettant l'acquisition des mécanismes de résolution. Puis ils résolvent, toujours en groupe, des problèmes complexes quasi authentiques. Les étudiants doivent imaginer un montage d'électronique répondant au cahier des charges, le dimensionner, choisir des composants chez des fournisseurs et vérifier en simulation que leur montage répond bien au cahier des charges.

Des évaluations formatives (tests de connaissances) permettent de valider systématiquement la bonne compréhension des capsules de cours. Des retours formatifs (par les tuteurs et par la saisie des résultats numériques dans la plateforme LMS) leur permettent de valider ou d'invalidier leur démarche sur la résolution des exercices d'application. L'évaluation certificative est composée d'un questionnaire à choix multiples en ligne et individuel testant les connaissances (40% de la note), et d'un oral où les étudiants, en binôme, présentent la solution du groupe à un des problèmes complexes (60% de la note). La note obtenue par le binôme est attribuée à tout le groupe. La méthode a été choisie pour être alignée avec l'objectif annoncé au départ aux étudiants: permettre, grâce à une organisation du travail de groupe adéquate, à chaque individu d'arriver au même niveau en électronique à la fin du module.

Travaux pratiques d'électronique

Les objectifs de ces travaux pratiques (TP) sont de sensibiliser les futurs ingénieurs à la chaîne complète d'une expérience, de la réflexion à la rédaction d'un compte rendu; d'illustrer le cours, en réalisant et caractérisant des montages à partir des composants de base de l'électronique; et de comprendre comment identifier et décrire un système électronique. Les TP sont très guidés. Les montages sont souvent réalisés à l'avance et les étudiants se retrouvent devant une maquette sur laquelle ils doivent prélever, observer et commenter des signaux. Pour chaque TP, les étudiants rendent une préparation (les réponses à des

questions théoriques présentes tout au long du sujet et qu'ils doivent avoir préparées avant la séance) et un compte rendu de manipulation, remis à la fin de la séance. Les deux sont corrigés et donnent une note de TP (avec un ratio de 20 %-80 %). La note du module est une moyenne des notes de tous les TP.

Bureau d'études d'électronique

Le bureau d'études (BE) constitue le cœur de ce chapitre: individuellement, chaque étudiant doit y concevoir, y tester et y réaliser un prototype fonctionnel de démodulateur AM, c'est-à-dire un montage simple, bon marché (sans composant tout intégré) permettant de capter France Inter AM.

Les objectifs de ce bureau d'études sont doubles: concevoir et comprendre le fonctionnement d'un montage d'électronique relativement complexe, permettant de répondre à un cahier des charges réel, et réaliser un prototype fonctionnel, sous forme d'un circuit électronique imprimé (PCB pour Print Circuit Board) avec des composants traversants.

Les livrables demandés dans ce bureau d'études permettent de valider les objectifs annoncés aux étudiants. L'évaluation des apprentissages comprend deux notes ayant une importance similaire: l'une évaluant le côté fonctionnel de la réalisation pratique et l'autre évaluant le rapport de caractérisation.

Le prototypage se déroule en cinq étapes détaillées par la suite. La figure 1.2 illustre l'évolution du montage électrique au cours de ces étapes, de la conception à la réalisation finale.

Étape 1 : préparation en amont de la première séance (quatre heures)

Quinze jours avant le début des séances, les étudiants préparent le BE. Ils trouvent sur la plateforme LMS de la documentation et de nombreuses informations, ainsi que les consignes du BE, contenant le cahier des charges.

Avant la première séance, ils doivent proposer un montage permettant de répondre au cahier des charges. Le travail de réflexion est commencé en CE, par groupe de six: un problème complexe soumis pendant le CE est une version simplifiée du montage du BE. Cette étape leur permet de dégrossir la compréhension du cahier des charges et d'amorcer des solutions permettant d'y répondre.

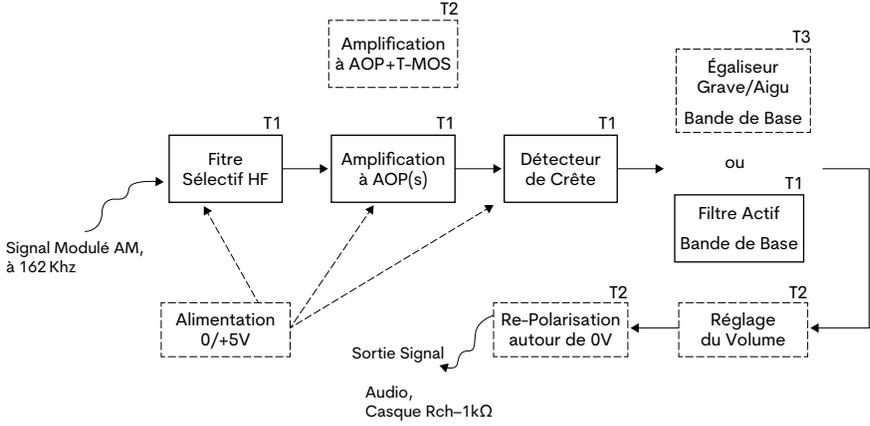
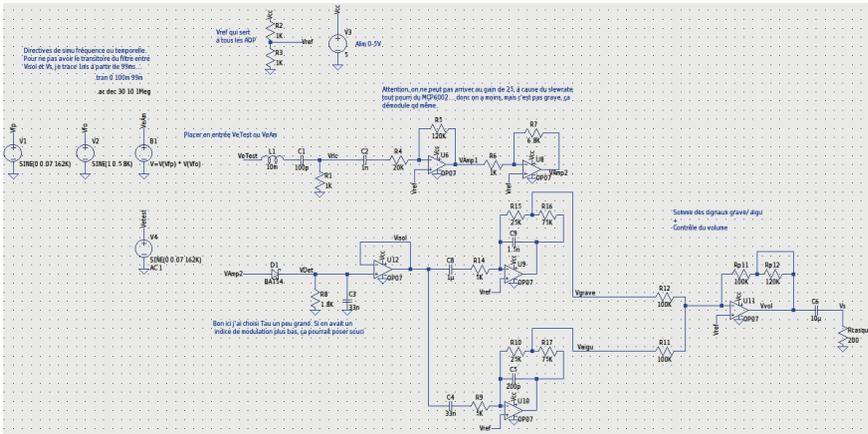
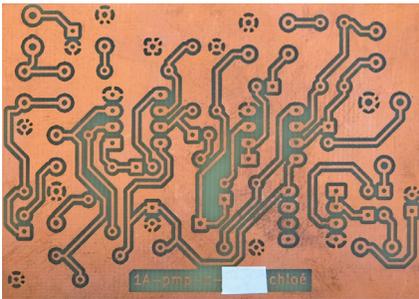


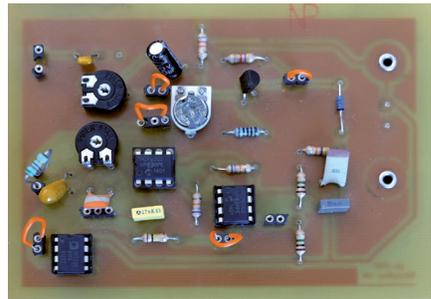
Schéma de bloc fonctionnel issu du cahier des charges



Exemple de montage électrique solution



Circuit imprimé PCB



Exemple de montage complet proposé par un étudiant

FIGURE 1.2 Illustration des différentes étapes du prototypage.

Le BE commence alors. Les étudiants doivent arriver à la première séance avec un schéma électrique répondant a priori au cahier des charges. Ils doivent avoir fait les vérifications en simulation et proposer un jeu de composants réalistes choisis dans la liste de composants disponibles en salle (figure 1.2). Ce travail de préparation est une étape délicate qui prend approximativement quatre heures. Même s'ils le font sérieusement, ils font difficilement le lien, par la suite, avec les signaux électroniques observés en pratique. Ils sont alors obligés de reprendre cette préparation quand ils commencent à avoir des retours de leur prototype. Il s'agit moins d'une question d'affinage du dimensionnement que de la finesse de compréhension du comportement du montage, qui n'est pas suffisante dans un premier temps.

Étape 2 : banc d'essai (huit heures)

Les deux premières séances en salle de BE sont consacrées au test des différents blocs du montage sur plaque à trous. Cela correspond à un banc d'essai avant de réaliser le prototype réel. Cette étape permet aux étudiants de valider le choix des montages qu'ils ont fait, de se rendre compte de l'effet que peuvent avoir certaines imperfections des composants et d'en tenir compte pour modifier leur dimensionnement. L'objectif de cette première phase est de leur assurer que leurs choix de conception sont a priori cohérents et de minimiser les risques de problèmes futurs. C'est également la première fois dans leur cursus d'ingénieur que les étudiants doivent imaginer par eux-mêmes un protocole de test d'un montage d'électronique. L'acquisition d'une méthode de test et de mesure est une étape cruciale pour un électronicien, vécue comme difficile par les étudiants qui n'ont jamais rencontré que la théorie et la simulation en cours, ou des séries de mesures très guidées en TP.

Étape 3 : conception assistée par ordinateur (CAO, quatre heures)

Une fois le montage validé, une séance de quatre heures leur permet de prendre en main un logiciel de CAO, KiCad², permettant d'obtenir le routage d'un circuit imprimé, fabriqué à l'école par un technicien.

Dans la semaine suivante, chaque étudiant envoie un fichier finalisé de son circuit imprimé (PCB). Cette étape nécessite de prendre en compte de nouvelles contraintes propres au prototypage en électronique (placement de composants, compacité, présence des connectiques

² Le logiciel a été choisi pour plusieurs critères : sa relative convivialité pour l'utilisateur et surtout le fait qu'il soit libre et multi-plateforme.

d'alimentation). Elle réactive également des questionnements liés aux tests à venir : nécessité d'ajouter des éléments permettant de déconnecter chaque bloc les uns des autres, pour le test et en cas de mauvais fonctionnement de l'un d'eux. Enfin, pour réaliser un placement correct et optimum de son montage, l'étape de CAO nécessite d'avoir bien compris le montage, ce qui est un de nos objectifs.

Étape 4 : réalisation et vérification (huit heures)

Les étudiants reçoivent le circuit imprimé PCB qu'ils ont conçu (figure 1.2). Ils ont deux séances pour finaliser leur prototype et valider son bon fonctionnement. Ils percent, soudent puis testent leur montage. L'objectif de cette étape est double : il s'agit, d'une part, de se rendre compte du décalage entre la théorie et la pratique et, d'autre part, d'appliquer les méthodes de test et de mesure de façon systématique et rigoureuse (voir étape 2).

Lors de cette étape, les obstacles les plus importants proviennent du décalage éventuel entre le fonctionnement du prototype réel, qui peut présenter des dysfonctionnements, et la théorie. Les étudiants éprouvent des difficultés à tester et à rechercher les explications de ces défaillances possibles. Par exemple, un composant peut s'avérer défectueux, une piste de cuivre peut présenter des microcoupures, un composant a pu être mal placé (à l'envers, sans alimentation) sur le circuit imprimé PCB lors du routage. Certains cherchent méthodiquement, en testant les blocs les uns après les autres, d'autres testent des étages complets et prennent dans ce cas beaucoup plus de temps à trouver ce qui dysfonctionne.

Étape 5 : analyse et synthèse (deux heures)

Cette étape a lieu après la dernière séance en dehors des heures encadrées. Le livrable est rédigé à ce moment-là. Les étudiants affinent, analysent les points forts et les points faibles de leur prototype et exploitent l'ensemble des signaux électriques, enregistrés pendant les tests. Cette étape prend en réalité entre trois et une dizaine d'heures, selon les étudiants.

Méthode

Pour répondre à nos problématiques d'enseignement et pour évaluer les effets de l'activité de prototypage en BE, nous avons récolté

différents types de données, en particulier en 2019 et 2020, auprès des étudiants du tronc commun PMP et des encadrants (tableau 1.1).

TABLEAU 1.1 Données récoltées et cohortes associées.

	2019	2020
Prétest		n = 179
Évaluations certificatives (QCM intermédiaire, oral final)	n = 181	n = 179
Évaluations certificatives du BE	n = 179	n = 176
Analyses approfondies du cours	$n_{\text{interrogés}} = 172$	
	$n_{\text{répondants}} = 113$	
Analyses approfondies du BE	$n_{\text{interrogés}} = 179$	$n_{\text{interrogés}} = 176$
	$n_{\text{répondants}} = 72$	$n_{\text{répondants}} = 66$
Entretiens		$n_{\text{étudiants}} = 5$
		$n_{\text{encadrants}} = 7$

L'évolution des résultats aux différentes évaluations permet de mesurer l'impact des modifications des enseignements réalisés. La qualité des apprentissages réalisés est vérifiée au travers des diverses évaluations certificatives; la réduction de l'hétérogénéité est vérifiée en comparant les écarts-types de l'évaluation diagnostique de début de cours aux écarts-types des évaluations certificatives; la motivation des étudiants est vérifiée au travers des résultats aux évaluations indicatives de l'enseignement, des analyses approfondies et des entretiens menés auprès des étudiants.

Évaluation des apprentissages

Les apprentissages sont évalués plusieurs fois dans le semestre. Un prétest de positionnement a lieu en début de cours, pour poser un diagnostic des prérequis en électronique. Une évaluation certificative intermédiaire est organisée au début des BE. Il s'agit d'un contrôle de connaissances et d'application (QCM sur plateforme LMS). À la fin du semestre, deux évaluations certificatives sont organisées. L'une est organisée de façon individuelle pour le BE, sur la base du rapport d'analyse du prototypage. L'autre est organisée pour le cours en binôme, à l'oral. Elle porte sur l'ensemble des apprentissages d'électronique du semestre et concerne des processus cognitifs de haut niveau.

Retours d'étudiants et d'encadrants

Ces retours permettent d'évaluer la satisfaction des étudiants vis-à-vis de l'enseignement proposé et donnent, dans une certaine mesure, des informations quant à leurs motivations pour ces enseignements et les types d'apprentissages réalisés. Le point de vue des encadrants vient mettre en balance les ressentis des étudiants.

D'une part, les retours sont récoltés annuellement, par l'établissement, de façon indicative, c'est-à-dire très succincte. Il s'agit d'une enquête formelle obligatoire réalisée à la fin de chaque semestre pour l'ensemble des enseignements. Chaque étudiant doit attribuer une note entre 1 et 6 pour chaque enseignement, en répondant à une question unique³. Les notes attribuées par les étudiants donnent lieu à une moyenne pour chaque enseignement, et un classement anonymisé des enseignements du semestre.

D'autre part, et en complément de l'enquête annuelle, une étude plus approfondie du cours d'électronique a été réalisée à la demande des enseignants, par le service d'appui pédagogique de Grenoble INP (PerForm), auprès de l'ensemble des étudiants des cohortes de 2019 et 2020. Un questionnaire de vingt-six questions fermées et trois questions ouvertes (points forts de cet enseignement, points faibles et pistes d'amélioration) a été utilisé. Une autre analyse approfondie a également été menée en 2019, spécifiquement pour le BE auprès des étudiants de la filière PMP. Elle porte sur les réponses obtenues à vingt questions fermées et aux trois mêmes questions ouvertes. Enfin, des entretiens individuels ont été réalisés auprès de cinq étudiants et sept enseignants, en 2020. Ils avaient pour objectif d'interroger les types d'apprentissage et l'accompagnement enseignant pour y arriver.

Résultats

Nous abordons tout d'abord la question de la motivation des étudiants et de l'impact du prototypage en BE sur leur motivation. Dans un second temps, nous présentons les éléments permettant de réduire l'hétérogénéité du groupe. Enfin, nous analysons l'impact de l'activité de prototypage sur les apprentissages en électronique.

³ « Quelle appréciation portez-vous sur l'enseignement XXX ? Merci de prendre en compte le contenu, la pédagogie, les supports, [les exercices, TP, TD], le déroulement du projet, l'encadrement. »

Motivation

Divers éléments nous informent de l'effet bénéfique du prototypage proposé sur la motivation des étudiants, principalement sur les perceptions de la valeur de l'activité et de la contrôlabilité (Viau, 2009). Dans l'analyse approfondie de 2019, 61 étudiants sur 72 soulignent des éléments de motivation dans les « points forts » du BE (60 sur 66 en 2020). Ce qui ressort le plus est la réalisation pratique complète, le sujet concret et l'autonomie laissée (tableau 1.2). Un commentaire étudiant précise ce point : « Voir sa petite plaque se construire petit à petit, de la théorie à la simulation à la pratique, est très satisfaisant, stimulant ».

Sur les cinq dernières années, les évaluations indicatives des enseignements voient toujours le BE dans les six premiers enseignements les plus appréciés par les étudiants, sur les vingt-cinq enseignements du semestre 5. Les notes varient de 4,4/6 à 4,8/6. L'écart-type reste relativement faible (< 1,2).

TABLEAU 1.2 Réponses à la question ouverte des « points forts » dans les analyses approfondies du BE.

	2019, n = 72	2020, n = 66
Réalisation pratique complète	38	27
Sujet concret	16	24
Autonomie	17	13

Les cinq entretiens confirment ces résultats : tous les étudiants mentionnent leur motivation à réaliser, en autonomie, un prototype de A à Z. Un étudiant précise par exemple : « J'ai tellement aimé ça que j'ai acheté un fer à souder, des composants et j'en fais chez moi maintenant. Avant, je ne m'étais jamais trop intéressé au sujet. »

La satisfaction des étudiants n'est pas suffisante pour évaluer la qualité d'un enseignement (Kirkpatrick, 1967). Elle est cependant un facteur important favorisant l'engagement dans les apprentissages (Viau, 2009).

Hétérogénéité

Les entretiens menés permettent de mettre en lumière des fonctionnements mis en place par les encadrants ou les étudiants eux-mêmes

afin de réduire l'hétérogénéité pendant le BE. Les encadrants estiment essentiel de veiller à ce que chaque étudiant puisse avancer sur son prototype, selon ses besoins, et d'essayer d'apporter une aide ciblée à ceux qui en ont le plus besoin. Un encadrant précise par exemple: «Je les laisse faire et s'ils ont une question, ils viennent me solliciter». Un autre: «certains étudiants vont avoir des difficultés récurrentes tout au long du projet, certains vont être complètement autonomes du début à la fin, certains vont avoir un besoin de validation constant à demander: "là, c'est bon? là, ça marche?"»

Du point de vue des étudiants, une organisation d'entraide se met en place pour combler cette hétérogénéité. Pendant le BE, ils discutent beaucoup et s'intéressent aux solutions des uns et des autres. Ce fonctionnement, implicite dans certains groupes, explicite dans d'autres, est encouragé par les séances non encadrées dans l'emploi du temps. Il permet de gérer une grande part de l'hétérogénéité.

Nous constatons également dans les résultats des différentes évaluations une réduction de l'écart-type. Pour 2020, si nous comparons les résultats aux trois évaluations ayant lieu en cours et en BE d'électronique, nous pouvons identifier des évolutions notables reproduites dans le tableau 1.3.

TABLEAU 1.3 Évolution, au cours du semestre, des moyennes et écarts-types dans les évaluations des apprentissages.

	2020
Prétest de positionnement	$\mu = 8,1/20$
Évaluation formative	$\sigma = 4,8/20$
Examen intermédiaire QCM	$\mu = 13,9/20$
Évaluation certificative	$\sigma = 3,7/20$
Examen final individuel	$\mu = 14,1/20$
Évaluation certificative de prototypage en BE	$\sigma = 2,9/20$
Examen final oral en binômes	$\mu = 15/20$
Évaluation certificative du cours	$\sigma = 1,8/20$

Apprentissages en profondeur

Plusieurs éléments nous permettent de confirmer que le prototypage, dans le cadre du bureau d'études, avec la réalisation d'un prototype de A à Z (conception, simulation, dimensionnement et réalisation), est

un élément très apprécié. Il permet aux étudiants de donner du sens et d'ancrer des apprentissages de haut niveau.

Peu avant le début des BE, les étudiants sont confrontés en groupe à un problème très proche de celui qu'ils auront à résoudre en BE (il s'agit du problème complexe, évoqué dans la description de l'étape 1). Nous avons comparé la pertinence des solutions proposées lorsqu'ils construisent en groupe une solution à ce problème complexe pendant le cours, aux solutions proposées et justifiées lors de l'oral en binôme à la fin du cours pour ce même problème. Entre les deux, les étudiants ont réalisé le BE. Les réponses à la fin sont pertinentes et très proprement justifiées, alors qu'avant le BE, des solutions similaires ont été trouvées mais la justification des choix de solutions est quasi inexistante. Certains étudiants eux-mêmes semblent prendre conscience de cet acquis, comme le montrent les propos de cet étudiant : « point positif des BE : la pratique, etc. nous permet de peaufiner l'apprentissage ».

Par ailleurs, les entretiens individuels ont permis de caractériser le type d'apprentissages réalisés en BE et de vérifier qu'ils correspondent bien à nos objectifs. Dans les activités mentionnées, on trouve : « analyser un cahier des charges », « calculer des fonctions de transfert de blocs », « comparer des solutions possibles », « critiquer des résultats expérimentaux », « concevoir, développer, construire un prototype », etc. Nous pouvons dès lors placer les apprentissages dans les catégories d'analyse, d'évaluation et de création de la taxonomie de Bloom révisée (Krathwohl, 2002). De plus, la question du transfert a été posée lors des entretiens. Les étudiants répondent tous qu'avec du temps, de la documentation et la possibilité de poser des questions à un référent (expert ou enseignant), ils pourraient s'en sortir et réaliser un autre projet d'électronique répondant à un nouveau cahier des charges. Parmi les six encadrants, cinq sont du même avis.

Les critères d'évaluation pour le CE et pour le BE permettent de vérifier l'atteinte de ces hauts niveaux cognitifs pour les apprentissages visés en électronique. Pour le CE, les résultats à l'examen oral (2020) sont très parlants : 83 % des étudiants réussissent cet examen avec une note supérieure à 14/20 (au-delà de l'attendu), 17 % entre 10 et 14/20 (validation dans l'attendu). Seul un étudiant sur 178 a échoué lors de cette année. Pour le BE, 57 % des étudiants réussissent avec une note supérieure à 14/20 (au-delà de l'attendu), 37 % entre 10 et 14/20 (validation dans l'attendu), et 12 étudiants sur 178 (6 %) ont échoué. Le fait

qu'on attende une réalisation fonctionnelle pour le BE rend les résultats un peu plus sévères.

Enfin, dans les entretiens, les cinq étudiants ont évoqué des apprentissages qu'on pourrait appeler plus transverses, comme la démarche nécessaire pour prototyper, la rigueur de travail et la décomposition en étapes claires, la gestion d'un projet du début à la fin, la différence entre la théorie et la réalité de la pratique... «Ce qui est le plus important dans ce cours à retenir, c'est la méthode de travail et l'importance des calculs qu'on apprend en cours.» «Il fallait s'organiser parce que c'était vraiment très difficile.»

Les apprentissages de haut niveau, ancrés en profondeur, nous semblent favorisés par plusieurs éléments du dispositif, notamment la réalisation d'un prototype, avec des allers-retours réguliers entre les apports théoriques et la mise en pratique. Le climat d'entraide pour relever ce défi, en autonomie, est également un élément qui impacte la motivation (Romano, 1991; Viau, 2009) et la qualité des apprentissages (Romano, 1991). La posture des encadrants face aux questions des étudiants est certainement un élément qui favorise les apprentissages en profondeur: tous veillent à ce que les étudiants puissent trouver eux-mêmes les réponses à leurs propres questions. Tant les entretiens avec les étudiants que les entretiens avec les encadrants confirment qu'une question posée est très majoritairement répondue par une autre question.

Réalisation d'un prototype illustrant le cours théorique

En 2019, 22 étudiants (24/66 en 2020) soulignent explicitement comme point fort le fait que le BE illustre de manière pratique les cours, ce qui est à ajouter aux 38 qui soulignent l'intérêt d'une réalisation pratique (en opposition à d'autres enseignements classés «théoriques» par les étudiants). «Points positifs des BE: la forme de projet, appliquer pour mieux assimiler diverses notions vues en cours, réaliser toutes les étapes du projet par soi-même.» Ils expriment clairement l'intérêt d'une réalisation concrète et de pouvoir manipuler. Ils soulignent l'intérêt d'un sujet *allant* de la conception au test en passant par la réalisation. Lors des entretiens individuels, tous les étudiants disent que le BE les a aidés à mieux comprendre le cours et inversement.

Défi en autonomie

Dans l'analyse approfondie de 2019, 60 étudiants sur 72 soulignent l'intérêt de la réalisation concrète, parmi lesquels 20 étudiants notent également l'autonomie laissée par ce projet semi-guidé comme un facteur de motivation, mais aussi comme une opportunité pour aller plus loin dans les apprentissages. Un étudiant écrit par exemple :

Ayant de grosses lacunes en électronique, ce travail individuel et pratique m'a permis de vraiment progresser dans ce domaine et de comprendre certaines choses que je n'avais pas comprises durant les TD. De plus, il m'a permis de vraiment apprécier l'électronique qui est une matière que je n'aimais pas auparavant.

Par ailleurs, les encadrants comme les étudiants évoquent des échanges constants entre pairs : « on pense à plusieurs montages, on les compare : celui-là ne va pas marcher parce que je n'ai pas pris ça en compte, celui-là va utiliser moins de composants, celui-là va être plus adapté à ce qu'on demande. On discute entre nous des valeurs, on voit ce que ça donne. » Ils comparent leurs solutions et leurs calculs, s'entraident pour analyser les bogues, et les résoudre, expliquent leurs choix et les concepts restés flous pour certains. Ces échanges contribuent à ancrer et à formaliser les apprentissages. Un étudiant souligne ainsi que travailler à plusieurs et s'entraider permet de repérer les difficultés les plus fréquentes et comment les autres y font face. L'aide disponible au sein du groupe rend selon lui le défi raisonnable.

Temps alloué

Une variable – que nous n'avions pas prévu d'analyser mais qui ressort dans les retours des étudiants – est le temps alloué au BE. Dans les « points faibles » de l'analyse approfondie de 2019, il ressort que le temps alloué et le taux d'encadrement sont très (trop) limités pour la réalisation d'un prototype fonctionnel. Cela apparaît dans 50 réponses sur 72 : 8 soulignent le temps trop court alloué ; 42 notent le fait que trois encadrants ne sont pas suffisants pour accompagner 36 étudiants et les aider quand un problème pratique vient entraver leur avancée. Un étudiant indique par ailleurs qu'un prototype non fonctionnel peut être « un facteur de perte d'estime de soi pour un étudiant ». Les résultats obtenus sont similaires et se confirment en 2020, même s'ils

mettent un peu moins l'accent sur le sous-encadrement (seuls 16 étudiants sur 50 en parlent).

Dans les cinq entretiens menés auprès des étudiants, tous mentionnent le temps court comme une contrainte ; ils auraient aimé avoir un peu plus de temps : « une séance de plus aurait pu tranquilliser tout le monde (...) je suppose qu'il n'y aura jamais assez de séances pour que tout soit parfait ».

Discussion

L'analyse des résultats montre que l'activité de prototypage, réalisée de A à Z, est un facteur de motivation très important pour les étudiants. Nous vérifions que l'expérimentation et le « faire » favorisent l'implication des étudiants et l'engagement dans l'apprentissage. Nous pouvons dégager certains points forts du scénario pédagogique proposé, comme l'authenticité de la situation, ou le fait de relever le défi seul tout en profitant d'un climat d'entraide. Le réalisme de la situation est vécu comme un point très positif par les étudiants. D'autant que les situations où les étudiants peuvent sortir du « faire semblant » sont assez rares. Par ailleurs, le scénario pédagogique proposé articulant cours et BE permet aux étudiants de lier savoir et vécu. Ainsi, il renforce leur expérience d'apprentissage, et les pousse à découvrir un autre mode de fonctionnement.

Au regard des données, nous pouvons noter que les étudiants disent garder de cette activité de prototypage une méthode de travail particulière, illustrant la démarche scientifique. Ils soulignent que l'autonomie laissée et l'obligation d'obtenir un prototype fonctionnel les forcent à mettre en place des techniques « de survie » leur permettant de s'en sortir. Ils pensent que cette expérience est transposable pour la gestion d'autres situations. L'ampleur de la tâche et la diversité des savoir-faire à acquérir sont très supérieures à ce qu'elles peuvent être dans d'autres enseignements. En effet, il s'agit bien d'articuler des connaissances à des compétences techniques et de les associer à des compétences transverses, comme la démarche de résolution (Tardif, 2006).

Les résultats permettent également de vérifier que l'enseignement d'électronique tel qu'il a été construit, et en particulier l'activité de prototypage en BE, permet une réduction significative de l'hétérogénéité du niveau des étudiants. Par ailleurs, l'alternance entre le travail en groupe en cours et le travail seul en BE permet d'offrir des phases

sociales où les étudiants interrogent les savoirs en groupe et d'autres phases où ils mettent seuls à l'épreuve ce qu'ils ont appris. Ce choix impose que les étudiants effectuent seuls l'activité de prototypage, ce qu'ils peuvent vivre comme une mise en danger s'ils ne se sentent pas suffisamment à l'aise avec ces nouveaux apprentissages.

Enfin, nous pouvons affirmer que les étudiants perçoivent bien le défi proposé, que la confrontation à celui-ci permet de développer des apprentissages. Cette activité de prototypage est bien acceptée des étudiants qui parviennent à relever le challenge pour la grande majorité. Le fait d'être confronté seul à un problème vécu comme difficile permet aux étudiants d'éprouver leurs connaissances et leurs habiletés. Cette situation déstabilisante leur impose un fort investissement. Le fait de concevoir et de réaliser son propre prototype est vécu comme une épreuve motivante et engageante.

Certains encadrants expriment une petite déception quant au niveau atteint par les étudiants. Le prototype réalisé, s'il est majoritairement fonctionnel, n'est qu'assez rarement finalisé et le montage global reste relativement simple (deux filtres, deux amplificateurs). Ce point de vue est à l'opposé de celui très largement partagé par les étudiants qui soulignent la difficulté de ce travail et leur sentiment d'avoir dépassé leurs limites pour résoudre un problème de la vraie vie.

Dans tous les entretiens et une grande partie des verbatims, on peut noter que le BE a eu un impact, que cet enseignement ne laisse pas neutre. Tous les commentaires montrent que cette activité oblige les étudiants à sortir de leur style d'apprentissage spontané pour passer à d'autres, plus efficaces, en situation réelle, comme le préconise Chartier (2003).

Plusieurs étudiants verbalisent un déclic cognitif lors de ce BE. Une interprétation est la nécessaire sortie du mode réflexe du cerveau, face à un problème dont la solution ne peut être calquée directement sur quelque chose vu en théorie (Dehaene, 2018; Houdé, 2019). Ce changement de mode ouvre de grandes perspectives aux étudiants. Le trop faible temps dont les encadrants disposent pour chacun, s'il est très fortement souligné, implique pour les étudiants d'essayer de proposer une manière d'avancer quand même. D'autres remarquent n'avoir jamais été motivés par la discipline avant le BE et l'être devenus après. Pour certains, la découverte faite en BE va jusqu'à déclencher des passions. La concrétisation des notions et l'ancrage dans la vie réelle et à travers la pratique sont relevés comme un moyen de prendre du recul sur les apprentissages.

Au regard de toutes les données récoltées, le temps laissé pour effectuer l'action de «faire» et surtout de «faire soi-même» nous semble encore sous-doté. Nous avons une contrainte forte: les étudiants ne peuvent pas avancer sur leur prototype chez eux. Ils peuvent concevoir, réfléchir, mais pas facilement percer, souder et tester. D'un autre côté, s'ils le pouvaient, la charge de travail pourrait devenir bien trop lourde. L'équilibre pourrait encore être amélioré.

Concernant l'organisation, nous souhaitons ajouter des créneaux «libre-service» pour utiliser la salle, ce qui permettrait aux étudiants d'augmenter le nombre d'heures de prototypage.

Pour ce qui est de l'évaluation, nous avons mené cette année deux nouvelles expérimentations. Premièrement, une version des BE «à tiroirs» a été mise en place. L'objectif est de mieux s'adapter à l'hétérogénéité des étudiants et de renforcer le sentiment de contrôlabilité: les étudiants les moins téméraires s'engagent sur le «tiroir 1» et, si le contrat est rempli, ils auront 14/20; les plus téméraires ajoutent les tiroirs 2 et 3 et visent 20/20. Les étudiants ont fortement apprécié le fait de pouvoir se positionner et de choisir le défi à réaliser. Malheureusement, les trois tiroirs étaient trop peu différents pour que le résultat de cette expérimentation soit concluant. En effet, les étudiants éprouvent beaucoup de difficultés à évaluer leur travail pratique, malgré les nombreux feedbacks reçus et les critères d'évaluation communiqués. Ils ont trop souvent l'impression d'avoir réalisé un prototype complet, alors que l'enseignant n'y voit qu'un prototype peu fonctionnel. Deuxièmement, sur le livrable rédigé, nous sommes passés d'une évaluation «classique» où un encadrant attribuait une note en fonction des attendus, à une évaluation en «tout ou rien» où l'encadrant évalue si le livrable est satisfaisant ou non, toujours au regard des attendus. Les étudiants ont quinze jours pour échanger sur leur livrable avec les encadrants, jusqu'à atteindre une version «tout à fait satisfaisante». Le nombre d'échanges peut être important. La très grande majorité des étudiants (174/178) a utilisé ce temps d'échange sur le livrable et s'est vue accorder l'intégralité des points du livrable. Cette méthode, si elle doit être améliorée en ce qui concerne le temps de réponse des encadrants, notamment, a été plébiscitée par les étudiants (Dehaene, 2018). Ils soulignent le fait que pour une fois, sur un rapport, on les accompagne jusqu'à produire ce que l'on attend d'eux. Nous la conserverons.

Nous pouvons en conclure que «faire», «faire soi-même», dans une situation authentique, est une très grosse marche d'apprentissage pour les étudiants. La franchir nécessite du temps et passe par les différents piliers de Dehaene (2018), notamment le retour sur l'erreur et la consolidation. Mais, finalement, la qualité du prototype produit importe peu, c'est bien la démarche qui est productrice d'apprentissage. De cette expérience, nous retenons que demander de prototyper peut améliorer la motivation des étudiants, réduire l'hétérogénéité des acquis et ancrer les apprentissages.

Ce dispositif d'enseignement est conçu comme un ensemble où s'articulent les apports théoriques et les applications pratiques pour une réalisation concrète, dans un climat d'entraide, avec des évaluations tant individuelles que de groupe, dès la première séance.

Conseils

Parmi les points de vigilance, nous relevons la difficulté de l'exercice pour des étudiants qui n'ont jamais été placés devant la responsabilité d'une activité de prototypage, et ce, pas seulement en électronique. Vérifier si le défi proposé est effectivement raisonnable ou non nous semble un point de discussion à remettre régulièrement sur la table. Un point clé pour soutenir les étudiants dans ce travail est la robustesse du dispositif. Nous l'améliorons continuellement et nous portons une attention particulière à l'articulation cours-BE. Les deux ayant été imaginés ensemble, ils se nourrissent l'un l'autre. Les temps de travail en groupe et individuels alternent, la théorie alimente la pratique et inversement. Les allers-retours effectués par les étudiants entre cours théoriques et prototype permettent d'ancrer les apprentissages réalisés et de favoriser le déclic cognitif recherché.

Un autre point clé d'un prototypage réussi, pour nos étudiants, est la précision et la clarté de l'organisation et des consignes présentées. Le BE constitue un espace de liberté et une autonomie bienfaisante et plébiscitée par nos étudiants. Il est néanmoins semi-guidé (Castelan et Bard, 2018) : les initiatives à prendre sont nombreuses, mais cadrées. Cela permet aux étudiants d'obtenir une réalisation tout à fait honorable en un temps assez court.

Enfin, nous avons fait le choix d'une réalisation individuelle des prototypes. Cette contrainte est vécue comme une réelle difficulté par les étudiants, confrontés seuls au questionnement et aux problèmes

techniques. Les temps en groupe, d'échange entre pairs et de construction des solutions et du savoir, prévus au cours de l'enseignement, les aident à se confronter à la réalisation de façon individuelle. Le défi reste raisonnable : les étudiants le relèvent volontiers et il les engage dans leurs apprentissages.

Marjorie Dequenne, Marianne Diez,
Catherine Delfosse & Pascal Detroz

Apprentissage authentique comme support à la compétence en 2 médecine vétérinaire

Résumé

En donnant du sens à la matière enseignée, quel que soit le domaine auquel les étudiants se destinent, on participe non seulement à l'amélioration de leurs performances, mais on les rend aussi davantage confiants à l'idée de transposer les concepts appris dans des situations professionnelles réelles. Ce chapitre partage des pistes pour optimiser l'apprentissage d'une matière (ici, la nutrition des animaux de compagnie) par un grand groupe d'étudiants présentant des intérêts différents, en actionnant plusieurs leviers motivationnels. Le dispositif présenté s'inscrit dans le cadre des travaux pratiques paracliniques (TP) de nutrition des animaux de compagnie (AC) organisés pour les étudiants de médecine vétérinaire en première année de maîtrise à l'Université de Liège (ULiège). Il consiste à proposer aux étudiants de préparer puis d'animer en groupe, sous la forme d'un jeu de rôle, une consultation de nutrition canine ou féline où ils jouent le rôle du vétérinaire et l'enseignante, celui du propriétaire. Ce dispositif a été dûment testé avec un groupe hétérogène de 278 étudiants, selon deux modalités d'enseignement : en présentiel (121 étudiants) et à distance, durant la pandémie de COVID-19 (157 étudiants). Cette recherche a montré que la diversification des méthodes d'apprentissage dans un contexte présentant des caractéristiques d'authenticité

était de nature à favoriser le développement de la compétence visée et à aider les étudiants à se sentir compétents et confiants à l'idée d'appliquer les concepts appris dans leurs futures activités professionnelles.

Introduction

Avec l'évolution rapide des connaissances en médecine vétérinaire, les étudiants doivent faire face à un cursus de plus en plus diversifié, abordant toutes les facettes du métier, et ce, malgré des intérêts différents en lien avec l'orientation professionnelle envisagée. Ce constat va de pair avec un risque d'apprentissages de plus en plus superficiels. Au Canada, une enquête de Lofstedt (2003) relate que 76 % des praticiens répondants (n = 800) considèrent que le manque de confiance en soi et/ou de compétences constaté chez les jeunes diplômés vétérinaires est un problème modéré à très grave. L'autrice de ce sondage émet l'hypothèse que ces résultats découlent du manque d'adéquation entre un cursus vaste, peu approfondi du fait de son exhaustivité et manquant d'authenticité. À l'échelle de la Belgique, il n'existe aucune donnée publiée à ce sujet. Cependant, les discussions informelles entre vétérinaires et entre étudiants vont régulièrement dans ce sens. Plus objectivement, les étudiants liégeois en médecine vétérinaire mentionnent régulièrement le « manque de pratique » pendant leur cursus dans leurs réponses aux questionnaires d'évaluation des enseignements. Pourtant, hormis les incontournables cours théoriques, ils participent bien à de nombreuses activités pratiques durant leurs études. Il est peut-être plus plausible de voir derrière cette critique un manque d'authenticité dans les situations d'apprentissages, qui serait responsable d'une difficulté à envisager l'application des contenus enseignés dans la vie professionnelle. Dès lors, en réponse à ces différents constats, nous avons conçu un scénario pédagogique faisant intervenir une diversité de méthodes d'apprentissage pour répondre à l'hétérogénéité de la cohorte; la séquence d'apprentissage aboutissant à un jeu de rôle. Cette activité présentant des caractéristiques d'authenticité vise à motiver les étudiants et ainsi à optimiser les performances réalisées tout en développant d'autres bénéfices tels que la confiance en soi nécessaire à l'application des concepts appris en situation professionnelle réelle.

Contexte et problématique

Contexte

Ce dispositif s'inscrit dans le cadre des travaux pratiques de nutrition et alimentation des animaux de compagnie (AC) dispensés à l'Université de Liège (Belgique) à des étudiants en médecine vétérinaire, inscrits en master 1 (la quatrième année de formation). L'unité d'enseignement compte 2 ECTS (*European Credits Transfer and accumulation System*), soit 60 heures de travail, cours compris. Ces travaux pratiques (TP) portent sur la mise en œuvre des concepts vus dans le cours théorique. Les étudiants y apprennent à établir une ration complète, équilibrée et individualisée pour des chiens et des chats au cours des différentes étapes du cycle de la vie (croissance, entretien, reproduction, animal gériatrique) ou en situation d'obésité. Malgré le peu de crédits d'enseignement attribués au cours de nutrition, cette matière est indispensable pour tout futur praticien souhaitant s'orienter vers la médecine canine ou féline, car la nutrition est un thème fréquemment abordé en consultation (Diez *et al.*, 2015; Freeman *et al.*, 2011).

Organisation des TP

Ces TP sont obligatoires et organisés comme suit pour 278 étudiants. La cohorte est divisée en 24 groupes d'environ 12 étudiants qui suivent chacun deux séances de TP au cours d'une même semaine. Les TP sont organisés durant 12 semaines, à raison de deux groupes de 12 étudiants par semaine : les cinq premières semaines se sont déroulées en présentiel (121 étudiants) et les sept dernières semaines ont dû être organisées à distance durant la pandémie liée au COVID-19 (157 étudiants).

Visées d'apprentissage

En termes de connaissances, l'étudiant doit maîtriser les notions théoriques nécessaires à l'établissement d'un plan de rationnement. Ces notions comprennent les méthodes d'estimation des besoins énergétiques, les recommandations nutritionnelles, la méthode de calcul des quantités journalières de nourriture à distribuer, les différentes modalités d'alimentation, le suivi nutritionnel et les critères permettant de communiquer efficacement avec un client. En termes de savoir-faire, il doit pouvoir établir une ration journalière individualisée en choisissant un aliment complet et équilibré et en formulant des modalités d'alimentation claires et précises. Enfin, en matière de savoir-être,

l'étudiant doit être capable d'adapter ses choix en tenant compte de l'animal, des demandes du propriétaire, du cadre de vie dans lequel l'animal évolue et des aléas de la consultation. Il doit également être en mesure de refuser certaines positions du propriétaire et de motiver ses refus, tout en proposant des alternatives afin d'aboutir à une prise de décision partagée. Pour cela, l'étudiant doit savoir communiquer efficacement avec le propriétaire et s'assurer de sa compréhension afin de favoriser sa compliance.

Évaluation

Les compétences entraînées durant la semaine de TP sont évaluées de façon certificative à l'issue du jeu de rôle. L'évaluation est réalisée à l'aide d'une grille critériée et porte sur les savoirs, savoir-faire et savoir-être décrits ci-dessus. La note obtenue à l'issue des TP de nutrition des AC représente 12,5% de la note finale attribuée à l'ensemble des épreuves relatives à la nutrition.

Problématique rencontrée

Notre intervention devait composer avec la volonté d'inclure davantage de mises en situation authentiques dans les apprentissages afin que les étudiants se sentent mieux préparés à la pratique professionnelle de la médecine vétérinaire, mais également avec certaines contraintes majeures. Parmi ces contraintes, rappelons que cette activité est organisée pour 278 étudiants aux profils hétérogènes, envisageant des orientations professionnelles variées (médecine des AC, médecine de troupeau, pratique généraliste ou spécialisée, recherche, enseignement...) et n'étant pas tous d'emblée intéressés par la nutrition des AC. À cela s'ajoute le faible taux d'encadrement des TP, portés par une seule assistante. Enfin, le poids dérisoire de la note de TP peut tendre à diminuer la valeur que les étudiants attribuent à ce dispositif.

Concepts théoriques mobilisés

Afin que les étudiants développent non seulement des compétences spécifiques dans le cours de nutrition, mais également des compétences sociales comme la communication et l'empathie, indispensables dans de nombreux domaines, et intéressantes pour un grand nombre de participants, nous avons proposé un jeu de rôle. Les étudiants jouent

chacun leur tour le rôle du vétérinaire et l'encadrant, celui du client. Les concepts pédagogiques mobilisés concernent l'apprentissage en contexte authentique et la diversification des événements d'apprentissage. Ils sont présentés ci-après.

Apprentissage en contexte authentique : critères d'authenticité et bénéfiques attendus

Les caractéristiques de cette simulation de consultation nutritionnelle ont été passées au crible des critères définis par Herrington et Herrington (2006) dans leur descriptif de l'apprentissage authentique en contexte académique.

Le premier critère consiste à fournir un contexte d'apprentissage similaire aux conditions réelles d'exercice des compétences entraînées. Ainsi, pour les TP en présentiel, un espace de consultation a été aménagé dans la classe et, pour les TP à distance, le jeu de rôle organisé en visioconférence est très proche de ce qui se pratique en télémedecine. Les cas cliniques distribués sont diversifiés, présentent des spécificités et balayent les principales interventions nutritionnelles possibles concernant le chien et le chat sain ou obèse. La simulation utilise également les codes d'une consultation réelle à travers l'interpellation des intervenants par le terme approprié au rôle joué (Docteur, M./Mme X) ou encore via l'emploi d'un vocabulaire vulgarisé, adapté au propriétaire fictif.

Le deuxième critère, la réalisation de tâches authentiques, est mis en œuvre par l'établissement d'un plan de rationnement complet, équilibré et individualisé, mais également communicable. Les tâches laissent effectivement la place à de multiples perspectives (troisième critère). La prise en charge nutritionnelle de l'animal offre un éventail de choix (aliments, conseils, résultats attendus), il n'y a donc pas une seule réponse correcte attendue. Les attentes du propriétaire fictif peuvent être variées (budget à respecter, pratique d'une activité sportive avec l'animal, pratiques alimentaires) et des compromis sont à considérer par rapport aux prises de décisions idéales, afin de s'accorder sur une décision partagée. À cette fin, les étudiants présentent et expliquent les choix qui s'offrent au propriétaire fictif et l'accompagnent dans ses prises de décision. Cette étape, qui permet aux apprenants de concrétiser et de verbaliser des raisonnements abstraits, constitue une illustration du quatrième critère fixé par Herrington. Les étudiants, au cours de leurs actions, sont confrontés à la prise en

charge de nouvelles informations amenées par le propriétaire, ce qui les entraîne à adapter le processus appris standard et à atteindre un niveau d'expertise supérieur (cinquième critère).

Le sixième critère consiste à favoriser l'apprentissage collaboratif. À cette fin, les activités proposées impliquent des interventions collectives (résolution collective d'exercice en séance 1, établissement du plan de rationnement, débat) et individuelles (tenir, à tour de rôle, celui du praticien). Au fil de l'intervention, les étudiants ont été encouragés et soutenus par l'enseignante (félicitations écrites pour l'envoi du travail intermédiaire puis définitif dans le temps imparti, félicitations pour les tâches correctement réalisées, explications bienveillantes en cas d'erreur) et par leurs pairs (applaudissements après chaque jeu de rôle, commentaires valorisants lors des débats), afin de rencontrer le septième critère inhérent à ce type d'apprentissage, qui est d'encourager les étudiants dans leur processus d'apprentissage.

Enfin, l'évaluation finale se veut de nouveau authentique (huitième critère). Elle est le reflet de la maîtrise des différentes tâches constituant la consultation nutritionnelle. La grille critériée employée permet de rendre compte de la qualité du plan de rationnement et du support visuel soutenant la consultation ainsi que des compétences générales dont les étudiants ont fait preuve.

D'après Lombardi (2007), l'apprentissage en contexte authentique motive les étudiants et favorise leur implication par la confrontation à la résolution de problèmes du « monde réel ». Il permet aux apprenants de faire des choix d'orientation professionnelle en se projetant et en considérant qu'ils sont capables de répondre aux besoins actuels du monde professionnel, et en les entraînant à atteindre un certain niveau d'expertise dans le domaine enseigné. À travers cette méthode, la métacognition des apprenants est stimulée et la persévérance est nécessaire pour réaliser des tâches aussi complexes, et demandant un travail interdisciplinaire et le dépassement des frontières culturelles. En étant confrontés à ce contexte authentique, les étudiants ont davantage la possibilité de retenir et de transférer leurs connaissances. Ils ont l'opportunité d'améliorer aussi leurs compétences sociales (communication, collaboration et leadership). Ainsi, cette approche peut participer au développement personnel des apprenants, améliorer leurs capacités de jugement, la pensée critique, la patience, la flexibilité, la créativité ou encore la tolérance à l'incertitude, à l'ambiguïté et aux aspects parfois conflictuels des perspectives envisagées.

Diversification des méthodes d'apprentissage

Pour répondre à l'hétérogénéité des profils et susciter l'intérêt et l'effort du plus grand nombre de participants, Leclercq et Poumay (2008) recommandent de diversifier les méthodes d'apprentissage. Notre séquence d'apprentissage comporte six des huit «événements d'apprentissage» décrits par ces auteurs : la transmission/réception (lors de la présentation des concepts théoriques en séance 1 et des actions des acteurs du jeu de rôle), l'exercisation (présent dans l'exercice collectif et les exemples de plans de rationnement), l'exploration de ressources nécessaires à la résolution du cas (compendiums, formulaires, sites internet), la création d'un plan de rationnement spécifique au cas, la métaréflexion offerte par l'évaluation formative (voir déroulement) et le débat qui clôture chaque jeu de rôle.

Description du dispositif réalisé

La simulation d'une consultation nutritionnelle proprement dite, le cœur du dispositif, est précédée de plusieurs étapes. En présentiel, durant deux heures, le lundi ou le mardi, chaque groupe de 12 étudiants assiste à un exposé sur les principes de rationnement du chien et du chat sain ou obèse. Il s'agit d'une présentation orale des concepts théoriques qui sont reliés à leur application pratique. À l'issue de cet exposé, le groupe se voit proposer une amorce d'anamnèse. Après avoir questionné l'enseignante afin d'obtenir les informations nécessaires à l'établissement d'une anamnèse complète, ils réalisent collectivement la prise en charge nutritionnelle de l'animal. Pour ce faire, ils estiment les besoins énergétiques et nutritionnels de l'animal et les comparent aux apports actuels. En cas d'apports inadéquats, ils motivent les pratiques refusées et justifient les alternatives proposées. Enfin, ils déterminent les modalités alimentaires et établissent un plan de suivi nutritionnel.

Les étudiants constituent ensuite librement cinq groupes de deux ou trois personnes selon leurs affinités. Chaque groupe se voit attribuer une nouvelle anamnèse qui permet, selon les cas, d'aborder les principes de rationnement du chiot, de la chienne reproductrice, d'un chien obèse, d'un chien nourri avec une ration ménagère et d'un chat. L'ensemble de la matière vue lors de la présentation orale est ainsi abordé.

Par la suite, les étudiants doivent librement s'organiser pour travailler ensemble et préparer une ébauche du plan de rationnement qu'ils défendront oralement à l'occasion du jeu de rôle. Vingt-quatre heures après avoir reçu leur anamnèse, ils ont la possibilité d'envoyer cette ébauche à l'enseignante afin de recevoir un avis formatif: les points forts sont soulignés et les éléments améliorables mis en évidence. Cette évaluation formative facultative leur est envoyée dans un délai de six heures et s'accompagne d'une nouvelle information à considérer dans leur production finale qui sera défendue durant le jeu de rôle. Dès réception de l'avis formatif, les étudiants ont la possibilité d'améliorer leur travail et de se préparer à traiter la nouvelle information. Ils mettent en forme leur plan de rationnement sous la forme d'un diaporama et l'envoient la veille de la séance 2. Si un groupe décide de ne pas bénéficier de cette opportunité d'évaluation formative, il reçoit la nouvelle information à traiter par courriel.

Les jeudis ou vendredis, chaque sous-groupe participe au jeu de rôle. Durant cette deuxième séance de TP, d'une durée de trois heures, tous les étudiants du groupe jouent à tour de rôle celui du praticien. L'enseignant endosse celui du propriétaire. Les étudiants communiquent au propriétaire fictif le plan de rationnement élaboré, répondent à ses questions, motivent les décisions prises et prennent en considération l'information nouvelle transmise lors de l'avis formatif ou par courriel. Durant cette conversation, qui se veut la plus spontanée possible, la propriétaire-enseignante injecte une nouvelle information que les étudiants doivent prendre en compte, cette fois-ci, sans préparation. À l'issue de chaque performance, un débat est organisé avec l'ensemble de la classe. En présentiel, il s'agit d'un tour de table permettant de mettre en lumière, pour chaque prestation, les points forts, les points faibles et les pistes d'amélioration.

Dès que l'enseignement à distance est devenu obligatoire dans le contexte de la pandémie, l'activité transmissive d'une demi-journée des lundis ou mardis a été remplacée par la mise à disposition, sur la plateforme de l'établissement, d'une version commentée, téléchargeable, du diaporama de l'enseignante. Celui-ci présente, sous forme de commentaires audio, les mêmes explications que celles fournies lors des séances présentielles, ainsi que l'expression de la résolution de l'exercice illustrant les notions théoriques. Chaque étudiant doit en prendre connaissance. Pour le travail de groupe, la composition des groupes de travail a été déterminée selon l'ordre alphabétique. Chaque groupe

désigne un membre chargé du contact par voie électronique avec l'enseignante. Les étudiants élaborent ensuite ensemble leur plan de rationnement, en communiquant à distance, et reçoivent par courriel, dès l'envoi de leur production finale, un lien leur permettant d'accéder à une réunion programmée en visioconférence. Lors de la seconde séance, l'ensemble des étudiants se connecte sur l'application via le lien envoyé. Chaque groupe de travail participe, tour à tour, au jeu de rôle en illustrant son intervention à l'aide d'un diaporama projeté par partage d'écran.

Méthode

Population

L'étude porte sur l'ensemble des étudiants inscrits en première année de master en médecine vétérinaire participant aux TP ($n = 278$ dont 222 femmes). Vu le contexte épidémiologique de l'année 2020, 121 étudiants ont participé aux séances en présentiel et 157 étudiants ont dû y assister à distance lorsque cette modalité d'enseignement a été imposée.

Variabes

Des données de perception ont été récoltées afin d'investiguer la motivation des étudiants, l'intérêt et l'utilité perçue de la matière, la convivialité des activités, le rapport entre l'apprentissage et l'investissement dans les TP, leur perception de compétences à l'issue des activités et la confiance en soi à l'idée de transposer les concepts en situation professionnelle. Afin d'évaluer leur implication, des données de participation aux activités obligatoires et facultatives ont été relevées. Enfin, les performances des étudiants, lors du jeu de rôle et à travers la prise en charge d'une information nouvelle, ont également été considérées.

Matériels et procédures

En ce qui concerne les données de perceptions, les étudiants ont été interrogés avant et après leur participation aux TP via des questionnaires (papier lors des cours en présentiel ou en version numérique durant les cours à distance). De manière à pouvoir mettre en relation les réponses données par les participants avant et après l'activité,

les questionnaires étaient nominatifs. Les étudiants étaient cependant assurés du respect de leur anonymat dans l'expression des résultats ainsi que de la parfaite indépendance de leurs avis et de leurs évaluations. Ces questionnaires comprenaient des questions fermées avec échelle de Likert sans tendance centrale ainsi que des questions ouvertes permettant de compléter un choix ou un avis. Les données, y compris les réponses aux questions ouvertes, ont été encodées dans un tableur permettant de les croiser. Les phrases entières issues des réponses aux questions ouvertes ont été systématiquement retranscrites, découpées en unités de sens, pour ensuite être codées par catégories de mots-clés déterminés a posteriori, après une première lecture globale des réponses fournies. Le calcul des gains relatifs a été réalisé en comparant les scores donnés à un même item avant et après participation aux TP. Il se calcule comme suit :

$$\text{gain relatif} = \frac{(\text{score donné au questionnaire 2} - \text{score donné au questionnaire 1})}{(\text{score maximal de l'échelle} - \text{score donné au questionnaire 1})} \times 100$$

La participation et l'implication des étudiants ont été évaluées par comptage et datation des courriers électroniques échangés permettant de vérifier si chaque groupe avait bien rempli les tâches demandées dans le délai imparti. La participation aux débats a été évaluée pour un échantillon d'étudiants (neuf groupes sélectionnés au hasard, soit un peu plus de 400 interventions, entre le 9 mars et le 30 avril 2020). Les interventions aux débats ont été classées en trois catégories : intervention pertinente, intervention non pertinente, absence d'intervention.

Les données de performances concernent les scores obtenus par les étudiants à l'issue des TP et les scores d'adaptation à une information nouvelle. La qualité du plan de rationnement est évaluée à l'aide d'une grille critériée permettant d'attribuer dix points à la qualité intrinsèque du plan de rationnement et à la justesse des informations communiquées pendant le jeu de rôle ainsi que deux points pour la qualité du support de communication. L'expression des compétences sociales est sanctionnée par l'octroi de points si les aspects de communication (un point), d'adaptabilité (un point) et d'empathie, d'écoute et de respect du propriétaire fictif (1 point) sont présents. La capacité à prendre en charge une information nouvelle (avec et sans préparation préalable) est, quant à elle, évaluée avec une échelle graduée de 0 (mauvaise prise en charge) à 2 (prise en charge correcte).

Résultats

Perceptions

Les activités proposées ont permis de motiver 86% des répondants dans l'apprentissage du cours, et ce, bien qu'ils n'envisagent pas tous de pratiquer la médecine des AC (si 34% des répondants s'y destinent, 33% visent une pratique mixte, 6% une pratique rurale, 9% une pratique équine et 18% ne savent pas encore vers quel domaine professionnel s'orienter ou envisagent un avenir professionnel différent de celui de la pratique). Le caractère motivant de la séquence d'apprentissage est davantage mis en avant pour les TP organisés en présentiel (94%) qu'à distance (82%). Les répondants participant aux TP trouvent presque tous l'activité conviviale (89%) et ce, de manière plus marquée encore lors des activités en présentiel (96%) qu'à travers les échanges virtuels (85%).

Aussi, 89% des répondants déclarent initialement que la matière est intéressante ou très intéressante (93% lors des cours en présentiel et 85% lors des cours à distance). Ils justifient leur intérêt initial par la perception de l'utilité professionnelle de la matière (60%) ou par un intérêt spécifique pour la nutrition des AC (23%). Avant de participer aux TP, 11% des étudiants déclarent avoir peu d'intérêt pour la nutrition des AC. À l'issue des TP, ils sont 97% à considérer la matière comme intéressante (99% pour les cours en présentiel et 97% lors des cours à distance). Les gains relatifs à l'évolution des scores d'intérêt donnés avant et après les séances de TP montrent qu'environ deux tiers de la cohorte (66%) maintiennent un intérêt maximal ou développent un intérêt, et ce, de manière plus marquée pour l'enseignement en présentiel (76%) qu'à distance (60%). Un seul répondant a renseigné une baisse d'intérêt pour la matière sans en donner de justification.

La majorité des répondants trouvent le TP utile ou très utile, que ce soit avant (94% pour les cours en présentiel et 97% lors des cours à distance) ou à l'issue des TP (98% pour les activités en présentiel et 97% lors des TP à distance). Leur avis évolue peu à l'issue des activités (62% des répondants maintiennent un score maximal et 16% perçoivent les TP comme plus utiles). Globalement, que ce soit avant ou après les TP, ils semblent conscients que les notions apprises sont utiles en médecine préventive, pour la prise en charge thérapeutique, le bien-être animal ou encore le conseil au client.

À l'issue des activités, les répondants se perçoivent globalement comme compétents à l'égard des différentes tâches inhérentes à la consultation nutritionnelle, comme le montre la figure 2.1. En moyenne, ils situent leur compétence à un score de plus de 7/10 et ce, pour l'ensemble des tâches visées par l'objectif des TP. Bien que tous les répondants se perçoivent compétents, les résultats obtenus sont meilleurs pour l'activité en présentiel que lors des TP à distance. Grâce à cette perception de compétence, 81% des répondants déclarent avoir confiance en eux à l'idée de mener une consultation nutritionnelle réelle. Ils sont cependant moins nombreux à exprimer ce sentiment de confiance à l'issue des TP à distance (78%) qu'après les TP en présentiel (87%).

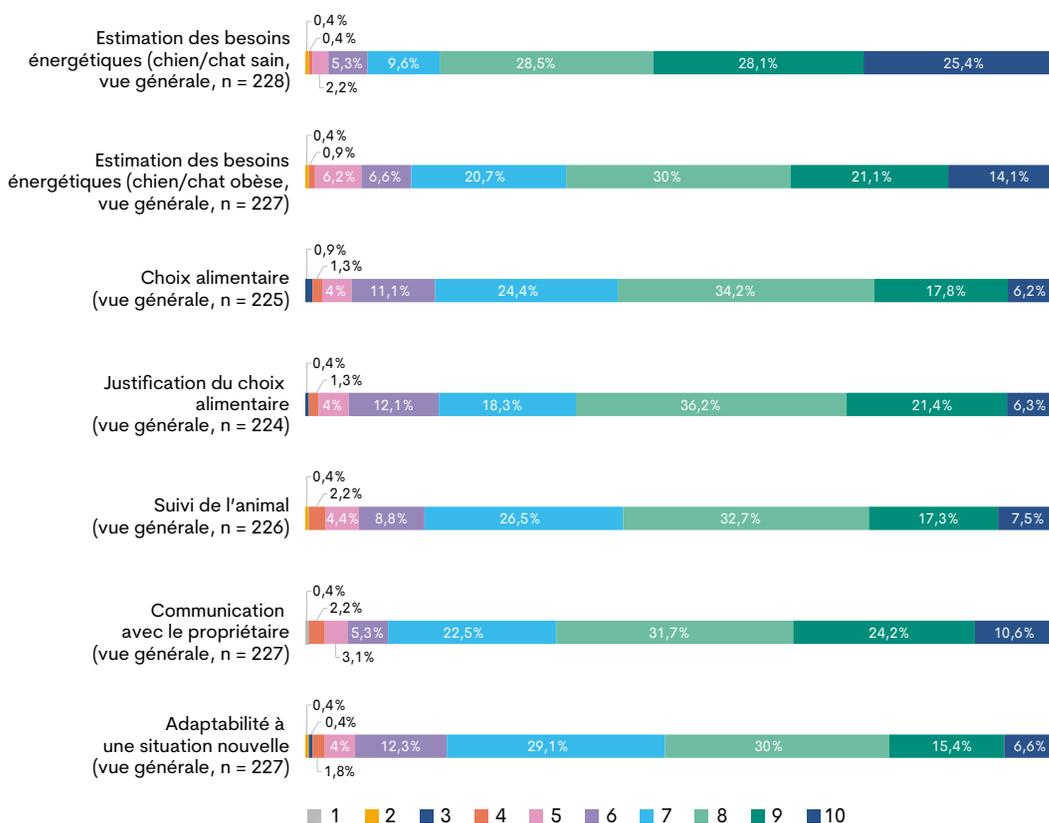


FIGURE 2.1 Perceptions, par les étudiants, de leurs capacités à mener à bien les différentes tâches d'une consultation nutritionnelle sur une échelle de 1 (compétence faible) à 10 (compétence très élevée).

Enfin, l'évaluation du rapport « coût/bénéfice » des séances de TP montre que 55 % des répondants considèrent que les apprentissages sont à la hauteur du temps consacré à la réalisation des différentes tâches (52 % lors des TP dispensés en présentiel et 57 % à distance). Plus d'un tiers de la cohorte (37 %) considère que les apprentissages sont importants par rapport à l'investissement fourni, et ce, de manière plus marquée pour l'enseignement en présentiel (48 %) que lors des activités à distance (30 %). Seuls 8 % des répondants, assistant aux TP à distance, renseignent un mauvais rapport « coût/bénéfice ».

Participation

La motivation des étudiants se traduit par un taux de participation excellent, y compris lors des activités facultatives (évaluation formative et participation aux débats). Tous les étudiants adhèrent à l'activité; en tant qu'acteurs, ils préparent tous le travail demandé, respectent les échéances de remise des travaux, présentent leur cas et interagissent avec la propriétaire fictive. Plus de 98 % des étudiants participent à l'évaluation formative durant la pandémie liée au COVID-19 et plus de 80 % lors des TP en présentiel.

Tous les étudiants ont participé au jeu de rôle à l'exception de 13 d'entre eux, pour qui la seconde séance a été annulée à la suite de l'annonce brutale de l'arrêt des activités en présentiel en début de pandémie, et de 16 étudiants qui n'ont pas participé à l'activité lors des TP à distance (pour des raisons techniques ou organisationnelles).

À l'occasion des débats, tous les étudiants se sont impliqués. En tant qu'observateurs, ils sont attentifs aux présentations de leurs condisciples et interagissent avec eux de manière pertinente. En effet, sur un échantillonnage de données récoltées pendant neuf séances (une en présentiel et huit à distance), plus de 90 % des étudiants ont pris la parole afin de partager une information utile. Tous les débats se sont déroulés de manière bienveillante et constructive. Nous avons cependant observé une légère diminution du nombre et de la pertinence des informations partagées avec l'avancée de l'année académique, probablement à cause de l'approche des examens.

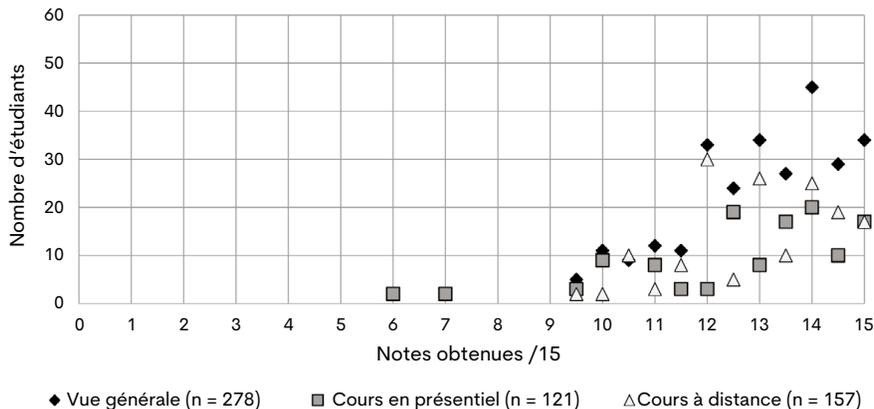


FIGURE 2.2 Distribution des notes obtenues par les étudiants dans leur ensemble ($n = 278$), en présentiel et à distance.

Performances

Comme mis en évidence par la distribution des scores obtenus à l'évaluation certificative (figure 2.2), les étudiants réalisent des performances complexes de qualité à l'occasion d'une consultation simulée. Les scores finaux obtenus sont bons, voire excellents, avec une moyenne générale de 12,9/15.

Au cours de la semaine de TP, les étudiants progressent (ils améliorent leurs performances au cours du temps, de la résolution collective de l'exercice proposé en séance 1 et à la préparation du cas pour le jeu de rôle en séance 2). Ils sont plus de la moitié à s'adapter correctement à des éléments nouveaux rencontrés lors de la prise en charge nutritionnelle d'un cas, que ce soit avec (60% des étudiants) ou sans préparation préalable (55% des étudiants). On constate également que les résultats obtenus sont meilleurs durant l'enseignement en présence qu'à distance.

Discussion

Les résultats présentés confirment nos hypothèses : en étant confrontés à une mise en situation authentique faisant appel à des événements d'apprentissage diversifiés, les étudiants font preuve de motivation. D'après Viau, « la motivation est un état dynamique qui a ses origines dans les perceptions qu'un élève a de lui-même et de son

environnement» (2004, p. 2). Ces perceptions conditionnent le choix de l'activité ainsi que l'engagement et la persévérance dont l'étudiant fait preuve au cours de cette activité afin d'atteindre un but. À l'échelle des TP, la motivation se traduit par une implication visible dans l'apprentissage des contenus du cours de nutrition des AC, par la réalisation précise de tâches obligatoires et optionnelles, qui se soldent par des performances de très bonne qualité. Ce faisant, les étudiants améliorent leur perception de compétence à l'égard des différentes tâches inhérentes à la consultation nutritionnelle. Conscients de leurs compétences, ils se montrent davantage confiants à l'idée de transposer les concepts appris, durant la semaine de TP, en situation professionnelle.

Indicateurs de motivation

Le taux de participation aux différentes tâches proposées durant la semaine de TP est excellent et proche des 100 % et ce, y compris pour les tâches facultatives. Ce résultat est surprenant vu le peu d'ECTS accordés à la matière, mais l'est finalement moins au vu de la valeur attribuée à ces TP, notamment à travers une perception d'utilité élevée. Les notes obtenues aux évaluations certificatives sont excellentes, même si elles pèsent assez peu dans l'évaluation du bloc complet. En percevant l'application concrète du cours en milieu professionnel et en étant, dès le début des TP, conscients de son utilité en médecine des AC, les étudiants ont dépassé le niveau de motivation extrinsèque qui consiste à travailler «pour les points» puisque le nombre de crédits attribués au cours de nutrition des AC est faible. Les apprentissages sont perçus comme utiles intrinsèquement, pour plus tard, en tant que vétérinaire praticien, mais aussi immédiatement, pour leurs propres animaux, comme mentionné dans de nombreuses réponses aux questionnaires. Les étudiants se sont réellement impliqués dans leur apprentissage et ont saisi les opportunités qui s'offraient à eux afin de progresser (tel que montré par le taux de participation, excellent, à l'évaluation formative). Les étudiants participant à l'évaluation formative ont tous pris en considération les feedbacks reçus afin d'élaborer la version définitive de leur plan de rationnement.

La séquence d'apprentissage a été pensée de manière à motiver au mieux les étudiants et, de ce fait, à optimiser les performances réalisées. Ces objectifs ont été largement atteints. Les étudiants ont presque

tous réalisé une performance de qualité en ce qui concerne les contenus proposés (plans de rationnement) et les interventions à l'occasion des différents jeux de rôle, et ce, avec un temps de préparation limité. Il semble évident que l'obtention de tels résultats à l'évaluation certificative découle de l'importance de leur motivation au cours de toute la séquence d'apprentissage proposée ainsi que de la persévérance dont ils ont fait preuve afin d'atteindre les objectifs fixés.

Leviers motivationnels : facteurs externes

Une des premières stratégies consiste à diversifier les événements d'apprentissage afin de faire face à l'hétérogénéité d'une cohorte de 278 étudiants, de susciter leur intérêt pour la nutrition des AC ainsi que de favoriser l'effort d'apprentissage nécessaire pour atteindre les objectifs des TP (Leclercq et Poumay, 2008). L'objectif final de la semaine de TP, à savoir tenir le rôle de praticien à l'occasion du jeu de rôle, représente un défi pour eux. Celui-ci est réalisable grâce aux événements d'apprentissages survenant plus tôt dans la semaine de TP (ils ont « toutes les cartes en main » pour mener à bien ce projet), mais garde une certaine complexité. En effet, les étudiants n'ont, a priori, jamais été confrontés à une telle mise en situation authentique depuis le début de leur cursus universitaire (Pelaccia et Viau, 2016). Ensuite, l'évaluation formative proposée leur donne l'occasion de s'améliorer, si nécessaire, avant la deuxième séance au cours de laquelle ils peuvent constater leur progression (notamment grâce aux feedbacks reçus par les pairs et par l'enseignante lors des débats de clôture) (*ibid.*). Un troisième élément ayant permis de motiver la majorité de la cohorte est la convivialité des activités. En effet, le climat de classe a dû jouer un rôle important pour atteindre un tel niveau de performance. Il se veut principalement orienté vers l'apprentissage plutôt que sur les performances, même si ces dernières sont évaluées (Watkins, 2010). Les étudiants ont pu apprendre de leurs erreurs (lors de l'évaluation formative ou lors des débats) et se sont saisis de l'opportunité de s'améliorer en surmontant rapidement les difficultés rencontrées. L'enseignante a, pendant toute la durée des séances, encouragé, rassuré et utilisé un ton bienveillant envers les étudiants lors des échanges réels ou virtuels. Son statut de vétérinaire praticien privé (pratique généraliste orientée AC) représente probablement aussi une valeur ajoutée dans leur perception de l'application professionnelle possible des contenus

enseignés (Pelaccia et Viau, 2016). Les feedbacks donnés à l'issue de chaque jeu de rôle étaient autant destinés aux étudiants acteurs qu'aux pairs « spectateurs », afin de tenir compte des conséquences potentielles de l'expérience vicariante en revenant sur les éventuelles erreurs commises (*ibid.*).

Leviers motivationnels : facteurs internes

Le premier facteur suscitant la motivation intrinsèque des étudiants réside dans la valeur qu'ils accordent au cours. Comme discuté ci-dessus, leur intérêt pour la matière est intimement lié à la perception quasi unanime de son utilité professionnelle. La mise en situation authentique à travers le jeu de rôle leur permet de se projeter facilement et de renforcer leur intérêt pour le cours qui est, de ce fait, perçu comme « applicable » dans la pratique professionnelle (*ibid.*). Les étudiants souhaitant s'orienter vers des domaines autres que la pratique mixte ou la médecine des AC peuvent trouver un intérêt dans les TP en raison de l'entraînement au raisonnement clinique ou la mise en œuvre des compétences sociales.

Aussi, les activités proposées offrent les conditions pour que les étudiants développent un sentiment de contrôlabilité (*ibid.*) et une certaine autonomie (Reeve, 2002). Une grande part de liberté leur est donnée tout au long de la séquence d'apprentissage. Dans la modalité présentielle, les étudiants étaient libres de choisir leurs collègues de travail ; une liberté totale d'organisation intragroupe leur est donnée (à l'exception des étudiants participant aux TP à distance pour qui l'organisation du travail a été source de difficultés, notamment sur le plan du temps investi dans les prises de contact entre membres d'un même groupe) ; ils ont la possibilité de présenter la première version de leur plan de rationnement à l'occasion du jeu de rôle ou de le perfectionner en bénéficiant d'une évaluation formative ; ils ont également la possibilité d'aller « plus loin » et de faire preuve de créativité dans la prise en charge du cas fictif en proposant, par exemple, des supports soutenant la consultation (comme ce fut le cas, entre autres, d'un groupe d'étudiants qui a programmé une table de calcul automatisée afin d'aider le propriétaire fictif à ajuster la quantité de nourriture à donner à son animal en fonction de la quantité de friandises distribuées sur la journée). En séance 2, ils ont également pu adapter les principes de communication en accord avec leur personnalité, choisir de jouer le rôle de

praticien de façon poussée avec, par exemple, le port d'une tenue de vétérinaire ou encore sélectionner le contenu de leurs interventions lors de la prise de parole durant les débats.

Enfin, nous espérons que cette activité pourrait également développer un sentiment de compétence et la confiance en soi des étudiants devant la réalisation des diverses tâches constituant la consultation nutritionnelle, tels qu'observés à l'issue d'un apprentissage par simulation de cas en médecine (Hogg et Miller, 2016). Les résultats obtenus sont à la hauteur de nos attentes. Outre l'aspect motivationnel indéniable de la perception de compétence des apprenants à l'égard de la réalisation d'une tâche et de son influence sur les performances réalisées (Pelaccia et Viau, 2016), il en va également de leur bien-être. En effet, il a été montré que les étudiants en médecine vétérinaire avec une confiance en soi élevée présentaient un degré de bien-être important (Gardner et Parkinson, 2011), alors que les étudiants avec une faible confiance en soi sont les plus stressés, avec pour conséquence un impact négatif sur leur bien-être et sur les performances réalisées (Miller *et al.*, 2015). Confronter les étudiants vétérinaires à une mise en situation authentique, encadrée, durant laquelle ils atteignent des objectifs transposables à la vie professionnelle contribue donc largement à améliorer leur perception de compétence et ainsi à se sentir confiants à l'idée de réutiliser les concepts appris en situation réelle.

Différences entre l'enseignement en présentiel et à distance

Les résultats présentés sont, presque systématiquement, tous meilleurs lorsque les TP se donnent en présentiel par rapport à l'enseignement à distance. En effet, en présentiel, les étudiants trouvent les activités plus conviviales et sont plus nombreux à déclarer avoir été motivés dans leurs apprentissages. Ils préfèrent, pour la plupart, les échanges réels, qui facilitent la communication entre apprenants ou avec l'enseignante. La difficulté communicationnelle est, de fait, supérieure pour les échanges à distance, ce qui tend à diminuer leur motivation. De plus, les encouragements, qui interviennent dans la dynamique motivationnelle, sont moins marqués lors des TP à distance (Quintin, 2008).

Malgré la motivation moindre des participants aux TP à distance, on peut constater que leur participation à l'évaluation formative est plus importante. Cette différence s'explique probablement par le peu

d'activités « extrascolaires » et le peu d'interactions sociales « réelles » possibles en période de confinement, laissant place à plus de temps disponible pour les apprentissages.

Les performances réalisées, durant l'enseignement virtuel, pour la prise en charge d'une première information nouvelle (sans préparation) sont moins qualitatives qu'en présentiel. Une hypothèse est que l'activité transmissive de substitution (diaporama commenté à visionner) n'a pas toujours été réalisée ou du moins, pas intégralement (probablement par sélection des éléments théoriques utiles à la résolution de leur cas), ce qui engendre une moins bonne intégration de l'ensemble des contenus.

Aussi, les étudiants se perçoivent globalement moins compétents à l'issue des TP à distance. De ce fait, ils ont moins confiance en eux à l'idée de transposer les concepts appris en situation réelle.

Enfin, le principal grief émis par les étudiants suivant les TP à distance est l'aspect chronophage et énergivore des activités. C'est compréhensible en raison, d'une part, du caractère plus laborieux des communications et d'autre part, du temps et de l'énergie nécessaires pour prendre connaissance des consignes ou localiser les ressources (Curtis et Lawson, 2001). Globalement, cette autonomie « forcée » a été source de stress (peur de mal comprendre les consignes, de « passer à côté » d'une information essentielle...).

Limitations

La mise en œuvre de cette activité demande beaucoup d'énergie aux étudiants et à l'enseignante. Malgré ses côtés dynamisants et authentiques, elle présente des limitations :

- C'est une situation artificiellement construite, les éléments amenés sont parfois un peu caricaturaux pour confronter les étudiants à un panel de cas suffisamment diversifiés.
- Deux ou trois étudiants doivent s'exprimer au cours d'une consultation simulée d'une vingtaine de minutes, avec la pression supplémentaire de l'évaluation, ce qui suggère une diminution du caractère authentique de l'activité.
- Les éléments évalués sont nombreux et portent à la fois sur les connaissances, les savoir-faire et les savoir-être, ce qui implique que la charge cognitive de l'enseignante est importante, particulièrement en séance 2. C'est la raison pour laquelle l'évaluation des compétences sociales est indiscutablement fruste.

- Lors de la première séance théorique, on ne peut pas assurer que les savoir-être sont réellement entraînés (la communication avec la propriétaire), alors qu'ils sont finalement bel et bien évalués lors du jeu de rôle, ce qui représente un manque de concordance entre méthodes et évaluation.
- Les délais entre la séance 1, l'envoi de l'ébauche du plan de raisonnement pour évaluation formative, l'envoi du support de présentation final et la séance 2 sont très courts (72 heures).

Conseils de mise en œuvre pratique

Organisation préalable aux TP

L'organisation de séances de TP de ce type réclame une planification minutieuse. Chaque semaine, il convient de répartir les étudiants en autant de groupes de travail qu'il y a de thèmes à traiter (cinq pour notre dispositif) et éventuellement d'imposer la répartition des élèves au sein des groupes afin de gagner du temps. Les amorces d'anamnèses sont à créer et à regrouper par sujet (dans notre cas : 24 anamnèses différentes pour chacun des cinq thèmes abordés). Une fiche d'activité détaillée reprenant les objectifs, les consignes et les modalités organisationnelles et d'évaluation de l'activité ainsi qu'un échéancier à respecter est à rédiger. Enfin, il faut créer, communiquer et imprimer pour chaque groupe de travail une grille critériée plus ou moins sophistiquée en fonction des visées d'apprentissage que l'on poursuit.

Tous les documents relatifs à l'organisation de l'activité (plan de cours, fiche d'activité, répartition des groupes de travail) ainsi que les ressources (diaporamas, compendiums, formulaires, liens internet) sont à centraliser sur une plateforme internet accessible aux étudiants.

Matériel à prévoir

L'activité nécessite peu de matériel. Pour les cours en présentiel, la salle de cours doit être équipée d'un bureau et de chaises (espace dédié à la consultation), d'un rétroprojecteur et d'un écran ainsi que d'une table ovale avec des chaises pour les étudiants spectateurs. Un chronomètre est à prévoir pour minuter les jeux de rôles. À domicile, chaque participant devra être équipé d'un ordinateur, d'un micro et d'une webcam.

Organisation de l'activité : chronologie de la séquence d'apprentissage

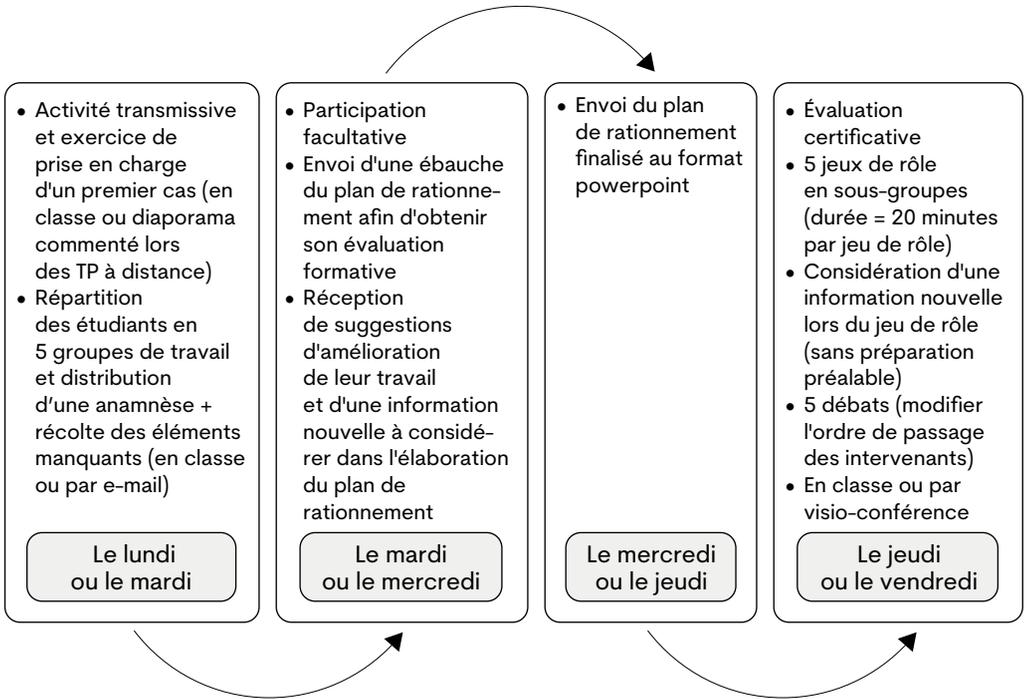


FIGURE 2.3 Chronologie de la séquence.

Mode d'enseignement à privilégier

Les TP en présentiels sont à privilégier. Outre le renforcement de l'aspect authentique du jeu de rôle, ce mode d'enseignement optimise la motivation des apprenants grâce aux encouragements qui sont plus marqués ou encore, à une perception accrue de convivialité durant les activités. Ce mode d'enseignement facilite également la communication entre les participants, ce qui impacte positivement le rapport « coût/bénéfice » évalué au terme de l'activité.

Concepts pédagogiques mobilisés dans le dispositif

L'apprentissage en contexte authentique et la diversification des méthodes d'apprentissage sont les deux grands concepts pédagogiques ayant inspiré le développement de ce dispositif.

Anne Couëdel-Courteille, Maryline Moulin,
Béatrice Grijol & Antoinette Bouziane

3 | Jeu d'évasion pédagogique en sciences du vivant

Résumé

Développer des compétences transversales et approfondir certains concepts de biologie avec enthousiasme sont deux des objectifs initiaux de la mise en place de ce dispositif d'enseignement qui vise par ailleurs à améliorer l'expérience d'apprentissage, la motivation et l'engagement d'étudiants de premier cycle universitaire en sciences du vivant. En diversifiant les approches pédagogiques, il s'agit de mieux adapter les pratiques d'enseignement aux étudiants d'aujourd'hui et d'en retirer plus de satisfaction du côté enseignant. À l'Université Paris Cité, deux enseignantes formées aux pédagogies innovantes ont créé un enseignement nommé «*Escape game* moléculaire» destiné à une quinzaine d'étudiants. Ceux-ci doivent concevoir et fabriquer un jeu d'évasion pédagogique autour de la biologie et, en fin d'enseignement, le tester auprès d'autres apprenants et personnels de l'université.

S'inspirant de plusieurs pratiques pédagogiques comme l'apprentissage par projet et l'apprentissage par le faire, ce dispositif, ancré dans une réalisation concrète, vise à mobiliser et à approfondir les connaissances disciplinaires des étudiants, tout en favorisant le développement des compétences transversales. Il s'agit par ailleurs de leur insuffler un enthousiasme nouveau pour la biologie, de les rendre plus engagés, actifs et autonomes dans leurs apprentissages.

Le rôle de guide que les enseignantes adoptent dans un tel projet est source de motivation.

Introduction

La perte croissante d'enthousiasme et de curiosité d'apprendre de nombreux étudiants en premier cycle de sciences du vivant (SdV) est constatée par beaucoup d'enseignants depuis plusieurs années (Pageau et Bujold, 2000). Or ces paramètres sont des moteurs essentiels qui aident les étudiants à réussir leur parcours universitaire. Par ailleurs, le manque de pratique et de concret est une autre critique souvent formulée par les étudiants de nos formations. Pour tenter de répondre à ces attentes, nous avons décidé de mettre en œuvre une alternative à l'enseignement frontal. Depuis deux ans, nous proposons aux étudiants de créer de A à Z, en un semestre, un jeu d'évasion pédagogique autour des sciences qui doit être suffisamment abouti en fin de parcours pour que d'autres étudiants et personnels de l'université puissent y jouer.

Cette situation d'apprentissage est une alternative aux pédagogies purement théoriques et transmissives qui peuvent entraîner une baisse de motivation et d'engagement chez les étudiants. Il s'agit de «mettre la main à la pâte», tout comme le propose la fondation du même nom, créée par le prix Nobel Georges Charpak, qui promeut des pratiques innovantes d'enseignement des sciences (LAMAP, n.d.). La création d'un jeu d'évasion pédagogique, accomplissement final de cet enseignement, est un moyen d'accompagner les étudiants vers un apprentissage ludique et diversifié, même en sciences, et rattaché à leur environnement. Cette approche par projet permet aussi le développement de compétences transversales peu travaillées dans un contexte universitaire et pourtant fondamentales pour tous les étudiants de deuxième année, quels que soient leurs choix professionnels futurs.

Ce nouvel enseignement s'accompagne en outre d'un changement de posture des enseignants vis-à-vis des étudiants, qui a deux objectifs : permettre aux étudiants d'envisager l'interaction avec les enseignants différemment ; faire expérimenter à ces derniers le plaisir d'enseigner autrement que par la transmission des savoirs. Adopter une posture plus centrée sur les étudiants en les laissant s'emparer d'un projet, en les aidant à le faire évoluer et à le réaliser est une source de motivation pour l'engagement de l'enseignant-chercheur.

Contexte et problématique

Notre rencontre, il y a six ans, à l'occasion d'un enseignement de formation préprofessionnelle des étudiants à l'université, a stimulé une réflexion sur des questionnements communs. Que pouvons-nous faire, en tant qu'enseignants, pour nous adapter à un public d'étudiants en deuxième année de SdV dont la motivation et l'enthousiasme pour leurs apprentissages décroissent au fil des années? Quelles sont les compétences essentielles à développer chez des étudiants de premier cycle qui ne se destinent plus tous à la recherche? Comment pouvons-nous néanmoins susciter davantage d'intérêt des étudiants pour la recherche et mieux leur faire comprendre ce dont il s'agit? Comment pouvons-nous les former à un monde et à des sciences qui évoluent plus vite que jamais et qui requièrent par conséquent l'acquisition de compétences transversales pour leur avenir?

Notre réflexion, nourrie entre autres par notre participation au LearningScape, jeu d'évasion pédagogique pour sensibiliser à la pédagogie, créé par le service d'accompagnement pédagogique de l'Université Paris Cité (SAPIENS) et le Centre de recherche interdisciplinaire (Bouziane, 2019), a abouti à la création de cet enseignement innovant, jamais mis en place dans nos cursus, pour ces étudiants de deuxième année en formation SdV.

Nous avons ainsi conçu un enseignement optionnel de 24 heures qui consiste à faire créer par les étudiants un jeu d'évasion pédagogique, autour d'un thème en relation avec leurs enseignements de deuxième année. Ce jeu doit s'adresser à un public d'étudiants se formant à l'enseignement dans le secondaire ou au grand public dans le cadre d'animations scientifiques comme la fête de la science. La dernière séance de l'enseignement est consacrée à l'animation par les étudiants de deux sessions de jeu.

Les étudiants doivent faire appel à leur créativité et à leur capacité à faire de nombreux allers-retours entre concepts et mises en pratique. En effet, une des premières activités de cet enseignement est la création d'énigmes se basant en partie sur leur programme disciplinaire de deuxième année et qui, par nature, leur demande d'être créatifs dans la résolution d'un problème nouveau. Cette activité requiert un questionnement intense et confronte inévitablement les étudiants à plusieurs essais infructueux jusqu'à ce qu'ils réussissent à construire une énigme qui fonctionne et qui s'intègre au contexte pédagogique du jeu

d'évasion. Tout au long de cet enseignement, les étudiants s'initient également à la gestion de projet, qui inclut la définition des outils de communication, d'organisation et de répartition des tâches et des responsabilités entre les membres d'un groupe/sous-groupe, le stockage des documents, la gestion des comptes rendus et l'organisation du rétroplanning. Ces compétences complexes et transversales font partie intégrante de l'activité d'un chercheur et d'autres professions. Enfin, les étudiants fabriquent le matériel nécessaire à la réalisation concrète des énigmes grâce au bricolage et à l'utilisation de machines du FabLab (Université Paris Cité, n.d.).

Concepts

Quand on s'interroge, en tant qu'enseignant, sur des dispositifs permettant d'accroître l'envie d'apprendre des étudiants, il est souhaitable de réfléchir à l'activité même qu'est l'apprentissage. Selon Giordan (n.d.), plus qu'accumuler des connaissances, apprendre c'est savoir se questionner, se confronter à la réalité, s'exprimer, argumenter, mettre en réseau. Il est aussi important de considérer que les processus qui favorisent l'adoption de la posture d'apprenant dépendent de chaque individu, de son histoire, du moment et de l'environnement. Les différents types d'apprentissage ne devraient donc pas s'exclure, mais se compléter, s'enrichir.

L'enseignement considéré dans ce travail est un mélange d'expertises didactiques et pédagogiques, acquises tout au long de différentes formations proposées par SAPIENS, et d'expériences d'enseignement. Il est spontané et nous nous adaptons aux différents groupes chaque année. Nous accompagnons les étudiants pour leur faire prendre conscience d'un certain nombre de compétences qu'ils travailleront tout au long de l'enseignement qui a été construit en s'appuyant sur six concepts que nous définissons ci-dessous.

Dynamique motivationnelle

Considérée comme une des conditions les plus déterminantes à l'apprentissage (Amadiou et Tricot, 2015; Morlaix et Lambert-Le Mener, 2015), la motivation générale à étudier à l'université est évidemment essentielle pour l'engagement de l'étudiant dans ses apprentissages. Cette motivation est d'abord dépendante de l'importance comprise par

l'étudiant de la formation qu'il a plus ou moins choisie pour son devenir. Cependant, il existe également des éléments sur lesquels les enseignants peuvent agir pour favoriser l'engagement et la persévérance des étudiants, que Viau (2004; 2009) définit comme appartenant à la dynamique motivationnelle. Celle-ci dépend beaucoup de la nature des activités proposées aux étudiants dans les enseignements et de la perception par l'étudiant de lui-même et de l'environnement d'apprentissage porté par l'accomplissement d'un but. Selon Viau et Joly (2001), cette dynamique motivationnelle à l'université, dans le contexte d'une activité d'apprentissage, se compose de trois principaux déterminants inter-reliés. Tout d'abord, la perception de l'étudiant de la valeur de l'enseignement, qui dépend de l'utilité qu'il perçoit et de l'intérêt qu'il porte à cet enseignement. La perception de sa compétence à réussir une activité avant de l'entreprendre est aussi importante. Enfin, la perception du degré de contrôle que l'étudiant peut exercer sur le déroulement de l'enseignement et les conséquences de l'activité d'apprentissage participe à cette dynamique motivationnelle.

Dans notre dispositif, un élément fort de la dynamique motivationnelle est le contrôle des étudiants sur le déroulement de cet enseignement. Ils décident en effet du scénario du jeu, des énigmes et animent les sessions de jeu. Les enseignantes accompagnent, pas à pas, la réalisation de leur projet.

Pédagogie de projet

Parmi les activités pédagogiques, l'approche par projet est démontrée comme étant l'une des plus motivantes (Viau et Joly, 2001). La pédagogie par projet permet de familiariser les étudiants à la complexité du monde professionnel. C'est l'occasion de développer de nombreuses compétences transversales comme le travail d'équipe, l'esprit critique, la capacité d'adaptation, l'argumentation et la négociation, la créativité, la capacité de résolution de problèmes, la communication, la gestion du temps et du stress qui sont applicables à des environnements divers. Assumer, pendant les activités, des responsabilités et des tâches semblables à celles qu'ils auront à assumer dans leur vie professionnelle leur permet de voir l'utilité et l'importance des activités. Enfin, la gestion de projet qui implique de décider, de planifier des actions et de les coordonner, et de partager les informations au sein du groupe est essentielle pour la réalisation concrète du projet (Reverdy, 2013).

Le projet mené par les étudiants dans notre dispositif permet l'exercice de beaucoup de ces compétences transversales. Par exemple, la capacité de négociation des étudiants au moment du choix du scénario du jeu. En effet, plusieurs scénarios sont proposés par les sous-groupes d'étudiants, alors qu'un seul doit être adopté après discussion. Par ailleurs, la finalisation du projet très concrète, à savoir un jeu prêt à être utilisé, porte la dynamique motivationnelle qui aide les étudiants à s'investir dans leurs apprentissages.

Apprentissage collaboratif

Les apprentissages collaboratifs mettent en place des collaborations constructives (d'échanges, de partage) et contradictoires (Baudrit, 2007). La vocation première de ce type d'apprentissages est de rendre les étudiants actifs par l'échange, la confrontation de leurs expériences et les interactions entre pairs pour susciter des gains en matière de développement intellectuel et personnel, et de découvertes collectives.

Au cours de ce dispositif, la présentation à l'ensemble du groupe des énigmes qui constitueront le jeu permet un choc des idées qui incite à réexaminer, revoir et justifier ses propres connaissances et/ou stratégies. Le développement de l'esprit critique bienveillant et l'interaction entre pairs favorisent la progression dans la réflexion collective du projet.

Apprentissage par le faire

Dans les pédagogies actives, l'agir et le faire sont mis en avant (Giordan, n.d.). Georges Charpak, prix Nobel de physique en 1995, a été à l'origine de la fondation La main à la pâte, décrite comme « un laboratoire d'idées et de pratiques innovantes cherchant à améliorer la qualité de l'enseignement des sciences à l'école et au collège ». La mise en pratique de la théorie peut permettre aux apprenants le « tâtonnement expérimental » décrit par Célestin Freinet. Selon Piaget aussi, l'apprentissage implique plus de méthodes de pédagogie, comme l'application des connaissances et l'expérimentation. Dehaene (2018), pour qui l'engagement actif de l'étudiant est un des quatre piliers de l'apprentissage, insiste également sur le fait qu'expérimenter et donc explorer avec curiosité, générer des hypothèses, c'est apprendre. L'apprentissage résulte d'une confrontation entre un modèle mental hypothétique qui se construit dans le cerveau de l'apprenant et la réalité. C'est dans la

possibilité de tester, et donc de se tromper, et ainsi de re-tester une nouvelle solution, tout en étant accompagné dans cette expérimentation par les retours des enseignants, que l'apprentissage se fait.

Dans notre enseignement, les étudiants doivent mobiliser ou remobiliser des connaissances disciplinaires pour la création des énigmes. La réalisation concrète de celles-ci permet une appropriation plus grande de ces connaissances théoriques. De plus, au cours de cette fabrication concrète des énigmes, les étudiants vivent ce qu'est une démarche scientifique. Lorsqu'une énigme ne fonctionne pas, les étudiants doivent identifier le problème, proposer des hypothèses pour l'expliquer et inventer de nouvelles solutions à tester. Ces nombreux allers-retours entre théorie et pratique, qui s'accompagnent d'échecs suivis de nouveaux essais, sont peu pratiqués dans les enseignements classiques de l'université alors qu'ils constituent une démarche centrale de l'activité de chercheur et un élément fondamental de l'apprentissage.

Apprentissage de la ludification

La finalité de cet apprentissage est la conception d'un jeu sérieux, c'est-à-dire un jeu dont la dimension ludique n'est pas la première finalité (Michael et Chen, 2005). Les jeux d'évasion sont une combinaison de plusieurs types de jeux, comme le Cluedo, le Mastermind et beaucoup d'autres encore, où les joueurs sont immergés dans un scénario à la recherche d'indices pour résoudre des énigmes et remporter la partie. L'enseignement s'est emparé de ce concept et les jeux d'évasion sont devenus des outils pour l'apprentissage via les *serious escape games*, autrement dit jeux d'évasion pédagogiques (Fenaert *et al.*, 2019). Cette ludification ou ludicisation de l'enseignement fait partie des nombreuses formes de pédagogies innovantes (Pellon *et al.*, 2020). Dans ces jeux sérieux, il existe un équilibre entre la dimension sérieuse et la dimension ludique, qui caractérise la ludification (Djaouti *et al.*, 2017).

Notre enseignement en lui-même ne passe pas directement par le jeu puisqu'il s'agit de concevoir un jeu sérieux pour faire tester des connaissances et non pas de jouer pour apprendre. Toutefois, les étudiants, en concevant les énigmes, apprennent à ludifier un contenu scientifique qu'ils doivent alors maîtriser suffisamment pour trouver des ressorts divertissants, processus qui peut nécessiter des efforts de vulgarisation et/ou d'associations d'idées. Lors de la dernière séance, les étudiants observent les joueurs qui se confrontent aux énigmes

qu'ils ont créées et peuvent alors vérifier par eux-mêmes, au moment du débriefing, à quel point leurs intentions pédagogiques ont été comprises. Ils peuvent alors être amenés à réexpliquer les notions non comprises, ce qui renforce aussi leurs apprentissages.

Le basculement du paradigme d'enseigner vers celui d'apprendre

De nombreux travaux, depuis le début des années 2000, ont contribué à renforcer la conception selon laquelle, par l'évaluation de ses pratiques d'enseignement, chaque enseignant peut se situer sur un continuum entre deux pôles définis d'un côté par un enseignement transmissif centré sur l'enseignant et, de l'autre, par un enseignement centré sur l'étudiant ou plus justement, sur les apprentissages des étudiants (Jouquan et Bail, 2003; Kember, 1997). Dans le premier extrême, les étudiants sont des récepteurs passifs, ce qui tend à un apprentissage de surface, alors que dans le second pôle, les étudiants sont actifs et responsables de leurs apprentissages, ce qui favorise un apprentissage en profondeur. Cette posture de l'enseignant centrée sur l'apprenant privilégie l'acquisition des compétences contextualisées, appréciées à partir de tâches professionnelles complètes, complexes et signifiantes, et ce, en enchâssant l'évaluation au sein des activités d'enseignement et d'apprentissage. Dans ce contexte, les enseignants sont des accompagnateurs qui permettent aux étudiants de s'enrichir, de développer et d'acquérir en profondeur des connaissances qui seront transférables à des situations nouvelles. Former les étudiants à s'adapter aux défis de demain en mobilisant au mieux leurs ressources nous paraît être au cœur de la mission d'un enseignement universitaire d'aujourd'hui.

Cette envie d'accompagner les étudiants dans leurs apprentissages, plutôt que de leur transmettre des connaissances, a été une des motivations de la mise en œuvre de notre enseignement.

Dispositif de l'*escape game* moléculaire

Le scénario pédagogique comprend la découverte du groupe, la conception du projet, la fabrication des énigmes, une phase de bêta-test et la dernière séance: le jeu. Ce dernier sera testé par des étudiants se destinant à l'enseignement et par des personnels de l'Université Paris Cité. En plus de ces sessions de fin d'enseignement, les *escape games*

pédagogiques créés sont également proposés à l'ensemble de la communauté scientifique et aux visiteurs au moment de la fête de la science.

Première séance : contextualisation et prise en main du projet

La première séance est, d'une part, la rencontre de tous les membres du groupe, étudiants et enseignants, et d'autre part, la présentation de l'enseignement et de ses objectifs. Les étudiants exposent rapidement leurs motivations du choix de cet enseignement lors d'un tour de table et apprennent à se connaître et à connaître l'équipe enseignante. Cette séance et les deux suivantes se déroulent dans une salle de pédagogie innovante.

Nous exposons l'objectif global de cet enseignement : créer un jeu d'évasion pédagogique qui devra être fonctionnel pour la fin de l'enseignement. Les énigmes le constituant devront tourner autour de la biologie (moléculaire/cellulaire/génétique/immunologie...) et s'adressent à un public intéressé par les sciences. Le programme des huit séances est présenté dans les grandes lignes. Nous évoquons l'intérêt à nos yeux de cet enseignement : améliorer leur expérience d'apprentissage en exerçant en particulier la créativité, le travail en équipe, la mobilisation et l'approfondissement de connaissances disciplinaires ainsi que la gestion d'un projet. Nous leur présentons les modalités de contrôle des connaissances et des compétences. Cet enseignement est évalué en contrôle continu intégral, donc sans deuxième session, et la présence est obligatoire à chaque séance. Nos missions d'enseignantes consistent non seulement à les évaluer, mais aussi à les guider, à les accompagner et à les motiver dans la réalisation de leur projet. Nous tenons à préciser que, pour des étudiants de premier cycle de notre université, les dimensions ludique et collaborative avec les enseignantes sont des pratiques peu développées, même dans des enseignements optionnels qui s'adressent à des effectifs plus réduits.

Nous partons des représentations des étudiants avant de leur présenter le concept du jeu d'évasion tel que nous le déployons dans cet enseignement. Nous proposons un temps de questionnement sur la notion de jeu d'évasion pédagogique, se déroulant par des échanges en petits groupes et par l'utilisation de la technique « un mot-un post-it », avant une mise en commun et une réflexion globale. La présentation de plusieurs exemples d'énigmes aux étudiants est utilisée pour leur faire prendre conscience des conditions et des ingrédients nécessaires à la création d'énigmes « pédagogiques » (figure 3.1).

CAS PRATIQUE #1

Vous devez trouver la bonne clé

indice 1 Elle n'ouvre pas l'arbre si las

indice 2 Elle n'ouvre pas rien dessous nos pieds

indice 3 Elle n'ouvre pas de poisson plat



Enigme de FibreTigre

CAS PRATIQUE #2

5' TGT CCA GAG 3'

De quelle mutation Avez vous besoin pour trouver la bonne clé?



FIGURE 3.1 Exemples d'énigmes résolues pendant la première séance.

Nous abordons ensuite la conception d'un jeu d'évasion pédagogique qui comprend trois phases importantes. La première est le « briefing », qui correspond à l'immersion dans le jeu grâce à la mise en place du scénario. La deuxième est le jeu qui est un mélange de fouilles, de manipulations des différents éléments trouvés et de réflexions pour élucider les énigmes. La dernière phase, le « débriefing », permet de faire un retour sur ce que le jeu a permis d'apprendre. L'élaboration d'un scénario, la création des énigmes et des indices, et l'organisation entre ces éléments (ce qu'on appelle le « flow » qui permet une immersion dans le jeu) mettent en lumière les notions que les joueurs doivent acquérir. Nous présentons les plans et des photographies des salles de jeu qui sont deux salles de TP dans lesquelles s'intégrera le jeu.

Nous les invitons à un temps de réflexion sur la manière d'organiser le travail de groupe ; les prérequis et les différents rôles à déterminer : organisateur, fédérateur, porte-parole, référent, polyvalent et script. Ensuite, ils réfléchissent aux outils utiles pour le travail collaboratif, pour favoriser l'efficacité, la répartition des tâches dans ce contexte et pour la création d'énigmes.

Pour la séance suivante, les étudiants sont invités à s'inscrire à l'*escape game* pédagogique « Accusé de plagiat » (Breton *et al.*, 2020). Ce dispositif permet aux étudiants de commencer à se connaître, de créer des liens sociaux et d'expérimenter la dimension pédagogique d'un jeu d'évasion. Ils doivent également réaliser en petit groupe (quatre-cinq

étudiants) une analyse critique d'un jeu d'évasion pédagogique créé par les étudiants de l'année précédente, à partir de la lecture du livret de ce jeu d'évasion et évaluer ce qui a bien ou moins bien fonctionné dans cette proposition de jeu.

Deuxième séance : réaffirmations des objectifs, cadrage du projet et installation de la dynamique de groupe

La deuxième séance commence par un tour de table pour recueillir les retours sur le jeu d'évasion pédagogique « Accusé de plagiat » : ce que les étudiants en ont retenu, ce qui a plus ou moins bien marché dans ce jeu, ce qu'ils ont aimé. Nous analysons ensuite leur travail d'analyse critique du jeu d'évasion de l'année précédente : quel est le ressenti général, en quoi ce jeu est-il pédagogique, à quel public est-il destiné ? Nous examinons le scénario et sa traduction dans le briefing et les énigmes. Chaque étudiant ayant évalué les énigmes via l'outil Questionnaire de Moodle, nous décortiquons les résultats ensemble.

Après ce travail sur deux jeux d'évasion pédagogiques, les étudiants réfléchissent sur la création d'énigmes, notamment sur les différents dispositifs possibles, comme les boîtes secrètes, l'encre invisible ou les messages codés... Nous présentons le matériel dont nous disposons pour que les étudiants commencent à imaginer ce qu'ils pourraient fabriquer. Nous rappelons qu'au travers des différents mécanismes de l'énigme, le but est de mobiliser ou de faire découvrir des connaissances aux joueurs. Nous terminons par la visite du FabLab afin que les étudiants s'emparent de l'espace et de l'outillage disponibles. Pour la séance suivante, les étudiants s'accordent ensemble pour produire un scénario unique et chaque groupe doit conceptualiser et détailler deux énigmes. La première est une énigme « revisitée » à partir d'une énigme de l'année précédente et la seconde est une nouvelle.

Quatre séances suivantes : suivi et stimulation de l'avancement du projet

Tous les quinze jours, nous nous retrouvons pour faire le point sur l'avancement du projet et favoriser la progression des étudiants, en présentant des aspects plus conceptuels en début d'enseignement et de plus en plus pratiques au fil des séances. Le travail collaboratif des étudiants doit permettre d'élaborer un scénario et de construire par sous-groupes

des énigmes. Ensemble, les étudiants pensent au rétroplanning du projet, à la construction du *flow*, aux éléments de décor, à la communication sur l'événement et à l'axe pédagogique du jeu d'évasion, avec notamment l'écriture du débriefing du jeu. La plateforme « S'CAPE » propose de nombreux outils pour la construction d'*escape games* pédagogiques (S'CAPE, 2017). Les étudiants sont ainsi dans un processus de pédagogie active : apprentissage par le faire, gestion de projet et travail collaboratif.

Avant-dernière séance : le bêta-test

Les étudiants préparent une des deux salles de jeu pour réaliser un bêta-test qui permet les derniers réglages et adaptations pour que le jeu fonctionne. C'est aussi l'occasion de compléter le livret de construction du jeu d'évasion créé. Les choix définitifs des maîtres de jeu, des responsables du briefing et du débriefing sont établis.

Dernière séance : le jeu

Les étudiants mettent en place les indices, accueillent les joueurs, font le briefing, le jeu puis le débriefing, au cours duquel ils recueillent ce qui a plu et moins plu, les éléments positifs et ceux qui pourraient être améliorés.

Méthode

Population

Cet enseignement se destine à un public hétérogène. Il a été dispensé à deux reprises durant le premier semestre des années universitaires 2019-2020 et 2020-2021. Il a concerné 28 étudiants au total, dont 15 la première année. Il est encadré par deux enseignantes-chercheuses, l'une du domaine d'immunologie, l'autre de biologie moléculaire, toutes deux impliquées dans des enseignements transdisciplinaires.

Variabes

Nous avons mis en place différents outils pour l'évaluation formative et sommative de nos étudiants. L'évaluation porte sur des productions réalisées en sous-groupe comme l'analyse critique d'un livret du jeu d'évasion pédagogique, l'écriture du scénario et le détail des énigmes.

Certaines notes évolueront en fonction de la maturation des tâches, comme les énigmes. La réalisation de leur livret sur le jeu d'évasion créé est évaluée et donne une note générale pour l'ensemble du groupe. Le dynamisme individuel en séance, avec, par exemple, le partage d'idées avec le groupe, la qualité de l'autoévaluation et de l'évaluation par les pairs permettent d'établir une note individuelle.

Matériels

Les fiches d'autoévaluation sont proposées en milieu et en fin d'enseignement pour objectiver les progressions dans les différents points mis en œuvre pour chaque partie du projet : participation, responsabilité, contribution, attitude en groupe, organisation et participation à la rédaction et à la communication. L'évaluation par les pairs (avec les mêmes items que la fiche d'auto-évaluation) permet à chaque étudiant d'expérimenter le regard des autres à propos de son implication et de ses compétences en travail en équipe. Cette évaluation peut mettre en évidence les passagers clandestins au sein du groupe (Caillez, 2020). En fin d'expérience, un regard critique sur cet enseignement et sur la contribution des enseignantes est demandé aux étudiants : ce qu'ils ont aimé, les points à améliorer, les choses à développer... Ils doivent aussi formuler ce que cela leur a apporté personnellement.

Procédure

Comprenant 24 heures d'enseignement réparties sur huit séances de trois heures, la création de ce jeu d'évasion pédagogique s'est effectuée dans une dynamique de cocréation entre étudiants sur des contenus de biologie. Les étapes de création sont multiples : recherche des contenus essentiels, idéation, prototypage rapide, tests et ajustements, tests en grandeur nature. Les étudiants étaient dans une posture créative entre eux et avec les enseignants. Ils ont été confrontés à un processus d'apprentissage itératif : en faisant, défaisant, refaisant. Ils ont appris par essais-erreurs dans un espace facilitant la créativité, le FabLab. Les livrables attendus des étudiants étaient l'analyse critique d'un jeu d'évasion, l'écriture du scénario, le détail des énigmes. Nous souhaitons mesurer l'implication des étudiants, le changement de posture sur la compréhension de la biologie et de leur apprentissage, de même que l'autonomie, le travail de groupe, le développement de stratégies

efficaces pour leur apprentissage individuel et collectif. Nous recherchons un engagement actif dans leur processus d'apprentissage.

Résultats

Cet enseignement est proposé depuis deux ans et, bien que récent, nous avons des résultats très satisfaisants par rapport aux objectifs pédagogiques initiaux. Ces résultats sont essentiellement basés sur les retours des étudiants.

Concernant la première promotion, nous avons eu des retours spontanés non formalisés, effectués oralement ou par courriel :

J'ai adoré mélanger les sciences et l'esprit créatif et manuel dans le but de construire ce projet en équipe. Ce sont des compétences qui sont très peu mises en valeur dans nos études mais qui sont pourtant essentielles. C'est aussi une première pour moi de monter un tel projet en équipe et j'ai adoré la forme (*l'escape game*). Je suis très fière du rendu final de ce projet. C'est une grande tâche qui nous était confiée et nous avons réussi à finaliser dans les temps et à offrir un *escape game* sérieux (ne l'oublions pas).

De plus, un reportage a été tourné par Fabien Loire, journaliste reporter d'images de l'Université Paris Cité, dans lequel des étudiants font un retour d'expérience (« Concevoir un jeu sur la biologie », 2020). Dans ce court reportage, les étudiants évoquent l'aspect novateur de cet enseignement, les compétences de gestion de projet et le sentiment de vivre un enseignement autrement : « On ne gère pas des projets de cette ampleur », « Cela nous servira pour le futur », « C'est vraiment un vécu différent », « Apprendre de nouvelles facettes, on tente de nouvelles choses », « J'avais une certaine fierté, il y a quelques petites failles mais le résultat était agréable à regarder ».

Pour la deuxième promotion, nous nous sommes basés sur les réponses écrites des étudiants. Sur les 13 étudiants de la promotion, 12 nous ont fait un retour. Onze disent avoir développé des compétences en gestion de projet – s'organiser, planifier, communiquer et gérer son temps. Ils indiquent avoir amélioré leur capacité à travailler en groupe. Enfin, la majorité des étudiants ont eu le sentiment d'une expérience inédite dont ils pensent qu'elle leur servira dans le futur et dans leur milieu professionnel :

J'ai beaucoup apprécié le fait de travailler, d'apprendre, de réfléchir sur un projet différent de ce qu'on fait d'habitude.

La présence des professeures a également été bénéfique pour la réalisation de ce projet car elles nous ont apporté leur aide et leur expérience, ce qui a permis le bon fonctionnement de l'*escape game*. Ce que j'ai appris grâce à cette UE me servira tout au long de mes études et de ma vie professionnelle également, cela a été une très bonne expérience.

La moitié des étudiants soulignent et apprécient le fait d'avoir pu faire appel à leur créativité, d'avoir développé leur autonomie et d'avoir vécu un apprentissage innovant :

J'ai beaucoup apprécié l'autonomie que nous avons.

Il y avait une certaine dimension d'interdisciplinarité. L'UE regroupait des compétences à la fois de créativité (imagination du scénario et des énigmes, réalisation d'objets de décor esthétiques), de rédaction (livret), de logique (se mettre à la place des joueurs pour parfaire les énigmes), de rigueur (travail en continu) et de collaboration.

Cette UE a été une expérience collaborative qui requiert un investissement personnel et met en pratique plusieurs compétences transversales, à savoir le savoir-être, le travail en équipe, l'adaptabilité.

Certains étudiants ont évoqué des points négatifs, principalement en rapport avec des difficultés de communication au sein d'un groupe :

Il y a cependant des points négatifs (il en faut bien, ha ha). Je vous l'ai déjà signalé, mais d'autres séances seraient les bienvenues, surtout au moment de la création des énigmes, car la communication avec tout le groupe a été compliquée, et même pour ceux avec qui on arrivait à communiquer, il était parfois difficile de se mettre d'accord par message. Cela a été l'énorme fléau de cet enseignement. La communication s'est faite avec 10 personnes (grand maximum), ce qui a bien évidemment ralenti le groupe, pour qui il était déjà assez compliqué d'avancer. Des personnes plus motivées étaient aussi présentes bien évidemment, et ce fut un plaisir de travailler avec elles. Enfin, vous avez été très bienveillantes envers nous et vous nous avez mis dans les meilleures conditions pour faire aboutir correctement ce projet.

Concernant les améliorations proposées par les étudiants, elles concernent essentiellement le FabLab : « Je pense que des séances supplémentaires auraient été bénéfiques », « J'aurais aimé un peu plus utiliser les machines du FabLab ».

En conclusion, les deux promotions ont mené leur projet à terme. Elles ont créé leur jeu d'évasion et ont pu le faire pratiquer au sein de l'université. Les compétences de gestion de projet et de créativité, sollicitées dans cet enseignement, ont été soulignées par la quasi-totalité des étudiants. Ce dispositif favorise l'engagement et la motivation des étudiants. Ils ont été capables de fournir un travail conséquent en termes d'heures en dehors de celles de l'enseignement. Certains étudiants ont parfois tardé à s'impliquer dans le projet et tous n'ont pas pris le même cheminement pour y parvenir. Néanmoins, les étudiants ont le sentiment d'avoir « vécu » un apprentissage.

Discussion

Plusieurs points forts de cet enseignement ressortent à l'issue de ces deux années d'enseignement. Les étudiants ont eu le sentiment d'une expérience inédite et pensent qu'elle leur servira dans leur futur milieu professionnel. En effet, ils ont découvert ce qu'était la réalisation d'un projet, qu'elle ne se passait pas sans difficultés et que certaines compétences étaient nécessaires pour le mener à bien. Ils ont eu l'impression que travailler de cette façon les rapprochait du monde professionnel. Ils ont été acteurs de leur apprentissage et les enseignantes ont adopté un changement de posture modifiant le rapport habituel entre les étudiants et les enseignants à l'université. En définitive, les enseignantes ont vécu leur enseignement avec plaisir et les étudiants ont été ravis d'expérimenter un tel apprentissage.

Sur le plan des compétences développées, ils ont acquis des compétences en gestion de projet. Ils ont pris conscience que travailler en groupe n'était pas facile et qu'une bonne communication était un des facteurs de la réussite d'un projet. Une autre compétence travaillée dans cet enseignement et souvent citée par les étudiants est la créativité. Cette dimension importante dans la recherche et dans la résolution de problème est, selon les étudiants, rarement sollicitée dans les enseignements qu'ils suivent à l'université. Pourtant, nous avons constaté qu'elle était un des principaux facteurs de leur motivation. À titre d'exemple, la première promotion a choisi son thème pour la

création de leur jeu d'évasion pédagogique. Il a été proposé à la deuxième promotion de perfectionner le jeu d'évasion pédagogique réalisé par la première promotion en gardant le même thème. Cependant, un grand nombre d'étudiants de la deuxième promotion n'ont pas du tout adhéré à cette proposition. Ils ont tenu à être les auteurs originaux du thème de leur jeu d'évasion pédagogique.

Au cours de leurs apprentissages à l'université, les étudiants n'ont pas souvent l'occasion de travailler en groupe de 15 personnes et n'ont pas à exercer de réelles compétences en gestion de projet et en communication. Certains étudiants ont eu des difficultés à s'organiser au sein de leur groupe et à y communiquer. De même, nous avons remarqué la faible implication de chaque groupe dans l'amélioration des énigmes créées par les autres groupes. La communication des différents groupes de travail entre eux et leur réelle collaboration ont parfois présenté quelques difficultés.

Pour la prochaine session, nous les guiderons plus fortement lors de l'organisation des groupes et nous réfléchissons à insérer en début d'enseignement une activité pour savoir mieux communiquer. Une sensibilisation à la communication non violente pourrait être abordée sous la forme d'une activité de jeu de rôle. De plus, la mise à disposition d'outils supplémentaires (par exemple un logiciel de gestion de projet de type MONDAY) permettra de donner des pistes sur la manière de s'organiser, de communiquer et de gérer un projet de groupe. Afin que chacun puisse comprendre et évaluer avec bienveillance les énigmes de chaque groupe, nous pourrions mettre en place une évaluation des énigmes à partir des critères du modèle CEPAJe « Guide pour la conception, l'animation et l'évaluation d'une activité ludo-pédagogique » (Vangrunderbeeck et Motte, n.d.). Enfin, pour répondre aux améliorations souhaitées par les étudiants, nous leur proposerons de suivre la formation sécurité du FabLab au début de l'enseignement afin qu'ils puissent l'utiliser en autonomie, et ce, même en dehors des séances; nous ajouterons si besoin une à deux séances supplémentaires pour faire un beta-test, par exemple.

Pour conclure, l'ensemble des activités d'apprentissage de cet enseignement remplit les conditions de la motivation des étudiants évoquées par Viau (2009). Les compétences travaillées tout au long de cet enseignement appartiennent à des niveaux élevés dans la taxonomie de Krathwohl (2002) et sont généralement peu travaillées dans le premier cycle universitaire. Nous nous apercevons néanmoins qu'elles

sont accessibles à des étudiants de deuxième année de licence et qu'elles favorisent l'engagement et l'apprentissage.

Conseils pour créer un jeu d'évasion pédagogique

Nous partagerons le livret d'explications du premier jeu d'évasion pédagogique que nous avons mis en place, ainsi que tous les éléments nécessaires à la construction et à la mise en place du jeu, dans la communauté OPEN-POP (partage d'outils pédagogiques) sur la plateforme Zenodo (Moulin et Couëdel-Courteille, 2020). De plus, de nombreux sites donnent des conseils et des astuces pour créer des jeux d'évasion (Quesne, 2019; S'CAPE, 2017).

Nous conseillons de créer du lien dans les groupes de grande taille (activité brise-glace comme une présentation croisée des étudiants, tour de table des compétences, faire tester un *escape game* pédagogique, travail en sous-groupes...) dès le début. Nous recommandons également de faire jouer le briefing en début de chaque séance afin que tous les étudiants se mettent dans le rôle de maître du jeu. Lorsque les notions pédagogiques sont définies, il est nécessaire de faire jouer plusieurs fois le débriefing, ce qui permettra d'ancrer leurs apprentissages. De plus, il est important de mettre en place un rétroplanning lorsque le scénario du jeu d'évasion est établi pour permettre une meilleure organisation. Enfin, il faut être attentif au groupe, avancer à tâtons en respectant l'apprentissage de chacun, guider et se laisser surprendre.

Benjamin Galeran, Kévin Henocq
& Violaine Charil

Enseignement en éthique pour favoriser 4 la réflexion critique

Résumé

L'enseignement intitulé « Éthique et pouvoir », délivré au sein de La Rochelle Université, relève bien des défis. Un premier choix pédagogique a été fait, celui de la co-intervention de deux enseignants, pour atteindre un objectif double. D'une part, favoriser des échanges dynamiques et continus avec le groupe classe. D'autre part, échanger a posteriori entre enseignants pour améliorer les pratiques pédagogiques. Le projet d'enseignement, quant à lui, était de proposer à des étudiants issus de diverses filières universitaires, aussi bien des sciences « dures » que des sciences humaines, un cours pendant lequel ils devraient collaborer pour produire ensemble un objet reliant la théorie à la pratique (document, vidéo, exposé, débat). Les sujets traités abordent le champ du comportement éthique dans la pratique du pouvoir politique à travers l'histoire. Le défi se trouvait aussi du côté des enseignants, dont les pratiques étaient jusque-là plus traditionnelles, basées sur la reproduction de celles observées pendant leurs propres études. Ce chapitre vise à expliciter, de façon intégrée, l'évolution d'une vision de l'enseignement agissant sur les pratiques ou, pour le dire autrement, à donner naissance à un dispositif d'apprentissage, basé sur la mise en activité des étudiants, dispositif lui-même prototypique de la démarche de développement professionnel dans lequel il s'inscrit.

Contexte et problématique

Partant d'un constat tout d'abord empirique, lié à nos deux années d'enseignement passées, que la stimulation cognitive des apprenants est plus importante lorsque ceux-ci sont actifs, et conscients des transformations pédagogiques en cours dans l'enseignement supérieur, nous avons commencé à réfléchir, en septembre 2018, à la mise en place d'une démarche pédagogique qui réponde à notre volonté d'accorder une place importante à la parole des étudiants. Elle vise à développer l'esprit critique par une dynamique de groupe et par un choix pédagogique audacieux de co-intervention, présentant à notre sens un atout au regard des activités pédagogiques mises en place.

Afin de répondre à ces intentions, nous avons élaboré un projet d'enseignement, intitulé «Éthique et pouvoir», qui s'inscrit dans le cadre des «Éléments constitutifs (EC) libres». Il s'agit d'une unité d'enseignement dispensée en licence que les étudiants de première et de deuxième année peuvent choisir, au semestre 2 ou au semestre 4, parmi une dizaine d'enseignements. Trente-cinq à 40 étudiants de l'ensemble des facultés (Droit, Sciences Politiques et Management; Lettres, Langues, Art et Sciences humaines; Sciences et Technologie) sont ainsi rassemblés le temps d'un semestre pour suivre un enseignement commun (une heure et demie par semaine).

Sensibles à la question de l'engagement pédagogique des enseignants, nous observons, à l'instar de Lalle et Bonnaïous (2019), que l'influence des changements sociaux et sociétaux peut mener à une conciliation entre les pratiques dites traditionnelles et les nouvelles.

Du savoir au savoir-faire, en incluant le développement du savoir-être, nous avons élaboré les grandes lignes théoriques de notre enseignement tout au long du premier semestre universitaire 2018-2019, prenant appui sur le rapport de la Commission européenne (2016) au Parlement européen: «Améliorer et moderniser l'enseignement». Celui-ci relève l'inadéquation entre les cours actuellement dispensés par les établissements d'enseignement supérieur et les compétences dont doivent faire preuve les diplômés.

Après cette élaboration conceptuelle, nous avons présenté une première version du projet aux instances universitaires en vue d'une application l'année suivante. Si la philosophie et la théorie globale du projet ont été acceptées en première lecture, conseil nous a été donné de nous rapprocher du Service des pédagogies innovantes de l'Université pour

améliorer le dispositif des exercices pratiques. Les missions de ce service sont multiples. Elles visent à soutenir les enseignants dans leurs démarches d'amélioration des pratiques pédagogiques et à promouvoir les nouvelles méthodes d'enseignement.

Cette orientation nous a amenés à rencontrer la responsable du Pôle de pédagogie et conseillère pédagogique de l'Université. Comme le soulignent Biemar *et al.* (2015), les compétences réflexives des enseignants du supérieur peuvent être favorisées par le truchement de conseillers pédagogiques. Cette collaboration vient susciter une réflexion qui doit permettre aux enseignants de s'interroger sur le champ des possibles : identifier une problématique pédagogique, enquêter sur les pratiques pédagogiques ou encore communiquer les résultats de leurs réflexions. Force est de constater que l'initiation de cette collaboration a permis d'avoir un regard neuf sur le processus pédagogique amorcé. Partant d'une réflexion empirique, non éclairée par la recherche en la matière, nous en sommes venus à poser des notions scientifiques sur notre champ de réflexion pédagogique.

Il s'agit donc ici de donner à voir un double cheminement : celui du prototype d'un nouveau dispositif pédagogique, et celui d'une démarche réflexive, sur des pratiques amenant peu à peu vers la démarche du *Scholarship of Teaching and Learning* (SoTL), réinvesti par Daele et Sylvestre (2016). Ceux-ci la définissent comme une démarche qui invite l'enseignant à considérer son enseignement comme un objet de recherche, élaboré sur la base d'une expertise scientifique et fondé sur des preuves.

Ces premières réflexions nous ont menés à constater les deux éléments suivants : réfléchir à ses pratiques pédagogiques permet de « sortir » d'un schéma reproductif de l'enseignement, essentiellement basé sur des expériences passées en tant qu'anciens étudiants ; concevoir un dispositif pédagogique à plusieurs ouvre des pistes que, seuls, nous n'aurions sans doute pas imaginées.

Développement professionnel ou comment tendre vers une démarche *Scholarship of Teaching and Learning*

Basée sur une conception professionnalisante de l'exercice de l'enseignement universitaire et de son développement, la pratique du SoTL tend à se développer progressivement dans le milieu universitaire, particulièrement dans le monde anglo-saxon (Lalle et Bonnafous, 2019). Néanmoins, cette démarche et toutes celles visant au développement

professionnel des enseignants, dans le monde francophone et particulièrement en France, sont connues des initiés, des avertis, des « déjà sensibilisés au sujet », mais ne bénéficient pas encore d'une connaissance et d'une reconnaissance à la hauteur de ce qu'elles pourraient apporter à chacun.

À l'appui de nombreuses études, elle se caractérise en cinq points selon Bélanger (2010) : 1) la pratique de l'enseignant est renseignée par les écrits en pédagogie de l'enseignement supérieur ; 2) l'enseignant doit faire montre d'une réflexion sur sa pratique pédagogique ; 3) l'enseignant doit démontrer un esprit d'investigation au regard de sa pratique ; 4) son intention et la pratique qui en découle sont axées sur l'apprentissage des étudiants et les perspectives d'améliorations possibles ; 5) l'enseignant communique avec ses pairs sur sa pratique, celle-ci se donnant à voir et à être discutée.

L'enseignant qui s'engage dans le SoTL cherche à enrichir sa pratique pédagogique en faisant le constat qu'enseignement et apprentissage sont deux éléments indissociables qui forment un seul et même corps. Par ailleurs, le libre partage de la pratique pédagogique vise des objectifs communs. Il permet aux pairs d'en prendre connaissance et d'émettre une critique constructive, entraînant une meilleure évolution des pratiques pour les différentes parties.

Cette prospection commune d'une optimisation de la pédagogie n'est pas naturelle dans de nombreuses disciplines universitaires où la pratique n'est pas, ou peu, analysée. À bien des égards, l'enseignant est perçu comme souverain absolu dans sa salle de cours, sans que quiconque n'ait la légitimité de venir discuter sa méthode d'enseignement.

Comment un enseignant décide-t-il alors d'entrer dans une démarche SoTL ? Qu'est-ce qui lui permet de venir à la rencontre d'un conseiller pédagogique pouvant l'accompagner ? Rege Colet et Berthiaume (2015) rapportent la diversité des profils enseignants, de leur parcours, de leur vision et donc de leur propre besoin de développement. Pour faire écho à Akerlind (2005, dans Rege Colet et Berthiaume, 2015), certains recherchent des solutions pour « trouver des outils, des recettes » permettant d'évaluer plus efficacement. D'autres constatent des résultats faibles pour l'ensemble d'une cohorte et cherchent à améliorer ces résultats, ou bien encore, à l'image du retour d'expérience que nous présentons ici, des enseignants peuvent solliciter une rencontre pour répondre à une demande de l'institution dans le but de mettre en œuvre un nouvel enseignement.

Revenons à l'identification des besoins. Lors de notre première rencontre, il s'est agi de poser les bases de la collaboration en identifiant ces besoins. Le premier, l'officiel, l'assumé, l'exprimé : répondre à une commande institutionnelle, dans le but d'obtenir la validation de mise en œuvre de l'enseignement. Toutefois, les attentes précises de l'institution n'étaient pas réellement connues, le seul conseil donné ayant été, comme nous l'avons vu, de se rencontrer entre enseignants et conseillère. Le second besoin, tout aussi clairement exprimé, était de développer une pédagogie « innovante », au sens entendu à ce moment de l'entretien comme non magistral et permettant aux étudiants d'articuler la théorie et la pratique.

Passer par l'analyse de l'activité, le questionnement et, par ce truchement, initier un début de réflexivité sur des pratiques pédagogiques peut permettre d'identifier et de faire s'exprimer de nouveaux besoins. À aucun moment de cette première étape, voire d'une deuxième, il n'est réellement fait mention d'une démarche de développement professionnel. Le processus s'est construit peu à peu, en faisant émerger des besoins, en y apportant des réponses, qui peuvent être de se tourner vers les écrits des chercheurs en pédagogie universitaire par exemple et l'intérêt que chacun pourra donc y trouver. S'engage alors un processus de changement, réinvesti de façon immédiate dans la pratique. L'expérience que nous relatons dans ce chapitre nous engage sur la trajectoire du changement entre la posture du praticien réflexif, centrée sur une réflexion et une volonté d'amélioration d'un enseignement, en partie appuyée sur les retours des étudiants, et la posture du praticien chercheur, dans ses balbutiements, par une confrontation à la littérature scientifique.

Construire un dispositif pédagogique innovant,
ou comment faire autrement ?

Dès le départ, plusieurs intentions pédagogiques nous ont permis de structurer ce projet. La première : dépasser le clivage entre la culture universitaire, dite théorique, et un aspect « pratique » faisant plus souvent référence à la sphère professionnelle, notamment dans le domaine des sciences humaines et du droit qui, dans une forme de « croyance collective », ne s'y prête, a priori, pas naturellement. La deuxième : proposer un enseignement qui permet aux étudiants de développer une pensée critique, par la mise en activité de ceux-ci et la discussion d'idées. La dernière : s'engager avec les étudiants dans une réflexion autour des questions de l'exercice du pouvoir et de l'éthique.

Au travers des échanges et des lectures, nous avons appris peu à peu à nous familiariser avec les concepts et les champs lexicaux de l'apprentissage par problèmes, de la classe inversée, de la démarche active d'apprentissage et de l'importance de verbaliser les connaissances et les compétences à acquérir. En outre, nos différents entretiens (enseignants-conseillère) ont mis en lumière l'importance du retour d'expérience des étudiants pour faire évoluer les pratiques pédagogiques.

Par ailleurs, le principe de co-intervention, que nous avons adopté, est une modalité pédagogique de mise en œuvre des référentiels et des programmes dans laquelle deux enseignants interviennent ensemble dans un cours au même moment. La co-intervention suppose un projet d'enseignement élaboré, en amont, de façon conjointe (Sagal, 2020). Si le partage de l'enseignement était une possibilité au départ, le choix a été fait d'intervenir simultanément dans chacun des cours afin de favoriser l'atteinte des différents objectifs pédagogiques. Cette modalité de co-intervention présente un double intérêt. Le premier est lié au dynamisme renforcé de la pratique pédagogique grâce à l'alternance de la prise de parole ainsi qu'à une double manière de présenter les notions étudiées. Le second a trait à une confrontation des points de vue des enseignants lors des moments d'échanges ou de débats avec le reste du groupe classe. L'observation de cette confrontation nourrit la réflexion des apprenants et les amène à participer plus facilement, sur l'incitation régulière des enseignants.

Sur le plan théorique, la co-intervention répond à deux enjeux actuels : d'une part, la réduction des disparités de réussite universitaire, grâce à un encadrement pédagogique renforcé – démarche salubre alors que le nombre d'étudiants par groupe de travaux dirigés (TD) augmente depuis de nombreuses années (Floc'h et de Tricornot, 2015) ; d'autre part, l'induction d'une évolution des pratiques enseignantes dans le supérieur (Benoit et Angelucci, 2016 ; Pélissier et Lédé, 2019).

L'apprentissage par problèmes et par projet, une solution ?

L'interrogation autour de l'articulation transdisciplinaire émerge d'un postulat selon lequel chaque champ disciplinaire a une philosophie spécifique avec des attentes, des objectifs et, par voie de conséquence, des méthodes différentes. Or la transformation des pratiques pédagogiques en cours à l'université doit éviter une confrontation entre les modèles, traditionnels ou innovants, pour préférer, selon nous, une harmonieuse

combinaison. Ce risque de confrontation entre les modèles, centrée en particulier autour de la notion « de développement de compétence », est également évoqué par Perrenoud (2005) qui utilise le terme de « Yalta académique » et s'interroge : cette situation est-elle tenable ? Dans une étude différente, Martin et Padula (2018) estiment que le modèle pédagogique universitaire traditionnel, entendant ici la pratique du cours magistral, n'est plus en adéquation avec les aspirations sociétales qui réclament un caractère professionnalisant des formations. Pour autant, il est nécessaire d'opérer une distinction entre les besoins et les pratiques qui ont cours dans les cursus dits en « sciences humaines et sociales » et ceux dits en « sciences exactes »⁴ (Perrenoud, 2005). Des méthodes variées existent pour l'enseignement dans ces différents domaines, liées à leurs exigences respectives. Nous cherchons donc à faire advenir une pratique pédagogique équilibrée, adaptée aux besoins des apprenants de tous horizons, à l'instar du public de l'EC « Éthique et pouvoir » basé, pour rappel, sur une composition hétérogène d'étudiants, aussi bien dans leur profil d'apprentissage que dans leur domaine de formation.

Dans une position de chef d'orchestre par rapport à l'enseignement qu'il délivre aux apprenants, l'introspection de l'enseignant, que l'on retrouve dans la démarche SoTL, doit pouvoir l'amener à déterminer ce qu'il y a de plus efficace dans les pratiques pédagogiques (traditionnelles et innovantes). Cet esprit de réflexion nous semble être la pierre angulaire d'une pratique pédagogique efficace, qui ferait évoluer une magistralité parfois trop aride, sans céder à l'injonction contemporaine de la perpétuelle nécessité d'innover⁵. Alors que le projet original de cet enseignement était majoritairement pensé dans le cadre de la magistralité, notre progressive immersion dans le domaine de la pédagogie universitaire a fait évoluer le dispositif envisagé. L'une de nos intentions premières étant de stimuler la réflexion étudiante, nous avons décidé d'incorporer au dispositif des outils et des approches pédagogiques auxquels nous n'avions, auparavant, pas réfléchi.

Nous avons tout d'abord identifié la méthode d'apprentissage par problèmes (APP), intéressés par la démarche d'investigation que cette approche nécessite et la mise en action des étudiants pour résoudre un problème complexe. Ainsi, mettre les étudiants en situation d'aller

⁴ Les seconds semblant, à tort ou à raison, s'adapter plus efficacement à la transformation innovante des pédagogies universitaires, comme le souligne Philippe Perrenoud.

⁵ Comme le relève Denis Lemaître « le système doit être innovant pour former de manière innovante des diplômés qui seront innovants » (Lemaître, 2018, § 1).

chercher par eux-mêmes les informations et les connaissances, les trier, en faire une synthèse, tout en les reliant à une situation professionnelle nous semblait pouvoir s'approcher des objectifs de l'APP, notamment parce que nous visions aussi à dépasser la restitution des connaissances de chacun en instaurant une discussion. Dans un second temps, nous avons découvert l'approche par projet, répondant de la même manière à notre intention de rendre les étudiants acteurs, mais cette fois-ci dans notre volonté d'introduire du concret, de la pratique, de les faire produire. À notre sens, l'objectif d'une telle approche est d'aboutir à une production, pour laquelle le suivi du cheminement permettant d'arriver au résultat est tout aussi important, mais ne passe pas forcément par la recherche de solution à un problème complexe. Les deux dénominations, par problèmes et par projet, appartiennent donc à une même famille d'approches, celle d'être centrée sur ce que fait l'étudiant, avec une modification du rôle de l'enseignant. C'est-à-dire que, dans le cadre de notre enseignement, nous nous sommes décentrés de l'enseignement pour nous concentrer sur les apprentissages des étudiants, et avons revêtu un rôle d'accompagnateurs des étudiants dans leur cheminement réflexif. En cela, nous nous sommes référés à Perrenoud (1999) qui présente l'approche par projet comme une action collective, organisée en collaboration avec les apprenants (l'enseignant anime, mais ne prend pas l'ensemble des décisions); l'enseignant induit un ensemble de tâches dans lesquelles tous les élèves peuvent s'impliquer et jouer un rôle actif, qui peut varier en fonction de leurs moyens et intérêts; il suscite l'apprentissage de savoirs et de savoir-faire de gestion de projet (décider, planifier, coordonner); enfin, il favorise en même temps des apprentissages identifiables figurant au programme d'une ou plusieurs disciplines.

Nous avons fait le choix de faire appel aux deux approches. L'APP, dans l'idée de placer les étudiants (par équipe) en situation de découvrir par eux-mêmes des notions théoriques complexes pour lesquelles ils devront trouver des liens avec un domaine professionnel et organiser un débat au sein du cours; l'approche par projet, à travers la réalisation d'un exposé-vidéo, production concrète pour laquelle ils seront amenés à rencontrer des professionnels extérieurs à l'université et à s'investir dans l'évaluation (évaluation par les pairs, construction de la grille d'évaluation). L'ensemble du dispositif établi doit permettre de maximiser la réflexion étudiante puisque, à l'origine, l'esprit de ces approches se veut ouvert et stimulant pour l'apprentissage des

apprenants. Ces approches, l'APP et l'approche par projet, sont traversées par plusieurs courants : de ceux qui l'utilisent comme « mode ordinaire de construction des savoirs dans la classe » (Perrenoud, 1999, p. 1) à une version plus souple, pour ceux qui l'utilisent comme un outil parmi d'autres qui doit pouvoir venir, ponctuellement, briser le rythme aride de l'enseignement du « savoir pur ». Pour nos débuts, nous nous inscrivons dans cette dimension souple.

Dispositif : du prototype conçu à sa réalisation

Originellement prévu pour s'étendre jusqu'à mai 2020, le dispositif pédagogique s'est brutalement arrêté en mars 2020 à la suite d'un confinement national décidé par le gouvernement. Le processus pédagogique a pu s'effectuer sans perturbation pendant les six premières séances, alors que les six dernières se sont tenues en « distanciel ». Le détail du dispositif réalisé est donc décrit ici dans sa théorie originelle.

Après avoir déterminé les concepts scientifiques à adopter, le scénario pédagogique retenu se présente de la façon suivante (tableau 4.1) :

TABLEAU 4.1 Scénario pédagogique.

Intention pédagogique	Amener les étudiants à développer une réflexion critique autour de sujets historiques et contemporains. Pour ce faire, l'autonomie et l'activité des étudiants sont mises en avant afin de leur permettre, tout à la fois, d'appréhender un savoir, d'acquérir un savoir-faire et de développer un savoir-être.			
Apprentissage visé (objectif général)	Mettre en relation des enseignements théoriques avec des aspects pratiques et professionnels de leur choix : <ul style="list-style-type: none"> • en adoptant une posture réflexive ; • en développant des savoir-faire techniques et opérationnels (vidéo, prise de parole, etc.) ; • en favorisant l'esprit de collaboration. 			
Apprentissage visé (objectif intermédiaire)	Interroger son environnement au regard des grands enjeux du monde contemporain et du contexte sociétal dans lequel l'étudiant évolue.	Adopter une posture collaborative en travaillant en équipe et en développant les prises de contact avec le monde professionnel.	Réaliser un montage vidéo.	Prendre la parole en public et animer un débat collectif.
Ressources (contenu)	Notions politiques (<i>eunomia</i> , chose publique, clémence, absolutisme, etc.) Connaissance des règles des principes de base de la collaboration Connaissances de théoriciens politiques Connaissances techniques avec l'aide de services d'appui Connaissances des règles de communication verbales et non verbales Analyse de points de vue/mise en lien avec la société contemporaine Protocole de prise de contact avec le monde professionnel Communication dans le cadre de controverse Développement de la créativité Développement de l'esprit critique			

Au-delà des seules connaissances, ce sont les attitudes, les valeurs, l'image de soi ou encore le rapport à la citoyenneté qui sont à appréhender par les étudiants dans le dispositif qui s'est réalisé de janvier à mars 2020, à hauteur d'une séance d'une durée d'une heure et demie chaque semaine, pendant douze semaines.

La première séance est consacrée à la présentation générale de l'enseignement avec ses attendus, les thématiques retenues ainsi que le dispositif à déployer. Au cours de cette séance, les étudiants sont amenés à co-construire une grille d'évaluation pour évaluer les exposés-vidéos de chaque groupe. Par la suite, les étudiants forment des groupes de deux à quatre personnes et choisissent de présenter un exposé-vidéo sur l'une des dix thématiques présentées (la répartition s'effectuant par rapidité de choix) : quatre d'entre elles sont axées sur des notions politiques en particulier tandis que les six autres présentent des auteurs ayant eu une influence dans le domaine des idées politiques. En respectant l'ordre chronologique étudié, il s'agit de « *L'eunomia* de Solon », « *La res publica* romaine », « *La clementia* de Sénèque », « *Le coumin profit* de la monarchie française », « Aristote », « Thomas More », « Nicolas Machiavel », « Jean Bodin », « Thomas Hobbes » et « Montesquieu ». Le cours s'achève par l'intervention d'un accompagnateur du pôle audiovisuel de l'université. Celui-ci présente aux étudiants les moyens mis à leur disposition pour effectuer une captation vidéo ainsi que les logiciels adéquats pour réaliser un montage.

Les dix séances suivantes se déroulent selon des repères identiques : présentation par les enseignants des éléments à étudier durant la séance (5 min) ; présentation par un groupe étudiant d'un exposé-vidéo sur la notion principale de la séance (3 min). Les étudiants sont principalement dans une démarche active d'apprentissage, guidée par une bibliographie donnée par les enseignants au début du semestre. La vidéo doit présenter trois aspects différents autour de l'exposé de la notion théorique, du retour d'un professionnel sur l'influence de ladite notion en milieu professionnel et d'un lien à effectuer entre la notion étudiée et le monde contemporain. Le cours se poursuit par l'animation effectuée par le groupe étudiant sur la thématique de l'exposé (10 min). Lors de cette étape, le groupe présente la démarche collective réalisée avant de répondre aux questions de leurs camarades. Si le temps imparti n'est pas achevé, le groupe doit pouvoir rebondir en relançant lui-même la discussion. L'un des objectifs de cette partie du cours est d'amener le groupe à apprendre à lancer et à mener un débat.

Là aussi, le groupe est guidé grâce à la transmission d'une notice pédagogique sur l'animation de cours : réalisée par les enseignants, celle-ci donne des conseils sur la façon de capter l'attention de la classe, sur l'importance de solliciter le reste du groupe-classe pendant l'exposé, etc. Ensuite, il est prévu un retour sur la notion principale, avec le concours des enseignants (40 min), à l'aide de supports visuels préparés par les enseignants, afin de compléter et d'approfondir le sujet. Des liens avec l'actualité et des questions posées aux étudiants permettent de valider leur compréhension et de rythmer la séance, tout en incitant ceux-ci à proposer leurs réflexions sur le sujet. S'ensuit un débat collectif entre les étudiants, sur la notion étudiée en cours (25 min). Une mise en relation de celle-ci avec l'aspect historique et le monde contemporain est recherchée : les enseignants ont principalement un rôle de facilitateur. Ils lancent le débat par une question afin d'inciter à la première prise de parole étudiante et recentrent celui-ci lorsqu'il déborde. La séance se termine par un récapitulatif et la transmission d'informations sur le cours suivant (5 min). Un temps d'échange s'effectue entre les enseignants et le groupe étudiant ayant réalisé l'exposé-vidéo après la séance. Ce moment permet aux étudiants d'exprimer leur ressenti, ce qu'ils ont apprécié ou les difficultés rencontrées. Quant aux enseignants, ce temps leur donne l'occasion de détailler les points faibles et les points forts de la prestation réalisée.

La dernière séance a pour objet d'échanger avec le groupe-classe sur le dispositif suivi au cours du semestre. Elle doit permettre de confronter les différents points de vue, tant des apprenants que des enseignants, afin de mesurer l'efficacité du dispositif pédagogique. Du côté des apprenants, ceux-ci doivent pouvoir s'exprimer sur la pertinence de l'apprentissage des connaissances et des compétences, ainsi que sur la pratique pédagogique des enseignants. Nous exposons ensuite le parcours réalisé par les étudiants au cours des semaines (évolution de la prise de parole, qualité des débats, renforcement de l'autonomie et de la collaboration du groupe-classe, etc.). Enfin, le dernier aspect abordé se rapporte aux notions d'éthique et de pouvoir et à l'évolution du sentiment qu'entretiennent les étudiants avec celles-ci.

Méthode et résultats

Dans le cadre de cet EC libre, l'importance de recueillir le vécu et le ressenti des étudiants n'a pas été perçue immédiatement et est venue

au fil des échanges entre les enseignants et la conseillère. Par conséquent, l'information auprès des étudiants de l'intérêt de répondre à une enquête n'a pas été intégrée à l'enseignement et c'est donc *a posteriori* qu'un questionnaire a été réalisé et envoyé aux quarante étudiants. Nous avons appuyé la réalisation de ce questionnaire sur un modèle de l'Université Laval au Québec, réparti en cinq catégories :

- 1) Planification – organisation
- 2) Activités et méthodes pédagogiques
- 3) Enseignement
- 4) Apprentissages
- 5) Évaluation et rétroaction.

Chacune de ces catégories était composée de trois à cinq questions utilisant l'échelle de Likert avec cinq choix de réponses et une question ouverte après chaque catégorie permettant de compléter ou de préciser ses réponses.

Les questionnaires d'évaluation des enseignements par les étudiants (EEE) institutionnels sont proposés de manière automatique pour tous les enseignements ayant un cours ouvert sur l'environnement numérique de travail (ENT) de l'Université. Toutefois, nous devons relever que la démarche, s'inscrivant dans un principe de responsabilité décrit par Berthiaume *et al.* (2011, p. 7), reste sur la base du volontariat de l'enseignant et aussi de l'étudiant. Les objectifs de la démarche étant encore souvent peu explicites, ils décrivent deux perceptions possibles par les enseignants : celle renvoyant à l'idée du contrôle, du jugement, voire une vision « sanctionnante » des EEE, et celle visant davantage le développement professionnel de l'enseignant. Les auteurs ne cherchent pas à mettre en opposition ces deux approches qui, selon eux, peuvent être amenées à se croiser. Quoi qu'il en soit, en l'absence d'explication et d'accompagnement, l'appropriation de cet outil en tant que soutien au développement professionnel et à l'amélioration continue se veut inégale d'un enseignant à l'autre. Ce qui peut entraîner « des résistances » (Zarka, 2009 cité par Berthiaume *et al.*, 2011). Dans notre situation, c'est davantage la situation exceptionnelle du passage de ce cours à distance qui nous a amenés à différer plus longuement ce questionnaire.

Finalement, à la suite des retours des étudiants, nous avons obtenu un taux de réponse de 55 % au questionnaire, soit 22 étudiants sur 40. D'un point de vue général, les réponses aux questions apparaissent plutôt positives par rapport à la démarche proposée, bien qu'une insatisfaction

demeure quant à l'absence de réponses des 18 étudiants restants. À ce stade, il nous paraît alors primordial pour les années futures d'introduire un questionnaire dans un cours, à l'issue de l'enseignement, pour s'assurer d'un retour le plus complet possible. Les questions concernant la bonne organisation, l'explicitation des objectifs, la clarté des propos, etc. ont recueilli des avis « favorables » et « plutôt favorables ». Les questions ouvertes ont recueilli peu de réponses, cinq étudiants se sont exprimés dans l'ensemble pour huit commentaires en tout, sachant que la première question ouverte a suscité un avis global, dépassant parfois la seule question de la planification. Les étudiants n'avaient donc, pour la majorité, plus rien à dire aux suivantes. Là aussi, les commentaires sont plutôt positifs. Nous les avons répartis en trois catégories :

- Expression d'une émotion, d'un ressenti : « très bienveillants », « très contente », « j'ai adoré », « très bonne idée », « très innovant », etc. ;
- Intérêts de l'étudiant : « cours instructifs », « permet entre autres d'apprendre et d'approfondir nos connaissances personnelles », « a beaucoup aidé pour l'apprentissage de l'histoire du droit », « notions que j'ai pu réutiliser dans mes écrits », etc. ;
- Qualité de la proposition : « bien organisé », « notions super bien expliquées », « donnent des explications claires », etc.

Deux remarques sont intéressantes à relever pour la catégorie « intérêts de l'étudiant » : le dernier commentaire, relatif aux notions réutilisables dans les écrits, émane d'une étudiante qui n'est pas issue de la filière juridique, mais littéraire ; à l'instar de l'étudiant qui a « adoré », issu, comme il le précise, de la branche scientifique (faisant référence sans aucun doute aux sciences dites exactes). En sus, un étudiant affirme avoir eu des problèmes avec son groupe, mais ne semble pas avoir de doute sur le bon déroulement pour les autres, ne remettant ainsi pas en cause le principe. Enfin, un autre précise qu'il n'a pas pu développer ses compétences orales, n'ayant pu passer l'exercice.

Les points de vigilance ou d'amélioration que nous pouvons observer et sur lesquels nous devons travailler sont au nombre de quatre. Premièrement, la charge de travail étudiante. Bien que 50 % des répondants, soit 11 étudiants sur 22, l'estiment équilibrée au nombre d'ECTS (*European Credits Transfer and accumulation System*), 41 % répondent avec moins de certitudes « plutôt oui » (neuf étudiants) et 9 % « plutôt non » (deux étudiants). Deuxièmement, le développement d'apprentissages

utiles dans des contextes professionnels. Celui-ci n'obtient que deux voix d'étudiants pour un avis tranché « favorable », tandis que 15 étudiants expriment un avis plus mesuré « plutôt oui » et cinq étudiants répondent clairement « non ». Les questions que nous pourrions étudier sont : l'explicitation des apprentissages visés dans ce contexte est-elle suffisante ? Ou encore, les activités proposées permettent-elles à tous les étudiants, quels que soient leur profil et domaine d'études, de transférer les apprentissages ? Troisièmement, six répondants considèrent que la production de la vidéo n'est « plutôt pas » utile à l'atteinte des objectifs. Peut-être pouvons-nous envisager de laisser plus de liberté dans l'objet à produire pour garder une trace synthétique de la réflexion apportée ? D'autant que cinq étudiants estiment ne pas avoir développé leur créativité. Quatrièmement, le travail en équipe pour des apprentissages plus efficaces recueille 23 % de « non » et « plutôt non » (cinq étudiants) et quatre étudiants sur les 22 répondants estiment ne pas avoir amélioré leur capacité à travailler en équipe.

Alors que la prise de contact avec le monde professionnel, le travail collaboratif, la production de la vidéo et le fait de mener un débat devaient, entre autres, permettre aux étudiants de développer des apprentissages qu'ils pourraient réinvestir dans des contextes professionnels, cet objectif est à retravailler. Il est intéressant, d'ailleurs, de relever que si cinq répondants ne perçoivent pas ce développement d'apprentissages utiles en contexte professionnel, un chiffre d'insatisfaction identique, cinq étudiants, apparaît pour l'intérêt du travail collaboratif. Est-ce en raison d'une insatisfaction globale du travail collaboratif ou en raison d'un mécontentement face à un camarade s'étant moins investi que les autres dans le travail de groupe ? Ce point sera à prendre en considération les années suivantes.

Discussion

La première édition du dispositif pédagogique nous a donné globalement satisfaction. Les nombreux échanges avec les étudiants furent à la hauteur de nos attentes. Le processus du dispositif, destiné à les rendre actifs, permet des échanges nourris avec eux. Leur participation aide à rendre le développement de l'enseignement vivant et non figé, comme cela peut être le cas lors d'un cours magistral. Néanmoins, et bien que la brièveté du dispositif (dans sa forme présente) liée à la situation sanitaire du printemps 2020 laisse un sentiment d'inachevé

frustrant, nous discernons d'ores et déjà des axes d'amélioration dans sa reconduite.

En premier lieu, l'alternance entre les activités peut tendre à provoquer une période de flottement propice à une déconcentration des étudiants. Cette période pourrait être anticipée plus efficacement, tout en tenant compte que cette rapide déconcentration peut avoir rapport à l'horaire tardif de l'enseignement, qui se déroule de 18 heures 30 à 20 heures. Dans un deuxième temps, les débats suscités par le dispositif même du cours, s'ils sont riches, peuvent déborder ponctuellement. Si ces débats participent de la richesse de l'enseignement, il importe pour nous de rester en éveil afin d'anticiper ces moments. Enfin, nous sommes confortés dans la poursuite de notre démarche de co-intervention qui permet de dynamiser une séance de cours par l'apport d'échanges réguliers entre nous d'une part, et entre les étudiants et nous, d'autre part. Toutefois, nous avons conscience de la nécessité de faire évoluer cette pratique vers plus d'égalité dans les interactions, qui serait plus à même de nourrir la réflexivité générale. Jusque-là, nous avons fait le choix d'alterner entre un enseignant « pilote » et un enseignant « soutien » en fonction des séances. Cette organisation, si elle permet de cadrer une séance, peut avoir tendance à mettre en retrait l'enseignant « soutien ». Ce qui peut finalement appauvrir la dynamique des séances.

Par ailleurs, comme dit précédemment, nous retenons de notre co-intervention une expérience satisfaisante, mais cet aspect de la co-intervention n'apparaît pas dans le questionnaire soumis aux étudiants et il s'agit là d'une lacune à rectifier pour la prochaine session, car un retour des étudiants sur cette pratique serait intéressant à observer. Quoi qu'il en soit, d'après un retour en aparté des apprenants, la co-intervention permet un accompagnement plus développé ainsi que l'instauration d'un meilleur climat d'apprentissage (Sagal, 2020). Pour nous, cette double intervention provoque un effet stimulant sur la pratique pédagogique et peut permettre d'adapter la démarche d'enseignement grâce aux remarques du partenaire à la suite du cours. Ce qui s'inscrit, *in fine*, dans une démarche de développement professionnel. Ainsi, notre volonté initiale d'une pédagogie « originale » semble prendre racine dans cette modalité de co-intervention, encore peu documentée dans le cadre de l'enseignement supérieur, à la différence des modalités pédagogiques citées *supra*, dites innovantes, à notre échelle et au regard de nos expériences, mais pour

lesquelles nous avons pris conscience qu'elles sont déjà largement étudiées scientifiquement. Les approches initiées (par problèmes et par projet) s'inscrivent dans ce que Jouquan et Bail (2003) nomment un « paradigme d'apprentissage » face à un « paradigme d'enseignement ». Notre modèle initial était davantage celui de l'enseignement et, bien que nous souhaitions faire évoluer notre modèle en le centrant davantage sur les apprentissages des étudiants, nous avons pris conscience que ce basculement n'est pas si aisé. Tout d'abord, parce qu'il nécessite de profonds changements, en proie à des habitudes, des représentations, voire des croyances. Dit autrement, c'est accepter de ne plus être le sachant qui transmet ou encore l'examineur qui sanctionne, mais l'enseignant qui facilite, qui diagnostique, qui partage son temps de parole avec l'étudiant qui apporte, lui aussi, ses connaissances. C'est un changement de pratique qui, sans aucun doute, doit s'inscrire dans un temps long, nécessitant d'approfondir et de tester davantage les méthodes découvertes. À l'inverse, nous comprenons aussi que passer du paradigme de l'enseignement à celui de l'apprentissage, c'est être attentif aux dérives possibles. Vouloir rendre les étudiants acteurs ne veut pas dire proposer de l'activité pour l'activité dans une forme de gesticulation non réfléchie et sans doute non-apprenante.

Ainsi, la fin de cette première édition nous amène à constater le chemin parcouru depuis les premières réflexions théoriques jusqu'au point final de cet article. Notre intention d'origine était de mettre en place un nouveau dispositif pédagogique qui devait favoriser la participation des étudiants afin de les amener à développer une réflexion critique et approfondie sur des notions théoriques. Alors que nos échanges initiaux nous poussent à envisager un enseignement de forme plutôt « traditionnel », avec la volonté de faire interagir les étudiants le plus possible par des questions-réponses orales, ce sont les exigences de l'institution universitaire qui nous orientent vers le processus des pédagogies innovantes.

La collaboration avec le Service des pédagogies innovantes façonne le dispositif de façon plus minutieuse, en rendant les étudiants véritablement acteurs de leur enseignement, notamment à travers la prévision d'une co-construction de la grille d'évaluation et d'un approfondissement de la co-évaluation. Au-delà de l'approfondissement de l'aspect technique du dispositif, cette collaboration nous a fait découvrir un nouveau champ de réflexion par la lecture d'écrits dans le domaine de la pédagogie universitaire. Nous prenons conscience que

la mise en place d'un enseignement efficace ne consiste pas seulement à établir le traitement de différentes thématiques dans le cadre d'une discipline. Le processus doit pouvoir se réfléchir de façon globale, que ce soit par le détail de l'intention pédagogique ou par l'instauration d'activités particulières destinées à remplir des objectifs d'apprentissage précis. *In fine*, c'est l'ensemble des savoirs, savoir-faire et savoir-être qui sont à appréhender ensemble. De ce fait, notre collaboration nous a permis de dégager des horizons et d'enrichir tant nos réflexions que nos pratiques pédagogiques qui s'en trouvent aujourd'hui plus mûres. La pratique réflexive amène à prendre une hauteur significative, ce qui tend à rendre le dispositif pédagogique plus performant, tant pour l'apprentissage des étudiants que pour la pratique des enseignants. Nous sommes entrés dans une première boucle SoTL par l'analyse d'une pratique (dédiée à un enseignement), puis nous nous sommes confrontés à des ressources théoriques venant nourrir notre pratique et soutenir les changements à opérer.

Partie 2

**Prototyper dans
un environnement
riche et dans
un milieu s'appuyant
sur la créativité**

Régis Lomba, Quentin D'Aspremont Lynden,
Benoît Raucent, Victorien Sonneville,
Benoit Macq, Jean-Pierre Raskin
& Emmanuelle Brun⁶

5 Explorer l'innovation

Résumé

Cet article aborde la question du prototypage dans le parcours d'apprentissage à l'innovation. Au-delà du prototype physique, le prototypage permet de favoriser la compréhension d'une problématique, de stimuler la créativité, de tester l'intérêt du terrain ou encore de soutenir la discussion et la communication autour du projet dans une approche centrée utilisateurs.

Dans le contexte des classes d'innovation, l'objectif est avant tout pédagogique: l'étudiant doit pouvoir donner du sens au prototypage. Quatre clés sont abordées dans le chapitre: l'importance du sujet proposé aux étudiants, la nécessité de disposer d'outils favorisant la posture réflexive tels que la ligne des émotions, le bon déroulement du travail en équipe et enfin la posture de l'enseignant.

⁶ Nous tenons à souligner l'implication de la Chaire internationale d'innovation Lhoist Berghmans qui, depuis sa création en 2014, n'a cessé de soutenir le programme des classes d'innovation. Ceci a permis d'attirer et de former des étudiants de grand talent tant belges qu'internationaux en matière d'innovation et de les préparer à évoluer professionnellement dans des environnements internationaux. Nous souhaitons les en remercier.

Introduction

En 2014, un petit groupe d'enseignants de l'École polytechnique de Louvain a lancé l'idée de mettre sur pied une formation à l'innovation. Réunissant autour d'eux quelques étudiants volontaires, ils ont créé ce qui deviendra par la suite le cours de « classe d'innovation » (Macq *et al.*, 2014), qui s'inscrit comme cours à option dans le programme. Cette formation qui vise à développer l'esprit d'innovation chez les étudiants de quatrième année se construit autour de challenges qui demandent de proposer une solution concrète à un problème. Par exemple :

En 360 minutes, vous devez vous organiser et suivre une approche de conception innovante la plus structurée possible afin d'imaginer et de réaliser un dispositif permettant à une personne à mobilité réduite en fauteuil roulant de réaliser un parcours comprenant un escalier de quatre marches et l'ouverture d'une porte. Le dispositif doit être entièrement embarqué sur le fauteuil et autonome. Un ensemble d'éléments sont mis à votre disposition : le fauteuil roulant et l'équipement du laboratoire de fabrication mécanique. Les techniciens du laboratoire sont également présents pour vous aider.

Au cours de la formation, les étudiants devront réaliser différents types de prototypes avec, à chaque fois, des objectifs différents. La notion de prototypage, centrale dans ce dispositif, constitue un véritable défi, exprimé par les trois questions suivantes :

Comment aider les étudiants à bien percevoir le rôle et la nature du prototypage dans un contexte d'innovation ? Pour de nombreux étudiants, la nature et plus fondamentalement le rôle du prototype ne sont pas clairs, il s'agit d'un prototype physique, c'est-à-dire d'un objet ou d'un produit quasiment prêt pour l'industrialisation. Cependant, le prototypage (on parle parfois de préprototypage) peut aussi bien s'appliquer aux produits qu'aux services ou aux procédés, et dépend également de ce que l'on veut appréhender ou démontrer, ainsi que de l'état d'avancement du projet (Raucent *et al.*, 2011).

Comment aider les étudiants à choisir la technique de prototypage la plus apte à répondre aux objectifs ? Il existe de très nombreuses approches (ou méthodes) de prototypage, le deuxième challenge est celui d'identifier la méthode la plus adaptée en fonction du but poursuivi. L'étudiant doit pouvoir donner du sens au prototypage. À quoi cela ressemble, comment cela fonctionne, comment les éléments

évoluent au cours du temps, mais aussi comment le public réagit ou interagit avec notre proposition? Bref, à quoi sert le prototype? Une fois la fonction du prototype clarifiée, il reste à trouver la façon la plus rapide et la moins chère pour le produire.

La troisième question que nous souhaitons traiter dans ce chapitre est : comment faire pour accompagner les étudiants à accepter l'incertitude et l'erreur? Les notions d'incertitude et d'erreur sont souvent perçues négativement par la majorité des étudiants. La première est vue comme anxiogène, la seconde est confondue avec la notion d'échec. Pratiquement, pour éviter l'incertitude, l'apprenant se réfugie souvent dans une logique de progression par petits pas avec des validations très régulières. La vision négative de l'erreur pousse bien souvent à rester dans notre « zone de confort » (Gibson, 1979; Miras et Burrows, 2021, p. 207); l'environnement pédagogique ou le milieu didactique proposé par l'enseignant est également fonction des capacités propres à l'individu. Par exemple, un ingénieur mécanicien va proposer la réalisation d'un prototype mécanique. L'innovation, et en particulier le prototypage, est caractérisée par l'incertitude et l'obligation de franchir certains murs (Foliard *et al.*, 2021).

Par conséquent, pour répondre à ces trois questions, nous commencerons par clarifier le cadre théorique du *design thinking* et du prototypage. La section suivante rappellera le contexte des classes d'innovation. Dans la section Méthodologie, nous exposerons nos balises pédagogiques qui visent, entre autres, à répondre aux trois questions. Nous développerons ensuite des illustrations de méthode de prototypage et nous rapporterons quelques verbatims des avis d'étudiants sur les dispositifs mis en place. Enfin, la conclusion proposera trois conditions clés pour résoudre les challenges posés par le prototypage dans le *design thinking*.

Cadre théorique

Le design thinking

Le *design thinking* (ou conception créative) est une méthode de conception en plusieurs étapes (figure 5.1).

- 1) La « compréhension empathique » permet de se rendre compte de l'importance d'une approche centrée utilisateurs. Cette dernière, dans la phase d'inspiration, sert à identifier des problématiques d'innovation porteuses de sens auprès des utilisateurs ciblés et d'autres

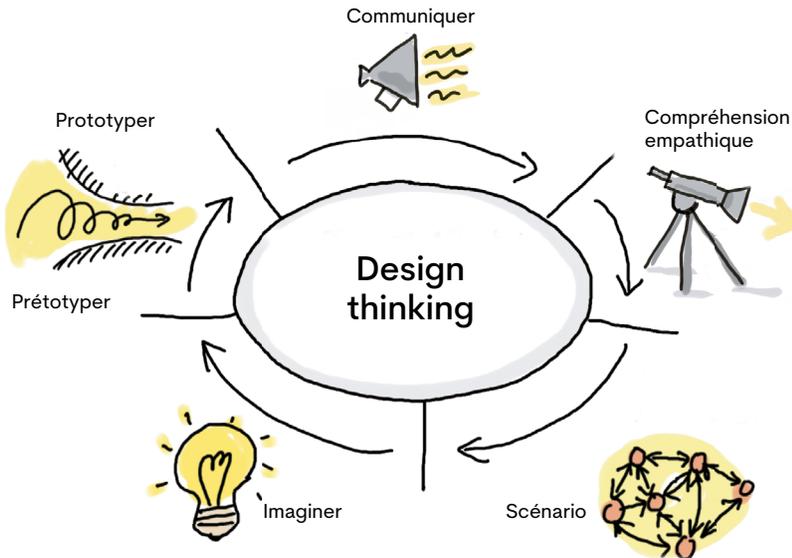


FIGURE 5.1 Le *design thinking* (Macq et al., 2014). Dessin : © Benoît Raucent, 2018.

parties prenantes. L'approche par réseau de problèmes ouvre à une meilleure compréhension de l'origine des problèmes et de l'interconnexion entre les différents facteurs associés à la problématique.

- 2) L'«idéation» vise à développer les facultés créatives à travers des exercices de *brainstorming*, de résolution de problèmes inventifs et de stratégies créatives. Cette étape permet de prendre conscience du potentiel créatif face à n'importe quel défi d'innovation, quelle que soit la discipline ou l'expertise.
- 3) L'«itération» aborde les notions d'agilité de prototypage, de pré-prototypage et de prototypage rapide qui seront développées ci-dessous.

Par ailleurs, une communication adéquate doit être réalisée en permanence pour amplifier les résultats des étapes précitées. Il s'agit de prendre une posture «*get out of the building*» (Blank, 2011) pour confronter rapidement et régulièrement les résultats intermédiaires auprès des utilisateurs et des autres parties prenantes à qui s'adresse la solution.

Le prototypage, un outil d'aide à l'innovation

Le processus d'innovation (Furr et Dyer, 2014) s'inspire et complète l'approche du *design thinking*. Dans ce cadre, le prototypage a pour

objet de développer le produit ou le service, dans l'idée de répondre à la question de la capacité à concrétiser une idée. Il peut aussi remplir des objectifs d'apprentissage, de découverte et de communication (Camburn *et al.*, 2017), et cela pour les quatre phases du processus d'innovation.

Dans la phase d'inspiration/empathie, le prototypage peut être utilisé afin de mieux comprendre le contexte dans lequel se positionne le projet. Cette activité consiste à créer une expérience d'immersion qui permettra de mieux appréhender la problématique. L'idée est de se concentrer sur l'expérience de l'utilisateur, et de se retrouver ainsi au cœur de cette étape de compréhension du problème. Par exemple, dans le cadre d'un travail sur les « Repair Cafés », on donne aux étudiants un appareil défectueux en leur demandant de prototyper un processus pour le réparer.

Dans une phase de validation, le prototypage permet d'apprendre l'importance de l'intérêt du public, au moyen de ce qui s'appelle le pré-prototypage, qui a pour objectif de valider la proposition en la confrontant le plus rapidement possible et avec le moins d'effort possible à son public cible (Savoia, 2011). Il faut répondre à la question : est-ce qu'on doit le faire ?

Dans une phase de développement, l'objectif du prototypage est de s'appropriier le savoir-faire relatif au projet au travers d'activités pilotes afin de répondre à la question : est-ce qu'on sait le faire ?

Dans une phase de recherche de solution, le prototypage peut également être utilisé comme technique d'exploration des idées. Le fait de donner corps à plusieurs idées, de les manipuler, de faire des erreurs, de recommencer peut permettre de stimuler et de réorienter la réflexion. Dans ce contexte, il est important de se placer à un niveau de travail suffisamment conceptuel afin d'éviter de figer trop rapidement une idée. À travers la notion de « *Dark Horse* », Durão, Kelly, Nakano, Zancul et McGinn (2018) proposent de maintenir une ouverture aux idées non retenues assez tard dans le processus, en forçant une pause dans le développement d'une idée pour explorer, le temps d'une itération, une idée moins consensuelle mais au potentiel peut-être plus grand.

Et finalement, un objectif important du prototypage est la communication, que ce soit avec le commanditaire du projet, l'investisseur ou le futur utilisateur. Dans une démarche d'amélioration continue, un prototype virtuel ou physique peut servir à supporter la discussion autour du projet et à appuyer l'argumentation.

Ces différents objectifs de prototypage, afin d'orienter le travail et de pousser les étudiants à faire abstraction de paramètres trop exigeants, sont décomposés selon les aspects rôle, apparence et fonction. Le degré d'exigence par rapport à ces différents aspects dépend de la finalité du projet (Yang et Epstein, 2005). Par exemple, un prototype de communication visuel devra se concentrer sur l'apparence, alors que les aspects fonction et rôle pourront être négligés.

Cas pratiques de mise en application du prototypage

Le prototypage d'objet peut prendre différentes formes et exploiter différentes technologies. Par exemple, la réalisation de maquette d'architecture soit par voie manuelle, soit avec l'utilisation de machine de découpe numérique ; le prototypage rapide par machine 3D pour vérifier l'ajustement de pièces, de dessins 2D assistés pour vérifier la cinématique d'un mécanisme, etc. Quelques exemples seront présentés dans la section Résultats.

Le prototypage peut également viser à tester un processus avec un minimum de moyens (Savoia, 2011). Ainsi l'automate turc, également connu sous le nom d'automate ottoman ou du magicien d'Oz, est une technique qui a pour objectif d'éprouver la réaction du public cible d'un projet, avant de réaliser l'effort de développement technique, en remplaçant le dispositif automatisé à développer par une intervention humaine, idéalement, dissimulée. Un exemple de mise en pratique de cette technique est l'expérience « *Speech to text* » d'IBM qui remplaçait l'algorithme par un dactylographe à l'insu du public test, qui croyait vivre une expérience de reconnaissance vocale ; l'accueil mitigé du public justifiera le report du développement de ce projet.

Contexte

Les classes d'innovation

Le cours de classe d'innovation est proposé en cours à option à tous les étudiants de l'école d'ingénieur ainsi qu'à des étudiants en architecture, en ingénierie de commerce, à tout autre étudiant de l'université en général et d'autres institutions partenaires. Les étudiants sont invités à remettre un dossier de candidature. Une sélection est organisée en vue de limiter le nombre d'étudiants à 24 et d'assurer un certain métissage du public indispensable à la variété de points de vue. Depuis

sa création, le cours a réuni plus de 150 étudiants issus de plus d'une dizaine d'universités de par le monde. Le tableau 5.1 présente les acquis d'apprentissage visés par cette activité d'enseignement.

TABLEAU 5.1 Acquis d'apprentissage visés.

À l'issue de l'enseignement, les étudiants sont capables de :

- Identifier les besoins des parties prenantes et des clients.
 - Comprendre les besoins des parties prenantes et des clients.
 - Trouver une idée innovante et motivante, l'évaluer, choisir un projet pertinent et faisable en suivant une méthode.
 - Exploiter l'approche du *design thinking* et du prototypage.
 - Identifier le produit minimum acceptable pour un projet viable/livable.
 - Identifier, trouver et gérer les ressources (équipe, partenaires, moyens).
 - Faire reconnaître par un bref résumé la valeur créée par le projet.
 - Communiquer en interne et en externe dans un contexte multiculturel.
 - Contribuer au travail en équipe pluridisciplinaire et multiculturelle.
-

Le Makilab

Tous les aspects liés au prototypage sont réalisés au travers du Makilab ABSL (2020), une initiative citoyenne d'atelier numérique communautaire et collaboratif basé sur le modèle « FabLab » issu du MIT (2012). Le Makilab met à disposition de toute sorte de public, citoyen, étudiant ou entrepreneur des outils et des machines de prototypage rapide: imprimante 3D, découpeuse laser, découpeuse vinyle, plateforme électronique... et assure l'accompagnement de la communauté dans l'appropriation de ces équipements. Le FabLab est hébergé et développé par l'Université dans le cadre du projet Openhub (UCLouvain, 2014).

L'Openhub

L'Openhub est un hub d'innovation ouverte centré sur les méthodes de prototypage. À ce titre, il accompagne différents types de projet: entreprises, recherche, actions publiques, citoyennes ou collectives pour démontrer rapidement leur potentiel. L'Openhub collabore aussi avec d'autres programmes d'accompagnement à l'innovation pour y renforcer les dynamiques de prototypage, que ce soit des sprints d'une semaine, des pré-accélérateurs de huit à douze semaines ou des accélérateurs de plus de trois mois.

Dans ce contexte, le Makilab a été amené à développer une expertise dans le domaine du prototypage afin de supporter les pratiques d'innovation initiées à l'OpenHub. L'animateur du Makilab fait d'ailleurs partie de l'équipe d'enseignement et anime plusieurs ateliers des classes d'innovation liés au prototypage.

Méthodologie

Principes pédagogiques

Les réponses aux trois questions posées dans l'introduction s'inscrivent clairement dans une formule d'apprentissage actif caractérisée par quatre clés d'activation complémentaires (De Clercq, 2020) : la contextualisation par des situations comportant une problématique réelle et complexe; l'implication des étudiants par le sens et la possibilité d'influencer l'activité; l'interaction entre étudiants en vue de l'activation cognitive (Chi et Wylie, 2014); et la réflexivité.

La contextualisation: il s'agit de travailler sur un des trois piliers de la motivation définis par Viau (2009) et qui visent plus particulièrement à donner du sens aux activités par rapport aux buts poursuivis par l'apprenant et à son futur professionnel. La séquence CDR (Raucent, 2022) se décompose en trois temps: contextualisation (proposer un point de départ sur la base d'une situation concrète), décontextualisation (extraire les apprentissages nouveaux de leur contexte initial) et recontextualisation (réutilisation des acquis dans un nouveau contexte), (Bedard, 2006; De Clercq, 2020; Meirieu, 1994; Raucent *et al.*, 2016). Dans le cadre des classes, les étudiants vont travailler sur deux challenges différents en vue d'une montée progressive en compétence.

L'implication des étudiants: afin de s'assurer de l'engagement des étudiants, nous veillons à ce que les projets proposés aient du sens au travers de situations authentiques, c'est-à-dire similaires à celles que l'apprenant pourra rencontrer dans la réalité quotidienne de son futur professionnel (Vanpee *et al.*, 2010). Il s'agit également de choisir des situations ayant un enjeu sociétal, permettant d'investiguer des usages (rencontre avec des usagers) et la réalisation d'un prototype (pas nécessairement physique).

L'interaction entre étudiants: les défis proposés seront à réaliser en petits groupes de six à huit étudiants. Cela implique que les sujets

doivent être suffisamment complexes pour nécessiter une vision pluridisciplinaire. Le mode d'interaction entre les étudiants doit viser le travail collaboratif entre les étudiants (le succès d'un étudiant augmente les chances de succès des autres étudiants) et, en même temps, la responsabilité individuelle (le résultat ne peut être atteint sans le travail de tous) (De Clercq, 2020).

La réflexivité: dans un modèle d'apprentissage expérientiel (Lee, 2012), le rôle de la réflexivité est primordial (Kolb, 1984; Pittaway et Cope, 2007). Selon Kolb (1984), il s'agit de «faire le point *sur* l'action», c'est-à-dire d'identifier ce que l'on a fait et appris durant l'expérience. Dans un deuxième temps, la réflexivité permet de «faire le point *pour* l'action», à savoir de déterminer ce que l'on va faire des acquis en vue de poursuivre l'action. Le principe est donc d'amener les étudiants à penser à partir de la pratique en adoptant une posture de praticien réflexif, et cela par l'interaction entre la réflexion sur l'expérience vécue et la réflexion prospective.

Favoriser l'activation cognitive

Le modèle ICAP d'activation cognitive

La section précédente a mis en évidence l'importance d'accompagner l'étudiant dans sa réflexion en profondeur, on parle aussi d'activation cognitive. Chi et Wylie (2014) ont introduit le modèle «Interactif/Constructif/Actif/Passif» (ICAP), qui caractérise différents modèles d'activation selon quatre niveaux: dialogue interactif (p. ex. argumenter, débattre, défendre un point de vue); production constructive (p. ex. construire une nouvelle solution); manipulation active (p. ex. participation active à un cours); et perception passive (p. ex. l'étudiant assiste passivement à un cours). La mise en projet permet de viser le niveau constructif. Le niveau interactif, correspondant à l'apprentissage expérientiel, cherche à faire émerger au sein du groupe des points de vue divergents pour mener au débat. Nous revenons ainsi à nos questions de départ en introduisant le débat sur le rôle du prototypage et sur le choix de la méthode de prototypage. Le défi est de porter non seulement le débat sur le sujet du projet: «Que peut-on tirer du prototypage pour arriver à proposer une solution performante?», mais aussi au niveau de l'apprentissage: «À quoi sert le prototypage et comment choisir une méthode de prototypage dans un contexte nouveau?»

La régulation des conflits

La régulation d'un conflit d'opinion peut s'envisager selon la voie épistémique ou relationnelle (Butera *et al.*, 2011). La régulation relationnelle se concentre sur la recherche du consensus mou ou la confrontation entre les étudiants les plus assertifs. Dans le premier cas, on parle parfois de groupe « lune de miel », cherchant avant tout à préserver une bonne ambiance, et ce, en évitant les débats. Dans le deuxième cas, le débat se concentre sur les individus, chacun cherchant à prouver qu'il a raison. Cela conduit généralement à une baisse d'implication pour les étudiants les moins assertifs. L'objectif est donc bien de centrer la régulation sur le débat d'argumentation, c'est-à-dire sur le questionnement concernant les idées qui sont à la source du conflit.

Il convient dès lors de combiner deux objectifs : assurer que le débat ait lieu alors que beaucoup préféreraient ne pas débattre et centrer la discussion sur le débat d'idées. Il s'agit par là de rechercher une régulation épistémique basée sur une analyse de la situation et la proposition de pistes. Cependant, si vous posez à un groupe d'étudiants la question « Que pensez-vous de votre prototypage ? », dans la majorité des groupes, un porte-parole expose le résultat obtenu en montrant une certaine fierté pour le travail accompli. Les difficultés rencontrées sont rarement présentées, et les conflits d'opinion entre les étudiants, très rarement évoqués. Mais alors, comment faire pour engager un réel débat entre les étudiants ? Arguedas et ses collègues (2016) ont montré que lorsque les étudiants prennent conscience de leurs émotions et de celles de leurs camarades pendant une activité, ils changent et adaptent leur comportement au profit du groupe, et se lancent plus facilement dans le débat. Pour centrer la discussion sur la régulation épistémique, nous utilisons la méthode de la ligne des émotions (Verzat et Lecoq, 2021).

La ligne des émotions

L'émotion se distingue des autres états affectifs en ce qu'elle introduit une rupture soudaine dans les interactions individu-milieu (Rimé, 2005). Elle apparaît ainsi comme une réponse à un processus d'évaluation cognitive (*appraisal*) rapide et inconscient qui signale un écart entre la réalité et les représentations, les valeurs, les buts poursuivis (Avry *et al.*, 2018 ; Sander et Scherer, 2009). Pekrum (2006) a identifié quatre groupes d'émotions académiques liées à l'accomplissement, au contenu, aux liens sociaux et au problème cognitif.

La ligne des émotions est un outil qui cherche, à partir des émotions ressenties individuellement, à favoriser l'émergence de points de vue différents dans une forme de communication neutre centrée sur l'émotion portée par chaque membre du groupe (Verzat et Lecoq, 2021). Cet outil se décompose en deux étapes. Dans un premier temps, chaque étudiant dessine sa ligne des émotions (ressentis positifs et négatifs en fonction du temps). Ensuite, le groupe dispose devant lui toutes les lignes et essaie d'identifier des phases dans le projet et des moments clés : les moments où tous les étudiants ont un changement d'émotion similaire ou, a contrario, opposé. Le passage par le dessin de la ligne des émotions permet une sorte de décentration des étudiants et libère leur perception. On peut dessiner une bosse, une chute du ressenti, un plateau, une pente forte ou douce, etc. Et tout cela sans devoir l'expliquer. C'est seulement durant la deuxième partie que la comparaison entre les lignes des étudiants du groupe fait ressortir des similarités ou des différences dans les formes des lignes. La discussion du « pourquoi » se fait alors spontanément et le débat est engagé. L'outil est ainsi un révélateur bienveillant qui pousse les étudiants à parler des problèmes rencontrés et à devoir les clarifier.

Le bilan réflexif

L'objet du bilan réflexif collectif est de faire le point sur les apprentissages qui ont eu lieu à l'occasion d'une étape du projet, et cela, quelle que soit l'issue de cette étape et la nature des leçons tirées. Ce type de bilan trouve idéalement sa place à l'issue d'une opération de prototypage. Prenons comme exemple le bilan se déroulant à l'issue de l'exercice de lancement. Au cours de cette activité décrite plus bas, les étudiants ont expérimenté un mini-projet de quelques heures incluant la réalisation d'au moins un prototype. Ce bilan concerne deux axes : l'innovation et le travail en groupe.

Le bilan sur l'innovation se déroule en trois étapes. La première étape est l'analyse de ce qu'il est important de partager concernant l'innovation : ce que le prototype nous a appris (avantages, problèmes rencontrés, surprises, questions, nouvelles idées...). La deuxième étape cherche à savoir comment faire évoluer la solution : les idées et concepts que l'on garde, les concepts que l'on rejette, et les combinaisons que l'on propose. La troisième est ce que l'on conserve au niveau méthodologique d'innovation en vue de transposer les acquis à une nouvelle problématique.

Le bilan du travail de groupe exploite la ligne des émotions (décrite plus haut). Après le dessin individuel de la ligne, le travail en groupe se concentre tout d'abord sur les émotions : les temps forts, les temps de perte d'émotions, etc. Ensuite, le bilan se poursuit sur les faits : les temps/étapes qui conduisent à des modifications des émotions, puis sur l'analyse : ce que l'on a appris, ce qui est nouveau par rapport à ce que l'on savait déjà et sur ce que l'on retient, c'est-à-dire la clarification de ce que l'on a réellement appris et que l'on pourrait éventuellement transposer à une autre thématique.

Et le prototypage dans tout cela ?

Prototyper pour motiver

Les motivations (Ryan et Deci, 2000) sont un véritable soutien à l'apprentissage, qu'elles soient intrinsèques (agir pour la satisfaction que l'activité procure en elle-même) ou extrinsèques (agir pour la conséquence indirecte et la satisfaction que cette dernière apporte).

Les besoins de motivation primaire à la base de la motivation intrinsèque selon Ryan et Deci (besoin d'autonomie, besoin de compétences et besoin de relations aux autres) peuvent facilement entrer en tension dans un projet lorsque les différents membres de l'équipe n'ont pas le même rapport au risque ou le même degré de motivation (intrinsèque/extrinsèque).

L'accompagnement a notamment pour objectif de permettre aux étudiants de prendre conscience de leurs motivations, attentes, besoins en termes de développement de compétences et d'information, et ce, sur le plan individuel et collectif. Comprendre son propre rapport à l'incertitude, identifier la place que l'on occupe au sein d'un collectif et déterminer ses motivations sont des éléments essentiels pour la connaissance que l'étudiant peut avoir de lui-même, mais aussi pour le fonctionnement de l'équipe, qui influe sur la réussite du projet.

Prototyper pour sortir de sa « zone de confort »

L'accompagnement doit aider les étudiants à comprendre que les pratiques réalisées ne sont pas suffisantes, mais qu'elles peuvent servir de ressources à la mise en œuvre d'autres pratiques indispensables à la suite du processus. Des notions commerciales ont été proposées par les mentors dans le cas qui nous intéresse. Plus généralement, les étudiants disposant d'un fort bagage technique ou technologique ou

ayant déjà beaucoup travaillé sur le projet (réalisation de prototype perfectionné par exemple) ont tendance à se concentrer sur ce qu'ils maîtrisent, sans forcément percevoir ce qui leur manque. Ils sont ainsi enclins à rester dans leur zone de confort ou dans leur zone proximale de développement (Vygotski, 1997). Le rôle de l'accompagnant est d'aider l'étudiant à identifier les aspects moins développés du projet et à les explorer au cours des itérations successives de prototypage, afin de l'inciter à sortir de cette zone.

Prototyper pour valider ses hypothèses

Un rôle important du prototypage dans le processus d'innovation est de valider, avec un minimum d'efforts, l'intérêt d'investir dans le développement du projet. Dans la démarche de décomposition du prototypage selon les aspects rôle, apparence, fonction (Yang et Epstein, 2005), ce qui est important à valider, c'est le rôle ou, au minimum, l'intérêt pour le rôle que le projet est destiné à remplir. Dans ce cadre, les étudiants doivent arriver à faire la distinction entre prototyper pour récupérer de l'information du terrain et prototyper une version fidèle de leur projet. Pour ce faire, nous invitons les étudiants à décomposer leur projet en hypothèses simplifiées selon la forme XYZ (Savoia, 2011), où X peut être considéré comme le pourcentage minimum du public cible, Y doit réaliser l'action attendue, et où Z garantit que l'idée soit considérée comme porteuse.

Une hypothèse correctement formulée doit être testable, précise et discrète pour pouvoir mesurer la réaction du public sur un aspect bien précis du concept étudié. C'est dans ce contexte que les différentes techniques de «*prototyping*» (Savoia, 2011) interviennent : avec un minimum de créativité, elles permettent de tester les hypothèses formulées avant même d'investir dans le développement du concept.

Prototyper pour générer de la créativité : le Dark Horse

Dans un processus d'innovation, vient un moment où l'on doit stopper la divergence pour se concentrer sur une idée. Souvent, l'idée sélectionnée est la plus consensuelle et manque de créativité. Le terme *Dark Horse* fait référence à un cheval sur lequel on voudrait parier malgré une cote contre lui : les chances de gagner sont plus faibles, mais en cas de succès, les gains sont plus conséquents (Durão *et al.*, 2018). La technique du *Dark Horse* consiste à faire une pause dans les cycles itératifs de développement de l'idée de référence pour se concentrer

temporairement sur une idée jugée trop farfelue, et ce, afin de réinjecter de la divergence dans le processus d'innovation. Par exemple (Bushnell *et al.*, 2013), dans un projet étudiant sur l'amélioration des outils de visioconférence, le projet de référence proposait aux personnes d'altérer virtuellement leur arrière-plan. Dans leur itération *Dark Horse*, les étudiants ont expérimenté un concept de caméra volante télécommandée par l'interlocuteur. Ce détour créatif a permis d'introduire l'importance de la notion d'interaction dans l'environnement de l'interlocuteur et la version finale du projet intègrera cet aspect, qui n'aurait même pas été envisagé si les étudiants s'étaient uniquement concentrés sur leur idée principale.

Déroulement des classes d'innovation : exercice de lancement

Tout d'abord, les étudiants réalisent, en groupe, un parcours d'innovation étalé sur deux jours autour d'une première thématique choisie par l'encadrement (le défi de lancement). Par exemple, « Comment permettre aux personnes âgées de garder le contact avec la nature ? » ou « Proposer un outil pour soutenir la réflexion collaborative ». Cette première session est également l'occasion de faire connaissance pour ces étudiants de formation et d'origine diverses. Durant cette première étape, le prototypage est utilisé une première fois comme activité brise-glace, l'objectif est de désacraliser le prototypage aux yeux des étudiants. Lors des dernières années, le but de cet exercice était de réaliser un prototype du « pire chapeau » uniquement au moyen de papier kraft et de papier adhésif.

Plus tard au cours de l'exercice, les étudiants sont amenés à réaliser un prototype de leur projet. Ce premier prototype destiné à soutenir la communication du projet est généralement réalisé au moyen d'un minimum de technique, et se concentre sur un objectif bien précis. L'objectif de cette seconde activité est de mettre en évidence la valeur ajoutée d'un prototype simplifié quand son rôle est bien établi. Au cours de l'exercice sur la thématique du jardinage pour le troisième âge, les étudiants ont réalisé : une maquette de bac adapté aux chaises roulantes réalisée à la découpeuse laser pour mettre en évidence l'aspect pratique, une maquette de bus pour un jardin-serre itinérant afin de réussir le défi d'occupation de l'espace et finalement, un plan de jardin adapté aux maisons de repos ainsi que des figurines, afin de visualiser les flux et connexions possibles créés au travers de leur proposition.

Bilan de l'exercice de lancement

Le bilan de l'exercice de lancement constitue une étape importante dans le travail sur la réflexivité. D'autant plus qu'il joue un rôle dans l'apprentissage à mener un bilan. Celui-ci se déroule en deux parties : bilan de l'innovation et bilan du travail en équipe (voir plus haut, Principes pédagogiques).

Grand challenge

Au cours du reste du programme, les étudiants repassent par un parcours d'innovation, étape par étape, et appliquent les concepts pour mener à bien le « grand challenge ». Quelques exemples de projets soumis aux étudiants : « Comment organiser l'Openhub, un tiers lieu d'innovation », « Comment améliorer la mobilité à Louvain-La-Neuve », ou encore « Quelle valeur peut-on ajouter au quotidien au moyen de la 5G? »

Les premières sessions du programme sont orientées sur la compréhension du problème, à travers l'empathie et des exercices sur les réseaux de problèmes. Au cours de cette phase, les étudiants sont confrontés à une expérience d'immersion proposée par l'encadrement ; cette expérience est construite comme pourrait l'être un prototype de validation. Au cours d'un exercice sur un outil de *brainstorming* interactif, l'expérience est construite sur la base de l'automate turc. Les étudiants sont répartis en trois groupes : les utilisateurs confrontés à un exercice de *brainstorming*, les « automates » chargés de transposer les actions des utilisateurs sur un média partagé et les observateurs chargés d'identifier les points d'attention, les bonnes et les mauvaises idées.

Vient ensuite la seconde partie du programme qui débute par une présentation sur la théorie du prototypage et une mise en perspective de leurs premières expériences. Au cours de cette première session sur le prototypage, les étudiants doivent utiliser des outils simplifiés pour aborder le prototypage : dessiner leur projet pour initier l'approche sur l'apparence, décrire le contexte narratif pour aborder le concept du rôle d'un prototype et réaliser une décomposition systématique de leur projet pour la partie opérationnelle/fonctionnelle du prototype.

À partir de cette session, les étudiants sont invités à travailler en autonomie sur le prototypage afin de valider l'intérêt de leur projet. On entre dans une série d'itérations ponctuées par les sessions au cours

desquelles il est demandé aux étudiants de dresser un état des lieux de leur prototypage qui est confronté à l'avis des enseignants. Ensuite, ils doivent réfléchir à l'itération suivante en utilisant l'approche itérative du *design thinking*, visant à rechercher l'amélioration selon les axes de faisabilité, de désirabilité et de viabilité. Au cours de l'une de ces itérations, les étudiants découvrent l'exercice du *Dark Horse*. C'est pour eux une opportunité positive de changer de projet en explorant une autre idée qu'ils peuvent préférer à leur idée initiale. Progressivement, les étudiants sont amenés à présenter leur projet sous forme d'un exercice de résumé où le prototype joue un rôle de support communicationnel pour discuter des différents paramètres du projet.

La dernière partie du programme vient compléter l'apprentissage du processus d'innovation, en intégrant des éléments comme les aspects de modèle d'affaires, l'éthique et d'autres éléments dépendant de la thématique abordée. Le programme se termine sur une présentation du projet devant une audience élargie avec le résumé comme principe communicationnel soutenu par les activités de prototypages.

Résultats et commentaires

Quelques exemples de prototypage

La figure 5.2 ci-contre présente différents cas de prototypage physique. L'image A montre une maquette d'implantation de la ville de Louvain-La-Neuve. L'utilisation de cette maquette d'architecte permet de simuler et de mieux comprendre les flux de circulations et les contraintes liées à la problématique de la mobilité dans la ville. L'image B représente un prototype fonctionnel de monitoring de cave à vin. Ce prototype permet de rapidement valider la faisabilité de la mise en œuvre d'un tel projet, mais également d'envisager le potentiel et les limites de la technologie sélectionnée.

Le prototype C a pour objectif de valider ou d'invalidier la cinématique de ce concept de trottinette pliable. Le prototype réalisé en FabLab mettra en évidence, à moindres coûts, quelques défauts de conception majeurs invisibles sur le logiciel de conception.

L'image D met en scène le rôle du prototype comme support communicationnel à l'occasion du résumé de présentation d'un projet de dispositif de panneau solaire à destination du Cameroun.



FIGURE 5.2 Exemples de prototype : A) Maquette d'implantation B) Dispositif fonctionnel de contrôle d'ambiance C) Trottinette pliable et D) Prototype de dispositif de panneau solaire.

Un premier bilan

En 2014, un relevé des perceptions des étudiants a été fait et a permis aux organisateurs d'adapter leur approche pédagogique (Bouvy *et al.*, 2015). Cette étude a mis en évidence le besoin de mieux outiller les étapes de réflexion et en particulier, le bilan de l'exercice d'échauffement. C'est ce qui nous a conduits à mettre en place la ligne des émotions. Cette étude a également été le point de départ pour clarifier les étapes du processus de façon à constamment amener les étudiants à prendre conscience des étapes par lesquelles ils passent.

Commentaires

Dans cette section, nous reprenons des verbatims extraits des rapports d'étudiants ou exprimés à l'occasion d'interviews.

Perception du rôle du prototypage

Pour commencer notre réflexion, nous avons voulu répondre à la problématique de la perception du rôle du prototypage par les étudiants. Le dispositif mis en place (voir la sous-partie Méthodologie) consiste dans un premier temps à confronter les étudiants à différentes formes de prototypage au travers d'une participation active à des activités proposées par les enseignants. Dans un second temps, les étudiants sont invités à créer et à tester leur propre expérience de prototypage. Dans ce contexte, les deux témoignages d'étudiants expriment la difficulté à s'engager dans le prototypage et témoignent de l'évolution de la perception du prototypage comme outil de validation vers un processus de développement progressif et continu.

Après avoir choisi la bonne idée vient la phase de prototypage. Le prototypage nous permet de tester des hypothèses rapidement avec un minimum de ressources. (...) J'ai appris durant cette phase que la barrière mentale pour aborder le prototypage était plus imposante que le prototypage en tant que tel. Le prototypage représentait pour moi le développement d'un objet pratiquement fini. Mais l'inverse m'a été démontré, plusieurs médias peuvent être utilisés, comme des maquettes digitales, de l'impression papier, des modèles 3D... Cette étape m'a réellement satisfaite, car l'idée initiale est devenue une idée tangible. De plus, au cours de cette phase, l'idée est continuellement adaptée pour s'adapter aux nouvelles contraintes rencontrées. (Étudiante 1)

Je n'ai jamais pensé au prototypage comme quelque chose de plus qu'un outil pour vérifier les propriétés physiques ou un objet à montrer aux investisseurs pour aider à vendre une invention. J'ai appris depuis que c'est bien plus. En fait, cela peut être utilisé pour vérifier les hypothèses faites au tout début de la réflexion, et permettre d'obtenir un retour des utilisateurs avant qu'il ne soit trop tard. De plus, je n'ai jamais réalisé le nombre de formes que pouvait prendre un prototype. Au début, je pensais le prototype comme le modèle carton d'une invention. Maintenant, je sais que cela peut prendre de nombreuses formes sur base de ce que l'on veut tester. (Étudiant 2)

Sélection de la technique de prototypage

La seconde partie de la réflexion a pour objectif d'aider les étudiants à sélectionner la technique de prototypage la plus adaptée à l'état d'avancement de leur projet et aux objectifs fixés. Pour répondre à ce

besoin, plusieurs outils sont mis à disposition des étudiants, comme la décomposition du concept selon différents aspects ou la reformulation de l'objectif sous forme d'hypothèse à tester. Cette partie reste délicate à aborder, car le processus d'innovation s'applique à toutes sortes de projets : produits, services ou procédés, et la sélection d'une stratégie de prototypage se fonde encore beaucoup sur l'expérience et la créativité de l'acteur de l'innovation.

Un étudiant témoigne de cette difficulté d'entrer dans un processus de prototypage, mais également de l'importance de la motivation pour aborder la tâche de manière constructive.

Au cours du premier atelier de prototypage, j'étais dubitatif sur l'utilité de réaliser un prototype. J'avais ce sentiment car je ne comprenais pas très bien l'objectif final. De plus, j'ai rencontré des difficultés à identifier le type de prototype à réaliser. Finalement, nous avons appris beaucoup de ceci. De fait, j'ai découvert que le groupe n'était pas réellement motivé par notre idée. Donc, après l'atelier, j'ai repensé le problème depuis le début pour arriver à une autre solution qui susciterait plus d'enthousiasme de la part du groupe. À partir de là, nous avons essayé à nouveau de prototyper, ce qui nous a permis d'identifier les points faibles de notre idée. Conscients de ces faiblesses, nous avons pu réfléchir à les éliminer et rendre notre projet meilleur. (Étudiant 3)

On retrouve régulièrement la variété de techniques disponibles dans les rapports. Ici, l'extrait d'un étudiant dont le groupe a exploité le potentiel du prototypage sous différentes formes dans le cadre d'un projet de station de vélos rechargeables :

Nous avons appris qu'il y avait différentes manières d'aborder le prototypage : prototype visuel, preuve de concept, prototype de présentation...

- Un modèle 3D d'une station vélo complète nous a permis d'avoir une vision globale de notre solution pour avoir une idée plus précise en termes de dimensions, de matériaux et d'esthétique.
- Un mécanisme en taille réelle de notre dispositif de fixation des vélos : ce type de prototype est très intéressant d'un point de vue mécanique, le dispositif de suspension nous apparaissait très simple au premier regard, mais ce premier prototype nous a fait prendre conscience de certaines contraintes que nous n'aurions pas considérées dans d'autres conditions.
- Une analyse comparative des données de durée de trajet à partir des différentes villes entourant Louvain-La-Neuve en fonction du type de

transport: il s'agissait d'un protocole simple et bon marché car uniquement basé sur les informations de Google maps. Dans certains cas, cela peut être suffisant pour démontrer les chances de succès de notre solution. (Étudiant 4)

Accompagnement

Dans le registre de l'accompagnement, le rôle du feedback est prioritaire.

En tant qu'étudiants ingénieurs, nous sommes parfois accaparés par le procédé de création et dessin d'une nouvelle solution. L'empathie avec l'utilisateur n'est pas un sujet couvert dans beaucoup de cours et j'ai réellement apprécié le fait de prendre le temps de se rappeler pour qui on travaille. Nous avons eu deux séminaires sur le «pitch» et le «discours en public» qui m'ont réellement aidé... Presque chaque semaine, nous avons à présenter quelque chose et nous recevions un retour sur la présentation... Ceci m'a réellement aidé à m'améliorer et à me sentir un peu plus confiant à l'idée de parler en public. (Étudiant 5)

À l'issue du retour sur expérience exploitant la ligne des émotions, des étudiants se confient à leur tuteur pour exprimer l'intérêt de l'activité.

Je ressentais un malaise avec notre prototype, mais je ne savais pas pourquoi. Avec la ligne des émotions, je me suis rendu compte que je n'étais pas le seul à avoir ce malaise. Nous avons alors discuté des raisons de nos ressentis. (Étudiant 6)

Conclusion

Ce chapitre visait à apporter un éclairage sur les challenges liés au prototypage dans une démarche de type *design thinking*. Le choix d'un dispositif pédagogique basé sur la conduite de projet, incluant le prototypage à différentes étapes du processus, nous semble remplir ses promesses. Toutefois, un certain nombre de conditions doivent être respectées pour assurer l'apprentissage.

Le sujet, objet du challenge, doit respecter un certain nombre de contraintes liées à la motivation et la recherche de sens (authenticité), mais aussi vis-à-vis de l'intérêt même du prototypage. Idéalement, il doit permettre de mettre en place un prototypage lors des différentes étapes du processus. Cette notion de recherche de sens est

fondamentale et doit se construire sur la motivation intrinsèque qui est à la base des pédagogies actives (Raucent *et al.*, 2013; Vanpee *et al.*, 2010). La mise en place d'une bonne séquence Contextualisation-Décontextualisation-Recontextualisation est une des clés du succès (Raucent, 2022).

Les groupes de travail doivent avoir une composante interdisciplinaire marquée afin d'assurer une diversité et une complémentarité, mais surtout en vue de faire sortir chaque membre de sa zone de confort. C'est sur une base de points de vue variés que l'on envisage plus facilement de réaliser des prototypes dans un domaine qui n'est pas le sien. La qualité des interactions entre les étudiants constitue une deuxième clé du succès. Les interactions doivent se concentrer sur la résolution de conflits cognitifs et leur régulation épistémique (Butera *et al.*, 2011; De Clercq, 2020). Le métissage des étudiants est un atout pour la qualité du travail en groupe.

L'accompagnement tout au long du processus doit assurer une certaine bienveillance et assurer un feedback de qualité. Il s'agit également d'encourager la réflexivité et la métacognition. Ainsi, la troisième clé du succès est la posture des accompagnateurs (Milgrom *et al.*, 2021).

Enfin, la quatrième clé est l'exploitation d'outils d'aide à la réflexivité. À ce titre la « ligne des émotions » est un outil utile pour initier le travail réflexif individuel, mais aussi et surtout collectif (Verzat et Lecoq, 2021).

Stéphane Foliard, Sandrine Le Pontois,
Florence Courtade & Évelyne Lefèvre

Apprendre à entreprendre: sortir « hors les murs » 6 grâce au prétypage

Résumé

L'objectif de ce chapitre est de mieux comprendre l'utilisation par les étudiants du prototypage rapide, ou prétypage, dans des programmes d'éducation en entrepreneuriat. Nous étudions trois dispositifs pédagogiques proposés à l'Institut universitaire de technologie (IUT) de Roanne: deux visent spécifiquement des étudiants de deuxième année (Gestion des entreprises et des administrations, et Techniques de commercialisation) et un programme européen intitulé ECMT+ (Entrepreneurship and Communication in Multicultural Teams), accueillant des étudiants de sept universités partenaires. Chacun de ces programmes utilise le prétypage (une version brute ou inachevée du produit ou service en phase de création) comme une étape importante de la phase de créativité et d'idéation. Notre objectif est ici de mieux comprendre comment cet artefact peut aider les membres de l'équipe à partager une même vision du projet et comment il peut faciliter l'insertion dans l'environnement d'affaires. Pour ce faire, nous avons mené une triple étude qualitative à partir d'essais réflexifs et d'entretiens semi-directifs. Nos résultats montrent que la phase de prétypage est un moment d'échanges privilégiés dans l'équipe permettant un alignement des points de vue sur le projet et le travail à faire. Nous montrons également que l'artefact, produit du processus de

prototypage, facilite l'insertion dans l'écosystème en amenant la discussion sur l'objet et la solution qu'il représente plutôt que sur les étudiants entrepreneurs novices.

Introduction

Considéré comme une solution pour l'insertion professionnelle, que ce soit en contexte de crise ou de croissance, l'entrepreneuriat est au cœur des agendas politiques et constitue la première des trois zones d'intervention immédiate requises par l'Union européenne en 2013⁷. Les impacts attendus chez les étudiants sont des modifications positives de leurs connaissances, habiletés, attitudes et compétences par le développement de l'esprit d'entreprendre et de l'intention d'entreprendre, conduisant à davantage de création de valeur, sous toutes ses formes (Nabi *et al.*, 2017).

L'entrepreneuriat est caractérisé par l'incertitude et en matière d'enseignement, il se distingue d'autres matières connues des étudiants et considérées comme plus prédictibles ou objectives. En effet, une de ses particularités est que le résultat de l'action-apprentissage n'est pas connu à l'avance (quel produit ou service? pour quel utilisateur?), qu'il peut donc être inattendu et qu'il s'inscrit dans un environnement contingent, par nature mouvant et incertain, et qui nécessite l'adaptation permanente à certains événements fortuits ou imprévisibles. L'entrepreneuriat appelle à la pratique et à l'apprentissage expérientiel. Dans une approche effectuale⁸ (Sarasvathy, 2001) sollicitant leur autonomie, les étudiants mobilisent leur créativité pour choisir une stratégie cohérente avec les moyens dont ils disposent, les effets imaginés et l'action qui en découle. Pour créer leur organisation, les étudiants doivent effectuer un apprentissage précis qui est le véritable objectif (Toutain, 2010). Pour faire face à l'ampleur de la tâche à accomplir, créer une entreprise, ces projets entrepreneuriaux sont proposés à

⁷ Voir « Entrepreneurship 2020 Action Plan », European Commission, 2013.

⁸ L'effectuation est un concept qui a été développé par Saras Sarasvathy en 2001. Alors qu'elle cherchait à comprendre le processus décisionnel des entrepreneurs, elle a mis au jour avec son étude cinq principes qui décrivent comment pensent, décident et agissent les entrepreneurs pour créer des opportunités et gérer l'incertitude: 1/ « un tiens vaut mieux que deux tu l'auras » (faire avec ce que l'on a, ici et maintenant), 2/ « la perte acceptable », 3/ « le patchwork fou » (construire avec des parties prenantes pour atteindre un nouveau but, encore inconnu jusque-là), 4/ « tirer parti des surprises » (créativité pour retourner un désagrément en avantage stratégique) et 5/ « le pilote dans l'avion » (les entrepreneurs cherchent à créer l'avenir plutôt qu'à le prévoir; notion d'action créatrice).

des équipes étudiantes. L'éducation à l'entrepreneuriat se caractérise par la volonté de développer des connaissances et des compétences à prescription ouverte pour faire face à des situations-problèmes issues de l'environnement d'affaires réel. Pour correspondre à la réalité des écosystèmes entrepreneuriaux et développer des connaissances, compétences et attitudes authentiques, au sens de celles utilisées par les entrepreneurs eux-mêmes, les dispositifs d'éducation en entrepreneuriat⁹ nécessitent d'exposer l'étudiant à cet environnement d'affaires qui se trouve « hors les murs » de l'université (Lackéus, 2020; Neck et Corbett, 2018; Neck et Greene, 2011). Cela permet à l'individu en situation d'entrepreneur de s'informer autant que possible pour saisir les opportunités et de réduire la nature imparfaite de l'information disponible (Knight, 1921). Cette démarche de collecte d'information permet également d'identifier les ressources nécessaires à la réalisation du projet et, ce faisant, de réduire le risque perçu. L'exposition à l'environnement d'affaires permet enfin de confronter l'idée à un marché. Ainsi, l'éducation à l'entrepreneuriat a pour objectif de faire vivre aux étudiants une expérience par la pratique et de transformer les pratiques en ressources pour de nouvelles pratiques. La démarche réflexive qu'elle suppose permet de mettre à profit l'expérience vécue et d'engager un processus itératif et des boucles d'apprentissages (Argyris, 2002). Travailler en équipe et investir l'écosystème représente deux leviers forts du développement de l'apprentissage. Cela constitue également deux difficultés que les étudiants doivent surmonter. D'une part, pour travailler en équipe, ils doivent partager une certaine vision du projet et de nombreuses tensions peuvent naître d'incompréhensions non levées par la communication interpersonnelle, les étudiants ne mettant pas forcément les mêmes réalités derrière les mots utilisés. D'autre part, les étudiants doivent être capables de présenter leur idée, leur projet et leurs besoins de manière convaincante aux acteurs de l'écosystème pour trouver l'information et les ressources dont ils ont besoin.

Force est de constater que l'alignement entre les objectifs d'apprentissage (connaissances, habiletés, attitude, compétences, esprit d'entreprendre, création d'entreprise et de toute forme de valeur), les contenus et modalités (apprentissage expérientiel et par la pratique,

⁹ Nous traitons dans notre étude plus particulièrement de la forme d'éducation « en entrepreneuriat » (Hoppe *et al.*, 2017; Pittaway et Cope, 2007; Samwel Mwasalwiba, 2010), c'est-à-dire d'une forme expérientielle, orientée vers l'action, ancrée dans l'écosystème d'affaires local et invitant les étudiants à agir « hors les murs », c'est-à-dire hors de l'université.

dans et « hors les murs »), et les preuves d'apprentissage (création de valeur, commercialisation, diversité des activités) reste difficile à obtenir au regard de la complexité d'un processus entrepreneurial par essence inédit. Dans ce contexte particulier et pour lever les deux difficultés décrites (le développement des compétences et l'insertion professionnelle), nous avons construit trois dispositifs d'éducation en entrepreneuriat incluant le *design thinking*. Il s'agit d'une approche de résolution de problèmes créative, itérative et pratique centrée sur l'humain et fondée sur la collaboration (Brown, 2008). Pour tester au plus tôt l'idée des étudiants, comprendre comment elle est accueillie par les clients et partenaires potentiels et coconstruire le projet avec eux, les dispositifs comprennent tous une phase pratique de prototypage « *quick and dirty* » (Scheinrock et Richter-Sand, 2013) qui répond à plusieurs objectifs d'apprentissage :

- 1) rendre tangible l'idée d'affaires grâce à la production d'un artefact (Simon, 1969) constituant une ressource pour présenter le projet entrepreneurial à des tiers ;
- 2) renforcer chez les étudiants le sentiment d'appartenance à leur équipe en leur permettant de partager une même vision du projet autour d'une production commune (Mayo et Woolley, 2016) ;
- 3) faire pivoter¹⁰ leur idée d'affaires grâce à la pratique réflexive (Schön, 1983) en fonction des retours issus de l'expérience utilisateur.

Contexte et problématique

Les trois dispositifs pédagogiques étudiés sont des formations d'éducation par l'entrepreneuriat et en entrepreneuriat (formes « *through* » and « *in* » *entrepreneurship*), en équipes étudiantes (quatre à six étudiants). Ils se déroulent à IUT de Roanne et dans des universités européennes partenaires (Université des sciences appliquées de Karelia, Joensuu, Finlande ; Université technologique de Wildau, Allemagne) :

« La farandole créative », module de cours obligatoire « Entrepreneuriat » en seconde année de diplôme universitaire de technologie (DUT) Techniques de commercialisation (25 h/semestre), 1,5 ECTS (*European Credits Transfer and accumulation System*) ;

¹⁰ En entrepreneuriat, « pivoter » signifie modifier l'idée d'affaires originale (à la marge, modérément ou complètement – nouvelle idée d'affaires). Il n'est pas rare qu'une idée d'affaire *princeps* pivote un grand nombre de fois avant de se stabiliser.

« Campus des entrepreneurs », module de formation électif pouvant entrer dans le module « projet tuteuré 2^e année » (tous DUT de l'IUT de Roanne, dix mois, création réelle d'entreprises sous format associatif), 8 ECTS;

« ECMT+ : Entrepreneurship and Communication in Multicultural Teams », consortium Erasmus+ 2016-2019 : module de formation électif sur sélection linguistique (4 ECTS, quinze jours en présentiel et l'équivalent de quatre jours en distanciel en équipe interculturelle, de bac+ 2 à bac+ 4, 21 nationalités accueillies au cours des trois années de consortium).

Pour transformer leurs idées en actions, développer leur projet et créer de la valeur sous toutes les formes, nos dispositifs invitent les étudiants à investir cet environnement d'affaires et les accompagnent à sortir « hors les murs » pour recueillir un retour utilisateur, rencontrer des fournisseurs et des partenaires potentiels. Les trois dispositifs reposent sur une approche *design thinking* (partir du besoin de l'utilisateur potentiel) pour élaborer une idée d'affaires, que ce soit un produit ou un service. Le principe est de proposer une solution à un problème vécu par un client potentiel. Mais comment savoir si c'est la bonne solution dès lors que le client vivant le problème n'a aucune idée de la manière de le résoudre ni aucune connaissance de la solution imaginée par les étudiants ? Il va falloir engager la conversation avec lui pour présenter le projet et recueillir son avis, l'usage qu'il pourrait en faire et la véritable valeur que le projet peut lui apporter. Un support de communication est nécessaire. Le cadre d'apprentissage est formalisé et ouvert (Bornard et Briest-Breda, 2014). Les étudiants connaissent les grandes étapes (identifier un problème, trouver une idée incluant une proposition de valeur pour une cible précise, imaginer leur modèle d'affaires, etc.). Chaque dispositif comporte ainsi une phase consacrée au prototypage. Cette démarche permet de créer un support visuel pour montrer et non pas juste énoncer, ce qui est un des principes du *design thinking*. Elle permet de « sortir les idées de la tête » pour les mettre en pratique, pour interagir avec les membres de l'équipe ou les futurs utilisateurs. Ces interactions permettent d'engager l'interlocuteur, de gagner en empathie (meilleure connaissance du problème et du client), de tester les hypothèses sur lesquelles repose le projet et ainsi de concevoir des solutions adaptées. Il n'y a pas besoin d'un haut niveau de raffinement, l'idée maîtresse étant d'investir l'écosystème pour collecter de l'information

sur l'expérience utilisateur à l'aide de supports simples et bon marché (*scrapbooking*, maquette...). Aucun des étudiants n'a expérimenté ce type de travail auparavant, qui plus est en autorégulation au sein d'une équipe.

Pour être opérantes à long terme, c'est-à-dire après l'exposition à l'expérience entrepreneuriale vécue dans le dispositif, les pratiques entrepreneuriales doivent être éclairées par une démarche réflexive (Hägg *et al.*, 2016). C'est l'interaction entre les expériences vécues et les phases réflexives qui construisent chez les étudiants leurs connaissances et compétences entrepreneuriales, alors mobilisables pour les futures expériences. Nos dispositifs comportent ainsi des temps de pratique réflexive de natures variées.

Concernant les deux difficultés soulevées précédemment, la littérature nous apporte certaines connaissances sur l'intérêt, mais aussi les difficultés de l'insertion des étudiants dans les écosystèmes (Le Pontois et Foliard, 2018; Toutain *et al.*, 2019), sur les compétences développées ou sur la problématique du travail en équipe étudiante entrepreneuriale (Foliard et Le Pontois, 2017). Si la démarche de *design thinking* est à présent plus largement utilisée dans les projets entrepreneuriaux étudiants (Glen *et al.*, 2014) et popularisée dans des outils comme le *lean start-up*, nous ne savons que peu de choses de l'intérêt du prototypage sur le fonctionnement de l'équipe et sur la capacité de ses membres à faire ce qui est attendu : investir l'écosystème pour créer une entreprise. Pour comprendre comment le prototypage utilisé dans les trois dispositifs impacte l'avancée du projet, nous avons réalisé une recherche qualitative. Notre présentation de cette recherche commence par les concepts sur lesquels s'appuie notre questionnement. Nous présentons ensuite la méthodologie utilisée puis nos résultats, dont nous proposons la discussion.

Concepts

L'objectif de l'éducation à l'entrepreneuriat est de développer trois éléments essentiels : le capital humain des étudiants (Delanoë-Gueguen, 2015) avec un état d'esprit entrepreneurial de développement (Dweck, 2008), des compétences (Lackéus, 2015; Lans *et al.*, 2008) et des connaissances nées de l'action (Frese, 2009). Ces pratiques tendent à se multiplier et impliquent de plus en plus les acteurs de l'écosystème entrepreneurial local (Kuckertz, 2019). Les trois dispositifs étudiés ici

s'inscrivent dans l'éducation à l'entrepreneuriat. Pour Lackéus (2020), ces pédagogies produisent les meilleurs effets quand elles sont expérientielles, quand les étudiants mettent la main à la pâte. Dans la typologie qu'il propose, deux des programmes (« ECMT+ » et « La farandole ») sont fondés sur le processus d'idéation (Kier et McMullen, 2018). Cela implique de la part des étudiants un processus d'identification ou de création d'opportunités. Le troisième programme (« Campus des entrepreneurs ») correspond davantage au processus de création d'une organisation au sens de Gartner (1990), dont le point de départ est également cette perception d'opportunité. Pour pouvoir échanger sur l'idée d'affaires entre membres de l'équipe puis la présenter à un utilisateur potentiel, les étudiants sont amenés à utiliser des artefacts. Dans une approche fonctionnaliste, Herbert Simon (1969) définit l'artefact comme une entité, un objet conçu pour répondre à un besoin, architecturé par son ou ses concepteurs dans une dynamique de reconceptions successives au fur et à mesure de son usage. L'artefact sert à ses concepteurs à expliciter d'une part le besoin qu'il est censé satisfaire et d'autre part à présenter les fonctionnalités de l'objet, les solutions possibles. L'architecture de l'artefact s'entend pour Simon comme l'adéquation des solutions au(x) problème(s) à résoudre. Cette approche a été largement développée dans les sciences du design. Bien que l'intérêt d'introduire le design et l'interdisciplinarité dans des programmes d'éducation à l'entrepreneuriat semble être nouveau, Simon (1967; 1969) a plaidé en faveur d'une telle intégration il y a plus de cinquante ans (1967). Dans leur pratique professionnelle, les designers (architectes, urbanistes, concepteurs de produits, etc.) se sont écartés de manière assez spectaculaire et significative du paradigme traditionnel de la résolution rationnelle des problèmes et, pour faire face à un environnement incertain, ils ont développé des répertoires de connaissances tacites dérivées de l'apprentissage expérientiel personnel et de la réflexion en action (Glen *et al.*, 2014). Une des particularités de l'entrepreneuriat est que les créateurs ne sont jamais sûrs que leur innovation va trouver un marché. Les étudiants en situation d'entrepreneurs ne sont souvent pas capables de définir complètement le problème avant de tester leurs solutions. De plus, les clients ou les utilisateurs ne savent souvent pas ce qu'ils veulent réellement tant qu'ils n'ont pas vu ou essayé la nouvelle proposition. La compréhension du problème et la définition de la solution évoluent alors conjointement. Cette attention aux besoins de l'utilisateur est une caractéristique du

design thinking (Brown, 2008). Pour comprendre les besoins des utilisateurs, les étudiants doivent gagner en empathie, voir le monde à travers les yeux de ces utilisateurs, en écartant leurs présuppositions. Ils doivent donc entrer en conversation avec eux et présenter leur idée pour essayer de collecter des retours les aidant dans le processus itératif de conception. À l'instar des designers, ils peuvent transformer l'information en supports visuels. Cela permet des interconnexions plus concrètes de signes, de choses, d'actions et de pensées. Les esquisses, les maquettes ou les plans servent à surmonter les limites des propositions verbales ou symboliques, sources de perturbation ou de confusion (Buchanan, 1992).

La création de prototypes, même avec des premières esquisses brutes et inachevées (prototype papier ou prétypes), joue également un rôle clé dans le processus de conception. Les premiers modèles appellent au développement, clarifient les caractéristiques de l'idée et la rendent plus facile à examiner et à commenter.

Que ce soit entre les membres de l'équipe ou face à un utilisateur potentiel, ces prétypes sont des supports de communication. Un des adages du *design thinking* est d'« échouer tôt pour réussir plus tôt ». Chaque proposition de l'équipe est une hypothèse qui doit être testée. L'artefact que constitue le prétype est le véhicule de la conversation qui s'engage avec l'utilisateur pour lui présenter la solution et recueillir son avis. Dans un processus itératif, les étudiants gagnent en compréhension du problème qu'ils souhaitent collectivement résoudre.

Dispositifs réalisés

Les trois dispositifs étudiés visent à créer une proposition de valeur et à la tester auprès d'une population cible. Pour « La farandole » et pour « ECMT+ », les projets étudiants restent fictifs, mais se veulent le plus proche possible d'une idée commercialisable. Pour « Campus des entrepreneurs », le projet se concrétise en une entreprise réalisant de réelles transactions avec ses clients et fournisseurs. Les trois programmes partagent les phases d'idéation en équipe et de formalisation de l'idée d'affaires. Seul « Campus des entrepreneurs » amène à la gestion quotidienne. Une phase partagée très importante est la validation de l'idée par le marché.

Pour cela, chaque équipe conçoit un artefact (Sarasvathy, 2001; Simon, 1969) sous forme de prototype dans le premier quart du dispositif, comme support à la présentation de son idée d'affaires à des utilisateurs tests. Ce prototype peut revêtir des formes très variées suivant le projet. Les étudiants ont à leur disposition une mallette créative avec des outils simples (ciseaux, colle, post-it, feutres, papier, carton, etc.). Certains ont également pu utiliser des imprimantes 3D ou de la découpe laser de bois. Du dessin à main levée au site internet, en passant par les maquettes, les possibilités sont très nombreuses. Le support doit bien entendu correspondre au projet. Toutefois, ce n'est pas la représentation fidèle qui est recherchée, mais bien un objet transitionnel (Foliard et Le Pontois, 2017) permettant de faire passer une idée et d'engager une discussion autour d'un problème et de la proposition de valeur présentée et censée le résoudre. L'objet sert d'élément de transformation des idées en projet concret et identifiable. Le prototype cristallise les enjeux de l'idée d'affaires, devient un outil pour sortir « hors les murs » en constituant un support de communication pour présenter l'idée et recueillir les retours utilisateurs potentiels. Il est aussi un outil pour le développement des connaissances entrepreneuriales (Bacigulpo *et al.*, 2016). Les étudiants disposent de cinq heures pour tester leur idée à l'extérieur de l'université (« ECMT+ » et « La farandole créative »), ou de trois semaines pour « Campus des entrepreneurs », renouvelables plusieurs fois si besoin dans un processus itératif. Grâce à leur prototype, ils présentent leur idée aux acteurs du monde réel, qui ne connaissent ni les étudiants, ni le projet, ni le dispositif. L'artefact permet un décentrage : les étudiants ne se mettent pas en jeu personnellement lorsqu'ils présentent l'idée, ils soumettent un prototype à l'évaluation de leurs utilisateurs potentiels ou utilisateurs-tests. Les étudiants confrontent leurs certitudes aux retours des utilisateurs, potentiellement générateurs d'incertitudes, et peuvent faire pivoter leur idée d'affaires, c'est-à-dire la modifier pour être plus pertinente au regard de leurs objectifs. Le processus itératif de confrontation des idées au marché est présenté dans la figure 6.1.

Si ce dispositif de prototypage semble efficace dans les trois formations étudiées, nous avons souhaité comprendre son rôle dans le processus d'apprentissage des connaissances, compétences, habilités et attitudes qui permettront à un étudiant de créer sa propre entreprise.

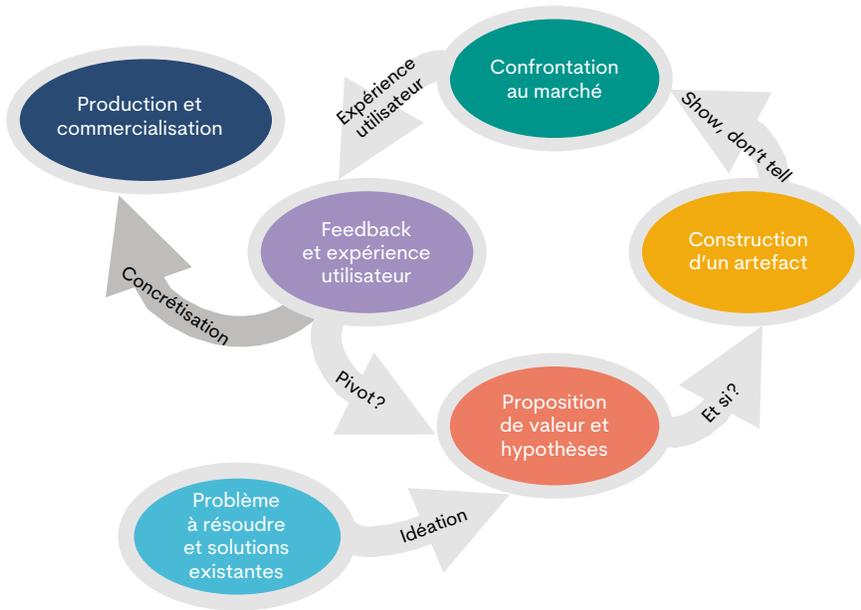


FIGURE 6.1 Processus entrepreneurial itératif prototypage.

Méthode

Comme nous savions peu de choses sur le rôle du prototype dans le processus d'apprentissage, nous avons choisi de poursuivre notre étude de manière inductive pour comprendre, décoder, traduire et donner du sens aux actions des étudiants (Van Maanen, 1979). Nous nous appuyons sur une approche qualitative et interprétative (Corley et Gioia, 2004) et sur une posture constructiviste pragmatique. Chacun des dispositifs présentés a ainsi fait l'objet d'un programme de recherche pour comprendre son impact et son efficacité au regard des objectifs d'apprentissage initiaux. En fonction des dispositifs, de leur nature et des possibilités de recherche dont nous avons pu disposer, nous avons adapté notre outil de collecte. Nous avons utilisé des essais réflexifs rédigés par les étudiants en fin de module à partir d'un guide semi-directif (deux pages) pour «ECMT+» et «La farandole créative». Nous avons également utilisé les prototypes réalisés, les supports visuels, les présentations des étudiants et les vidéos des entretiens réalisés avec des utilisateurs potentiels. À cela s'ajoutent les témoignages des enseignants et les dossiers terminaux réalisés par les

étudiants. Pour «Campus des entrepreneurs», nous avons utilisé les mêmes matériaux auxquels s'ajoutent des entretiens semi-directifs en lieu et place des essais réflexifs. Chaque support a été retranscrit et intégré dans une base Nvivo. Dans tous les cas, nous avons demandé aux étudiants un retour sur leur expérience et comment ils se sont approprié les outils mis à leur disposition, comment ils ont vécu les principales phases ou événements ayant marqué leur progression. Chacun de nos outils de collecte de données a intégré le prototypage dans les deux points qui nous intéressent particulièrement ici : le travail en équipe et l'accès à l'écosystème. Le tableau 6.1 reprend les caractéristiques des échantillons étudiés.

TABLEAU 6.1 Présentation synthétique des trois dispositifs étudiés.

Dispositif	Discipline d'enseignement	Niveau d'études	Genre	Temps d'apprentissage ECTS	Nombre d'étudiants Pratique réflexive	Encadrement
Campus des entrepreneurs	Entrepreneuriat (option/projet tuteuré spécifique)	Bac + 2	24 femmes 20 hommes	10 mois 4 ECTS électif	44 Entretiens en autoconfrontation croisée	2 enseignants-chercheurs français (entrepreneuriat)
La farandole créative	Entrepreneuriat (obligatoire)	Bac + 2	43 femmes 41 hommes	6 semaines 1,5 ECTS obligatoire	84 Essais réflexifs	3 enseignants-chercheurs français (entrepreneuriat)
ECMT+ Entrepreneurship et Communication in Multicultural Teams (2016-2019)	Entrepreneuriat Communication interculturelle Gestion de projet Anglais	Bac + 2 (IUT) Bac + 3 Bac + 4 (autres formations)	54 femmes 66 hommes	5 mois 4 ECTS électif sur sélection (langue)	3 cohortes de 40 étudiants (2016-2019) Journal réflexif	21 enseignants par année (3 par université) en entrepreneuriat, économie, anglais, sociologie, psychologie et histoire. Interventions ponctuelles d'entrepreneurs

À l'aide du logiciel Nvivo, nous avons commencé notre analyse par un codage primaire ouvert des entretiens retranscrits et des essais réflexifs à partir de mots ou expressions clés reflétant comment les étudiants percevaient le prototypage. Pour effectuer cette analyse initiale des données, nous avons essayé de maintenir l'intégrité du codage conceptuel de premier ordre (Gioia *et al.*, 2013) en utilisant

des codes *in-vivo* (Corbin et Strauss, 1990) ou de simples phrases de description (Corley et Gioia, 2004). Nous avons commencé un travail de catégorisation et de définition des codes de premier niveau (Glasser et Strauss, 1967) à partir des expressions et des mots utilisés par les étudiants. Nous avons ensuite réalisé un travail d'abstraction par codage secondaire axial pour identifier de manière inductive les thèmes de second ordre que nous avons également catégorisés. Le codage final, par son agrégation finale, nous permet de donner du sens à partir de la structure de données. Le tableau 6.2 reprend la démarche d'analyse des données. La figure 6.2 reprend quant à elle la structure des données.

TABLEAU 6.2 Démarche de codage.

Niveau de codage	Codage primaire	Codage secondaire	Codage final
Démarche d'interprétation	Qualification de la perception et du ressenti de la part des étudiants	Attribution de sens commun et regroupement par différenciation et similitude	Catégorisation des groupes et identification du sens
	De quoi parlent les étudiants		
	Comment les étudiants en parlent		

Résultats

Les informations recueillies sont d'une grande richesse et apportent de nombreux éclairages sur le processus d'apprentissage des étudiants en situation d'entrepreneurs. Nous nous concentrons ici sur la place du prototypage dans ce processus. De manière générale, la grande majorité des étudiants présente cette étape du prototypage et du test de l'idée dans l'écosystème comme un bon moment. Ils ont pris du plaisir à construire ensemble leur artefact, à fabriquer une vision concrète du projet, à découper, coller, assembler, activités qu'ils n'ont pas eu l'occasion de faire depuis longtemps et qui ont donné lieu à de nombreuses discussions.

Le travail d'abstraction que nous avons réalisé fait ressortir deux grandes dimensions dans l'interprétation du prototypage au sein des trois dispositifs d'éducation en entrepreneuriat. Les étudiants l'ont utilisé pour partager une vision du projet et des détails de ce qu'il devait être.

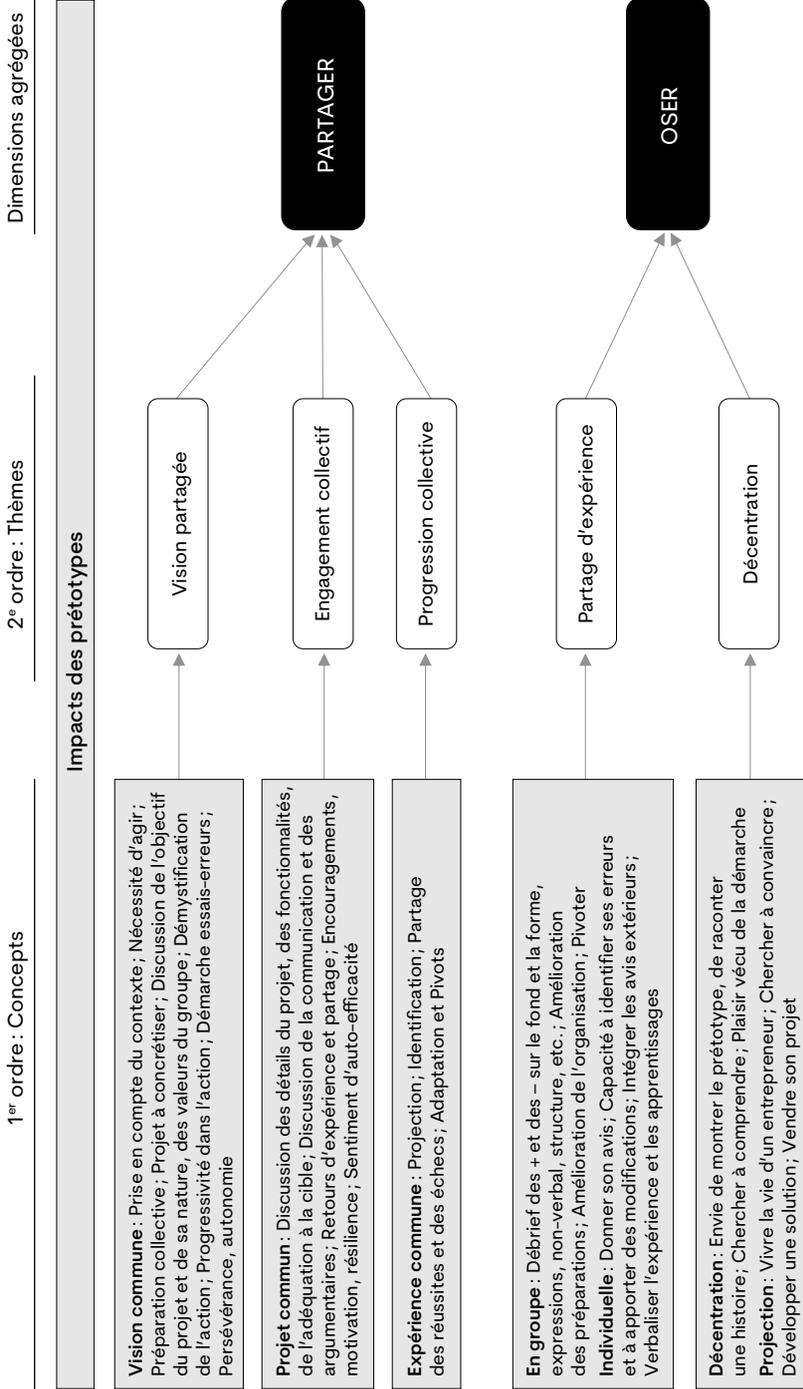


FIGURE 6.2 Structure des données – Impacts des prétypes.

L'artefact les a également aidés à investir l'écosystème. Pour rester au plus près des données, nos résultats sont présentés à partir des verbatim des étudiants (tableaux 6.3 et 6.4).

Le préprototype comme vecteur de communication et de partage

TABLEAU 6.3 Verbatim illustrant la dimension «partager».

Dimension	Verbatim étudiants
Partager	«Le projet a émergé très vite, il a suscité l'enthousiasme du groupe et nous avons décidé de nous lancer avec notre fraîcheur et notre enthousiasme dedans.» (10.1 ¹¹)
	«Ce qui m'intéressait particulièrement était le fait d'innover ensemble, travailler en équipe pour un projet commun, commencer de rien et voir jusqu'où cela allait nous mener.» (2.2)
	«Le groupe s'est un petit peu divisé puisque certaines personnes voulaient poursuivre cette idée et d'autres personnes voulaient réfléchir sur quelque chose d'autre.» (16.3)
	«Tous les membres de l'équipe ont été proactifs et ils aimaient travailler sur le projet, je pense. Il y avait beaucoup d'échanges, de communication et nous fournissions un travail de qualité.» (8.2)
	«Et finalement... ça a payé, à force de recommencer, de remodeler notre projet dans tous les sens, nous avons réussi à trouver et à convaincre.» (2018CF1)
	«On était super contents de pouvoir montrer notre modèle de sweat réfléchissant, on avait vraiment envie de les fabriquer et de commencer à les vendre.» (2019BF1)
	«Sans elle [une équipière plus à l'aise en négociation], je n'y serais jamais allé, je ne savais pas comment faire, j'avais bien trop peur.» (2018BF2)

La démarche entrepreneuriale nécessite la production d'une idée. Dans les délais contraints par nos dispositifs, surtout dans «ECMT+» et «La farandole», cette phase est souvent réduite à un *brainstorming* individuel puis collectif. Les étudiants n'ont aucune difficulté à trouver des idées à partir de problèmes qu'ils envisagent de résoudre et

¹¹ Nous avons utilisé trois codes différents pour anonymiser les réponses. Pour «ECMT+» et «La Farandole», nous avons donné un numéro d'équipe puis un numéro à chaque membre (ex: 10.1). Pour «Campus des entrepreneurs», nous avons repris l'année, le numéro d'équipe, le sexe et le numéro de l'étudiante (ex: 2018CM1). Nous avons codé les commentaires des accompagnateurs avec l'année et un numéro (ex: 2018.1).

passent rapidement dans un mode projet. Cet enthousiasme est lié à la nouveauté de la démarche et à l'espace de liberté que la création permet. Le travail en équipe peut toutefois être difficile, particulièrement dans le choix de l'idée finale. Ces tensions sont courantes et les dispositifs sont outillés pour en limiter l'impact (Foliard et Le Pontois, 2017). Les observations des accompagnateurs montrent que ces tensions diminuent avec l'utilisation des artefacts comme supports de la discussion : « l'atelier de construction de leur maquette était très joyeux, les étudiants se sont naturellement organisés pour la réaliser, tous se sont investis dans la démarche et ils ont beaucoup échangé sur l'idée dans une réelle bonne humeur. » (2018.1) Cette phase est assez peu présente dans les verbatim, les étudiants ne percevant pas forcément la quantité, la nature et l'importance de leurs échanges à cet instant dans l'avancée de leur vision commune du projet. Ils expriment davantage le résultat que la manière d'y parvenir. La réalisation de ce prototype plus ou moins abouti génère des émotions positives sur lesquelles les étudiants peuvent capitaliser pour avancer ensemble. Les accompagnateurs notent également l'importance des échanges sur les détails du projet et sur le sens que les étudiants souhaitent lui donner :

Les étudiants ont beaucoup discuté de comment faire leur prototype, avec quel matériau pour que ce soit joli. Ils ont surtout beaucoup parlé de leur solution et comment ça marchait, comment chaque fonctionnalité apportait une réponse au problème. Chacun y allait de son commentaire et finalement, tous partageaient la même vision. (2019.2)

La phase de prototypage les a beaucoup aidés à se préparer à aller dehors pour présenter leur projet, ils ont discuté des arguments, des éléments à mettre en avant, etc. (2020.1)

En effet, au-delà de la production d'un support utile pour créer une vision commune du projet, l'artefact a pour mission, dans les trois dispositifs, d'aller chercher des informations dans l'écosystème. Cette phase n'est pas souvent appréhendée, les étudiants n'étant pas habitués à ce genre de démarche et doutent de leur capacité à le faire individuellement.

Le prétype pour présenter le projet et recueillir les avis

TABLEAU 6.4 Verbatim illustrant la dimension «oser».

Dimension	Verbatim étudiants
Oser	<p>«Ce qui m'a motivé au tout début c'était d'aller vers l'inconnu.» (2018BF3)</p> <p>«À force de le voir faire j'ai réussi à comprendre comment il fallait faire.» (2020DM1)</p> <p>«On se présentait comme des étudiants voulant créer une entreprise et on montrait tout de suite notre produit, ils voyaient bien ce qu'on voulait faire.» (35.2)</p> <p>«Les consommateurs ont émis leur grand intérêt envers un système qui permettrait de faire remonter les chips sans avoir à plonger leurs bras, mais l'idée du ressort leur paraissait compliquée et assez dure à réaliser [...], nous avons pris en compte ces retours et, à l'unanimité, avons décidé de nous axer sur un concept de système rotatif qui ferait monter les chips.» (41.2)</p> <p>«Cependant, après l'exercice de confrontation de nos produits avec des utilisateurs interrogés dans la rue, nous avons décidé de prendre un nouveau tournant dans notre projet. J'ai connu une phase de déstabilisation lors de ce moment, car je ne savais plus bien comment mener le projet, mais après une courte réflexion, nous avons pris en compte ces retours.» (8.2)</p> <p>«On ne parlait plus comme des étudiants, on parlait vraiment comme des entrepreneurs.» (2020AM1)</p> <p>«Les dernières étapes se sont ensuite déroulées de façon plus sereine car nous étions sûrs de nos idées et nous savions tous quel était l'objectif final.» (8.4)</p> <p>«J'ai réussi à me surpasser pour parler, enfin pour aller en amphi devant tout le monde ou encore devant les professionnels.» (2020CM1)</p>

La plupart des étudiants ont montré une certaine excitation à investir l'écosystème pour présenter leur idée d'affaires. Certains avaient hâte, mais la grande majorité, totalement novice en la matière, appréhendait ces entrées en relation se faisant principalement sous forme de micro-trottoir en arrêtant des personnes dans la rue. La construction du prétype et la réalisation collective des argumentaires ont aidé à démystifier cette confrontation et à apprendre des autres. Le prétype a également servi de support pour l'entrée en relation et a permis une forme de décentration : c'est l'objet qui devient le centre de la discussion et non plus l'étudiant en tant que personne. Si cette phase est peu présente dans les retours des étudiants, tous ont réussi à récupérer des avis d'utilisateurs potentiels. Cela les a souvent amenés à modifier plus ou moins en profondeur leur idée de départ. Le prétype donne

l'occasion de se projeter dans la vie d'un entrepreneur et d'expérimenter les doutes qui peuvent émerger. Certains ont également perçu un changement dans leur discours. Cette expérience *in vivo*, facilitée par le prototype, a permis de faire avancer les projets tant sur l'idée que sur la dynamique collective. La démarche collective a également eu un impact individuel, les étudiants ayant le sentiment d'avoir personnellement progressé dans ce projet et cette réussite collective.

Discussion

Les trois dispositifs d'éducation en entrepreneuriat sur lesquels porte cette recherche s'inspirent du *design thinking* et visent à coconstruire un produit ou un service avec l'utilisateur potentiel. Novices à de nombreux niveaux, les étudiants doivent travailler en équipe et investir l'écosystème pour trouver l'information et/ou les ressources nécessaires à leur projet. L'utilisation de prototypes leur permet de présenter plus facilement leurs idées. Nous souhaitons connaître les impacts de cette démarche de concrétisation imparfaite de la pensée. Nos résultats montrent que la construction du prototype est vécue comme un bon moment par les membres de l'équipe. Le prototype est un élément commun dont le temps de construction favorise l'expression de chacun tant sur sa vision que sur ses doutes ou questionnements. L'espace d'expression que le prototypage suppose donne lieu à une appropriation par chacun du projet, une meilleure compréhension de ce qu'il y a à faire et une réelle projection dans une démarche entrepreneuriale. Au-delà de l'expérience commune et de la cohésion d'équipe, nous montrons que l'artefact facilite la communication dans l'écosystème d'affaires. Le support rend possible un décentrement de la communication, qui porte sur un objet et non plus sur l'étudiant en tant que personne. Il autorise également aux étudiants d'entrer en relation avec les personnes de l'écosystème d'affaires en montrant leur production, en racontant l'histoire d'un utilisateur fictif autour du problème qu'ils souhaitent résoudre et de la solution qu'ils proposent. Le prototype lève ainsi les inhibitions potentielles de l'étudiant qui parle de l'objet et non de lui en tant que personne et entrepreneur. L'artefact facilite la communication avec l'extérieur. Nos résultats montrent qu'il accorde aux étudiants le droit d'oser. Avec l'action qui en découle, l'équipe peut vivre une expérience collective, la discuter pour comprendre ce qui s'est passé et apprendre individuellement. L'action les

aide enfin à se projeter dans un processus entrepreneurial et à développer des connaissances, compétences et attitudes qui leur permettront un jour d'envisager individuellement la création d'entreprise comme une possibilité. Le préprototype est aussi l'occasion de percevoir une partie des connaissances tacites, difficilement verbalisables, qui régissent le fonctionnement d'un écosystème et que les étudiants acquièrent par mimétisme.

Comme toute recherche, notre étude montre certaines limites, liées aux dispositifs étudiés, certes variés, mais tous proposés dans la même composante universitaire, par la même équipe. Poser les mêmes questionnements de départ dans d'autres environnements nous semble nécessaire pour compléter les connaissances. Une autre limite provient de la difficulté des étudiants à percevoir les apprentissages issus de l'expérience. Par exemple, si la majorité d'entre eux ont apprécié le préprototypage et la présentation de leur idée d'affaires dans l'environnement, peu sont capables de prendre du recul et de percevoir la nature des échanges lors de la construction du préprototype et comment une vision collective a pu émerger. La pratique réflexive est une démarche appropriée pour soutenir l'engagement, l'agilité cognitive et la fixation des apprentissages dans un cadre collaboratif (Verzat, 2014). Les formats réflexifs proposés dans le cadre des approches entrepreneuriales doivent également tenir compte des particularités de la démarche effectuale. En effet, à l'inverse d'une démarche causale où l'erreur est identifiable dans le résultat comme dans le respect d'une procédure (Barras et Mauron, 2019), ici le résultat n'est pas connu d'avance et de nombreux facteurs influencent également la démarche. Des ateliers de verbalisations peuvent alors faciliter cette réflexivité et aider à sortir de l'expérience concrète pour en percevoir les éléments susceptibles d'être améliorés (Foliard et Le Pontois, 2017). D'autres modalités d'observation et de collecte de données peuvent également être utilisées, comme l'observation non participante.

Les limites présentées appellent naturellement des travaux supplémentaires. Au-delà de la comparaison des publics concernés, il nous semble important de comprendre comment les préprototypes sont accueillis par le public, quels sont leurs ressentis par rapport au faible niveau de finition, quelle est leur place dans le processus de cocréation, etc. Des approches multiangulées mêlant les points de vue des différentes parties prenantes du projet peuvent donner des résultats complémentaires sur la place du préprototype dans la démarche entrepreneuriale, avec

certainement des avantages, mais également des faiblesses absentes de notre étude. Enfin, la décentration que nous avons évoquée mérite également d'être précisée, sans doute par le recours à des disciplines connexes comme la psychologie ou la sociologie.

Conseils

La phase de prototypage intervient assez tôt dans le processus d'idéation. Pour un dispositif d'éducation en entrepreneuriat, nous conseillons de commencer par un travail individuel de recherche de problème à résoudre et l'expression de quelques idées susceptibles d'apporter une solution (première bulle de la figure 6.1 plus haut). Nous utilisons généralement un remue-méninges écrit. Cette phase individuelle permettra l'expression de chacun. La constitution de l'équipe peut se faire a priori ou sur présentation des projets, chacun proposant le sien. Pour affiner les idées, une recherche des solutions existantes est importante. Elle permet de positionner le projet vis-à-vis de la concurrence et d'exprimer ce que les étudiants peuvent proposer de mieux, de différent et sur quelle cible il est plus opportun de se concentrer. Dès que cette différence peut être exprimée en tant que bénéfique pour un utilisateur, nous conseillons de prototyper (flèche « et si » de la figure 6.1). Cette phase est assez courte, pour ne pas chercher à aller dans les détails et rester sur l'expression de la valeur créée par le projet. Des améliorations peuvent être réalisées au cours des différentes itérations. Les étudiants construisent un support pour chercher de l'information. Il est important de leur dire que le prototype est utile pour savoir où ils se trompent, ce qu'ils ont oublié, plutôt que pour chercher à convaincre qu'ils ont raison. L'idée est de faire parler un utilisateur pour le comprendre et non pas de défendre un point de vue.

L'étape suivante est d'aller chercher des retours utilisateurs (« Confrontation au marché » dans la figure 6.1). Les accompagnateurs peuvent aider les étudiants à préparer la présentation de leur prototype, en utilisant par exemple la mise en récit et l'incarnation : les étudiants créent un personnage et racontent son histoire, comment il vit le problème, et décrivent ensuite leur produit-service à l'aide du prototype pour souligner sa capacité à apporter une solution. L'utilisateur potentiel peut alors se projeter dans l'histoire et donner son opinion. Il indique ainsi comment il vit le problème et quelle solution il utilise, ce qu'il aime et ce qu'il n'aime pas. Les étudiants récoltent alors des avis qu'ils

peuvent également susciter à l'aide d'un guide d'entretien léger, l'idée étant d'aller plus loin que la seule question : qu'en pensez-vous ?

De retour en classe et pour comprendre ce qui s'est déroulé dans l'écosystème d'affaires (les parties rétroaction et expérience utilisateur), les accompagnateurs peuvent utiliser des méthodes intersubjectives (groupe de discussion, autoconfrontation croisée). Ils aident ainsi les étudiants à verbaliser leur expérience et à en tirer les apprentissages. Suivant le temps disponible et les objectifs finaux du programme, le préprototype peut être affiné et le processus itératif peut continuer.

Nathalie Nyffeler & Isabelle Capron Puozzo

7 | **Processus de conception collectif innovant**

Résumé

Ce chapitre se situe dans le cadre de la création de prototypes par des étudiants en master de la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO) en innovation intégrée. Il présente les fondements théoriques de la créativité (Lubart *et al.*, 2015), en prenant en compte les processus aussi bien macro que micro, et se base sur l'approche multi-variée de la créativité (Botella *et al.*, 2016) pour en faire l'évaluation. Les apprenants ont pu faire preuve d'inventivité, en groupe, dans le cadre d'activités de conception non routinières, pour trouver des solutions à une problématique complexe, donnée par une entreprise. Grâce au test psychométrique *Creative Profiler*, les chercheuses ont suivi l'évolution du profil créatif des groupes et leurs productions créatives (prototypes) tout au long du processus de conception. En se basant sur l'évaluation de différents aspects tels que notamment l'originalité, la pertinence et la qualité des idées générées, l'esprit d'ouverture, la motivation à créer et la propension à oser, il ressort des résultats variés selon la composition des groupes.

Introduction

Les injonctions à l'innovation, toujours plus fortes dans notre société, ont entraîné les entreprises dans une course folle au lancement de

produits à chaque fois plus innovants les uns que les autres pour dépasser leurs concurrents. Pour remporter cette compétition effrénée, les entreprises lancent des produits de plus en plus rapidement en essayant d'optimiser leurs processus de conception. Dans un tel contexte, la formation universitaire est aussi amenée à se renouveler pour préparer les étudiants à cette poursuite de l'innovation. Ainsi, basée sur les fondements théoriques du design de produit (Ulrich et Eppinger, 2016) et de l'ergonomie cognitive (Bonnardel, 2016), une formation universitaire en innovation intégrée a été conçue au sein de la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO) afin d'immerger les étudiants dans un processus créatif continu sur une année. Après avoir décrit le cadre théorique, ce chapitre analyse les données récoltées de septembre 2015 à juin 2016 afin d'évaluer l'impact du développement des prototypes sur la créativité des étudiants. Si un test psychométrique (Lubart *et al.*, 2016) permet d'observer l'évolution du potentiel créatif des étudiants, il est également intéressant de comprendre le rôle de médiateur du prototype dans le processus d'apprentissage.

De la créativité à la conception

Deux concepts sont à la base de cette recherche ainsi que de l'ingénierie de formation du master au sein duquel elle a été menée: la créativité et les activités de conception. À l'instar de Bonnardel (2009), nous considérons qu'il existe des processus cognitifs communs à ces deux types d'activités, dont la mise en lien offre un regard nouveau sur les dispositifs de formation.

Qu'est-ce que la créativité ?

Il existe de nombreuses définitions de la créativité en fonction de la discipline considérée et de son ancrage épistémologique. Pour comprendre ce qu'est la créativité, la définition formulée par Lubart, Mouchiroud, Tordjman et Zenasni (2015), en psychologie différentielle, constitue un fondement théorique pertinent comme point de départ dans le cadre de cette recherche: «la créativité est la capacité à réaliser une production qui soit à la fois nouvelle et adaptée au contexte dans lequel elle se manifeste (Amabile, 1996; Anderson *et al.*, 2014; Barron, 1988; de Sousa, 2008; Lubart, 1994; MacKinnon, 1962; Ochse, 1990; Runco et Jaeger, 2012; Sternberg et Lubart, 1995)» (p. 23). Deux

aspects clés de cette définition sont à identifier : la nouveauté et l'adaptation. Une production est ainsi considérée comme créative dès lors qu'elle introduit une nouveauté, même mineure, dans le contexte et qu'elle répond (s'adapte) aux contraintes fixées. De plus, l'évaluation de la qualité créative d'une production n'est pas absolue, mais dépend d'un consensus social. Selon Lubart *et al.* (2015), la créativité d'une personne ne peut se mesurer sans prendre en compte le contexte social, professionnel et/ou artistique dans lequel elle s'insère.

Ceci étant, quelle est la définition de la créativité selon les ergonomes cognitivistes qui étudient les activités de conception ? On peut notamment citer celle de Bonnardel (2002), qui rejoint la définition consensuelle présentée ci-dessus, pour qui la créativité est considérée comme une « capacité à produire une idée exprimable sous une forme observable ou à réaliser une production, qui soit à la fois novatrice ou inattendue, adaptée à la situation et (dans certains cas) considérée comme ayant une certaine utilité ou de la valeur » (p. 95). On retrouve ainsi les notions de nouveauté et d'adaptation au contexte tel que le présentent Lubart *et al.* (2015), avec néanmoins l'apport de la question de l'utilité et de la valeur. Par rapport au premier concept, il implique qu'une production créative ait bien un sens clairement défini dans un contexte. Quant à la notion de valeur, elle est à interroger. Peut-on être créatif au cœur d'un processus si l'on ne partage pas les valeurs sous-jacentes à la conception du produit ? Est-ce donc une condition inéluctable ? Ou bien l'une des conditions est d'être au clair non seulement sur les finalités, mais aussi sur les valeurs d'un produit au-delà même des valeurs personnelles du concepteur ? Ces questions permettent de relever la notion de sens dans un processus créatif que l'on peut à présent aborder sous plusieurs angles, allant du plus général au plus particulier, qui offrent une vision plus complète de la créativité.

Macro- et microprocessus créatifs

La réalisation d'une production créative nécessite un travail non linéaire divisé en plusieurs phases qui permettent de comprendre les grandes étapes d'un processus créatif qui est, en conséquence, divisé en plusieurs sous-parties dont le nombre varie selon les auteurs analysés. Chacune de ces étapes est définie comme une succession de pensées et d'actions qui aboutissent à des créations originales et adaptées (Lubart, 2001 ; Lubart *et al.*, 2015). Le processus créatif peut ainsi être

décrit selon deux approches certes distinctes, mais non moins complémentaires: les macroprocessus qui visent à identifier les grandes étapes et les microprocessus qui permettent de caractériser les mécanismes de création des idées (Botella *et al.*, 2016).

Le premier et le plus connu des modèles traduisant les macroprocessus est celui de Wallas (1926), divisé en quatre étapes : 1) préparation, 2) incubation, 3) illumination et 4) vérification. La phase de préparation englobe la collecte d'informations et l'analyse initiale du problème afin de le définir correctement. Il s'agit ainsi de recueillir les indications nécessaires à la réalisation de la production créative. Suit la phase de l'incubation, qui est une phase complexe à analyser, car il s'y joue un jeu associatif qui peut être conscient ou inconscient. Elle est d'une durée variable selon les individus et consiste à générer des idées. L'étape d'incubation se termine lorsqu'une idée pertinente émerge. C'est le moment du déclic, la phase d'illumination. Finalement, le processus se termine par la validation qui permet d'évaluer la qualité de l'idée ou de la production créative imaginée. C'est la phase de vérification et d'examen critique de l'idée (Botella *et al.*, 2016; Lubart *et al.*, 2015). D'autres modèles ont été élaborés à la suite de ce dernier avec une amplification et une taxonomie certes différente de Wallas, mais qui traduisent les balises d'un processus créatif (voir notamment Botella *et al.*, 2016). Cette approche de la créativité permet d'avoir une vision large du processus. Néanmoins, à chaque étape se développent également des microprocessus (Botella *et al.*, 2016). Les plus connus sont les microprocessus cognitifs que sont les pensées divergentes et convergentes (la capacité à générer le plus d'idées possible pour en retenir une), la pensée analogique (la capacité à associer des images de domaines plus ou moins proches ou lointains) et la flexibilité (comme la possibilité d'envisager un même problème sous plusieurs angles). Toutefois, ces facteurs cognitifs ne sont pas les seuls à intervenir dans un processus créatif. En effet, des microprocessus, de nature conative, comme la prise de risque ou la persévérance sont également nécessaires à la réussite d'une démarche créative. À cela s'ajoutent des facteurs émotionnels ainsi que les facteurs environnementaux (qu'ils soient micro, méso ou macro). La réunion de ces différents facteurs, sous le modèle de l'approche multivariée (Lubart *et al.*, 2015), permet de soulever toute la complexité d'une approche créative (Piccardo, 2016), dont le suivi peut être mesuré sous différents angles.

Approche multivariée de la créativité et mesure de la créativité

La question de l'évaluation de la créativité est très ancienne et intéresse en premier lieu la communauté scientifique des psychologues, notamment depuis la célèbre interpellation de Guilford en 1950 (Brown, 2010) qui a donné naissance à des approches très psychométriques, initiées en particulier par Torrance. Depuis les années 1980, dans le domaine francophone, l'approche multivariée s'est développée autour de la recherche de différents outils permettant de mesurer la créativité. On distingue dès lors l'évaluation du potentiel créatif, dans la perspective d'un développement continu tout au long de la vie, de l'évaluation de l'accomplissement (qui est une production effective) (Besançon et Lubart, 2015). La première, l'évaluation du potentiel, est basée sur l'évaluation des ressources et des facteurs de créativité d'un individu ou d'un groupe en mesurant les facteurs cognitifs, conatifs et émotionnels de la créativité. Il s'agit ici non pas de mesurer les performances créatives, mais ce qui les conditionne (Lubart *et al.*, 2016). La seconde, l'évaluation de l'accomplissement, est plus centrée sur les processus et la production (par effet de comparaison, dans un contexte bien défini ou par analyse de la disruption lorsque l'on parle d'innovation). L'innovation peut concerner le domaine de l'art, de l'entreprise, de la société, etc. Nous l'utilisons donc dans un sens très large pour désigner ce que l'on appelle la créativité historique ou celle avec un grand C (Boden, 2005; Capron Puozzo, 2016c; Craft, 2005), reconnue par l'environnement au sein duquel elle est implantée. La disruption ou innovation disruptive décrit les changements importants qu'amènent de nouveaux entrants dans un marché donné. Ces derniers changent les règles du jeu et apportent ainsi une rupture par rapport au passé (Christensen *et al.*, 2015). Elle se distingue de l'innovation incrémentale qui renvoie à une évolution mineure d'un produit ou processus innovant.

Dans le monde francophone, le test EPOC (Évaluation du potentiel créatif des enfants) (Lubart *et al.*, 2011) offre la possibilité de mesurer le potentiel créatif des enfants. Toujours à partir des fondements théoriques de l'approche multivariée, Lubart, Zenasni et Barbot (2016) ont également développé un instrument d'évaluation psychométrique, le *Creative Profiler*, pour mesurer ce potentiel non plus chez l'enfant, mais chez l'adulte. Cet instrument de mesure permet de dresser un profil individuel sur dix dimensions réparties en deux domaines de facteurs (cognitifs et conatifs) (pour le détail, voir Lubart *et al.*, 2016). Le

domaine cognitif évalue la pensée divergente, la flexibilité mentale, la pensée convergente, la capacité à associer et la pensée analogique. Le domaine conatif comporte l'ouverture, la tolérance à l'ambiguïté, la pensée intuitive, la motivation à créer et la propension à oser. Le *Creative Profiler* (CP) mesure le profil créatif de l'interviewé en comparant la distance entre son profil et le profil optimal attendu pour une tâche créative spécifique. Ce calcul statistique compare le profil multivarié de la personne au profil moyen du groupe expert (Lubart *et al.*, 2016). Le test a une visée très large, il peut être utilisé dans des contextes variés (l'entreprise, la formation, l'université, etc.) et permet de suivre également l'évolution du potentiel créatif dans un environnement donné. En conséquence, dans le cadre de la production de prototypes, il est intéressant non seulement d'évaluer l'accomplissement, le développement final du produit, mais aussi le profil créatif des individus impliqués dans une telle démarche. Si les fondements théoriques de la créativité et de son évaluation ont été définis, reste à présent à expliciter ceux de l'activité de conception de prototypes.

Activités de conception et créativité

Les objets font partie de nos vies privées et professionnelles. Produits « tangibles » ou « intangibles » (services), ils sont issus de secteurs variés et ont envahi notre quotidien. Plusieurs définitions de l'activité de conception existent ; certaines mettent en évidence le lien avec la créativité, d'autres pas. Par exemple, la définition des activités de conception, proposée par Demailly et Le Moigne (1986), présente une approche de la conception où la créativité n'est pas mise en avant. Pour ces auteurs, la conception est une activité symbolique s'exprimant par un dessin, une forme ou toute autre production donnant accès à la construction d'un modèle symbolique afin d'inférer le réel.

Pour Simon (1995, cité par Bonnardel, 2009), la conception est à la fois le fait de concevoir des objets, des processus ou des idées en vue d'accomplir un objectif, mais elle inclut également le processus de réalisation de ces productions. En revanche, dans la perspective de l'ergonomie cognitive, « quels que soient les domaines considérés, les concepteurs doivent développer des produits à la fois novateurs et adaptés aux utilisateurs, et ainsi, faire preuve de créativité » (Bonnardel, 2009, p. 6). La créativité est donc impliquée dans toutes les phases de développement des objets. Dans le contexte de cette étude,

le terme de prototype désigne, en conséquence, l'objet à concevoir qui peut être un produit ou un service. Ce dernier est construit sur la base de boucles itératives passant de prototypes intermédiaires à une production finale qui spécifie complètement les fonctions à remplir ainsi que les besoins et buts qu'elle doit satisfaire (Visser, 2009).

Les définitions des activités de conception et celles de créativité se rejoignent, notamment lorsqu'elles font référence à l'importance du contexte et de la situation (adaptation au contexte selon Lubart *et al.*, 2015) qui se rapproche de l'idée de réaliser un prototype en vue d'atteindre un objectif/but en conception. Par contre, la notion de nouveauté, en lien avec la définition de la créativité, n'apparaît que très rarement dans les définitions de la conception. Ceci peut s'expliquer par la différenciation des activités de conception routinières des activités de conception non routinières (Bonnardel, 2006). Comment peut-on distinguer nouveauté et innovation? La nouveauté fait intrinsèquement partie de l'innovation puisque, pour être considérée comme une innovation, il faut que la nouveauté soit diffusée dans le domaine qui lui est destiné et que son environnement social la reconnaisse et l'accepte comme une production nouvelle (Capron Puozzo, 2016a).

Les activités routinières sont fort différentes des activités non routinières (Bonnardel, 2006) : la complexité des informations à trouver en vue de résoudre le problème permet de distinguer les deux concepts. La résolution des problèmes non routiniers nécessite de trouver des solutions nouvelles alors que, pour les activités routinières, « le produit à concevoir ne diffère que légèrement des produits développés antérieurement : le concepteur peut adapter un schéma prédéfini afin de traiter le problème courant » (Bonnardel, 2006, p. 28). Les activités de conception non routinières peuvent être ainsi qualifiées de créatives. Elles font appel à des capacités cognitives spécifiques en vue de mettre sur le marché des produits/services novateurs. Bonnardel (2006) définit dès lors la conception en ces termes : « concevoir consiste à définir les caractéristiques d'un objet (ou d'une procédure) qui présente une certaine nouveauté et qui soit adapté à un ensemble évolutif de contraintes variées ». Cette définition fait ainsi écho à celle de la créativité en intégrant clairement la notion de contrainte. La contrainte ouvre, en conséquence, des possibles dans l'activité de conception et de développement de prototypes, ce que Bonnardel (2016) appelle « l'ouverture de l'espace de recherche d'idées » (p. 170). Ses recherches dans une approche expérimentale, menées auprès de 32 étudiantes

qui suivent un brevet de technicien supérieur (BTS) design en France, avec un groupe générant des idées et un autre groupe générant des contraintes liées au même problème, ont montré que le nombre de contraintes était plus important que celui des idées. «Une idée donnée peut permettre de satisfaire plusieurs contraintes» (p. 175). Ainsi, développer la créativité des individus et ouvrir à cette recherche d'idées implique une réflexion sur le type de contrainte suffisamment complexe qui va favoriser le processus créatif dans une activité de conception non routinière.

Les fondements de ce cadre théorique sont à la base de la recherche menée dans le cadre d'un dispositif de formation universitaire qui permet de développer des prototypes au travers d'une démarche de créativité qui va être à présent décrite.

Une recherche-action sur le développement de prototypes et de la créativité auprès d'étudiants d'une Haute école

Contexte de la recherche : description du dispositif de formation

Le dispositif de formation analysé dans le cadre de cette recherche est le master de la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO) en *Integrated Innovation for Product and Business Development* (appelé également master Innokick), lancé en septembre 2015. Ce master interdisciplinaire unique en Suisse est ouvert aux titulaires d'un bachelior/d'une licence issus de trois domaines, à savoir Économie et services (EetS), Ingénierie et architecture (IetA) et Design et arts visuels (DetA). Le dispositif innovant de ce master a été conçu sur la base d'un processus de conception non routinier (Gero et Mahler, 1993) (voir figure 7.1). Le programme du master comporte six modules théoriques (Processus d'innovation, Concept produit, Stratégie marketing, Implémentation, Gestion des talents, Management de l'innovation). Chacun d'eux (5 à 6 ECTS¹² par module) est décliné en plusieurs unités de cours qui sont dispensées, de manière centralisée, à l'ensemble des étudiants. Le « projet pratique d'application » (PPA, 24 ECTS) constitue le cœur du

¹² *European Credit Transfer System* (ECTS) : les crédits ECTS sont une mesure relative de la charge de travail que les étudiants doivent fournir au cours d'une année d'études. Un crédit ECTS correspond à un volume de travail de 25 à 30 heures.

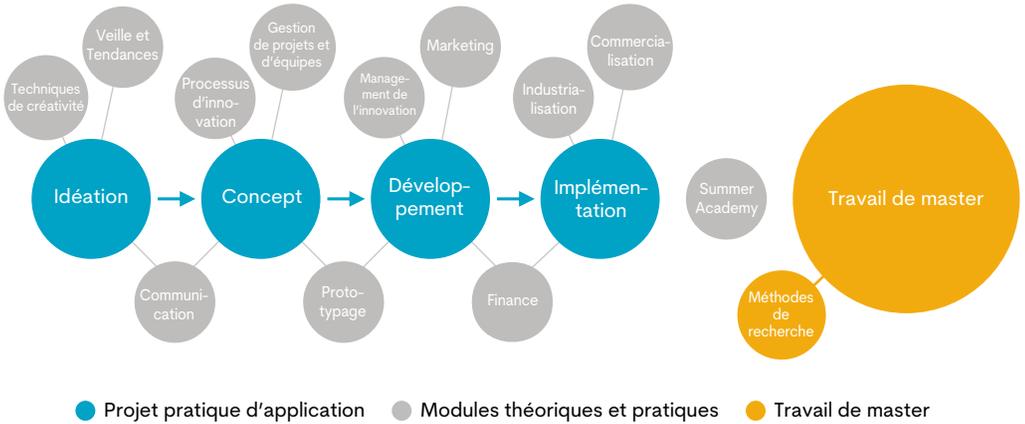


FIGURE 7.1 Schéma du plan d'études du master Innokick.

plan d'études et se construit tout au long de la formation. Pendant deux semestres, les étudiants vivent en groupes interdisciplinaires un processus de développement de produits et/ou services innovants tout en mettant en œuvre les outils acquis durant les cours théoriques. Pendant le PPA – appelé processus Innokick –, les étudiants mènent une démarche de conception innovante sur la base d'opportunités d'affaires confiées par des entreprises.

Le processus Innokick (figure 7.2) est divisé en quatre phases. Il s'inspire pour une part des micro- et macro-processus et pour une autre, des développements de produits tels qu'ils existent dans l'industrie. Chaque projet de développement proposé est suffisamment large, ouvert et complexe pour que les étudiants soient obligés de passer par une phase de définition, puis de redéfinition du problème couplée à un recueil d'informations nécessaires (Bonnardel, 2006, 2009; Chevalier, Anceaux et Tijus, 2009; Visser, 2009). Les apprenants vivent ainsi un processus de conception collectif non routinier proche de la réalité.

Lors de la première phase d'idéation, les étudiants, les organisations partenaires, les encadrants et les professeurs vivent un processus d'immersion créative appelé le « Marathon de la créativité », lors duquel plusieurs sessions de génération d'idées sont menées en utilisant différentes techniques créatives. Ce marathon dure deux jours en résidentiel et les idées sont recensées dans le « cahier des idées ».

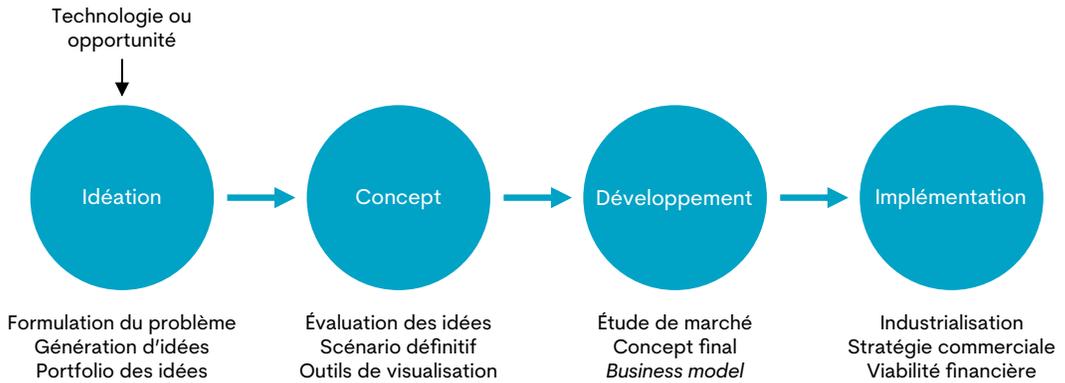


FIGURE 7.2 Description du projet pratique d'application Innokick.

Problématique et méthodologie de recherche

Cette recherche vise à évaluer la créativité de cinq groupes d'étudiants au sein d'un dispositif de formation interdisciplinaire en innovation et à comprendre l'impact des prototypes développés sur leur créativité. Elle s'inscrit dans le cadre d'une recherche-action (RA) ayant privilégié une approche mixte (Barbier, 1996; Cros, 2002). La finalité de cette approche est d'intervenir sur les pratiques en vue de les modifier, mais également de les rendre conscientes, de les analyser et de les comprendre (Montagne-Macaire, 2007).

À partir des observations théoriques précitées, la question de recherche est la suivante: quelle est l'évolution du profil créatif des groupes et de leurs productions créatives (prototypes) tout au long du processus de conception?

Cette étude analyse ainsi deux aspects: l'évolution du profil créatif de chaque groupe entre le début et la fin de la formation via le regroupement des profils psychographiques individuels et l'évolution de la production créative finale de chaque groupe dans le cadre du processus de conception.

C'est la méthode mixte de triangulation, proposée par Creswell *et al.* (2003), qui a été privilégiée dans le cadre de cette étude. Afin d'éviter de récolter des données dans la précipitation et de garder la distance entre les gestes et postures qu'impliquent les autres fonctions tenues par l'autrice principale de l'étude (responsable du master), la RA suit un protocole précis qui croise les outils de recueil et s'inscrit

dans un horizon de temps défini (Montagne-Macaire, 2007). C'est pourquoi, plusieurs données ont été récoltées sur une durée de plus de douze mois : d'une part, deux tests psychométriques (CP) sur le potentiel créatif (Lubart *et al.*, 2015) ont été réalisés à 9 mois d'intervalle (pré- et post-tests en début et en fin d'année) et d'autre part, les productions créatives collectives réalisées tout au long du processus et leurs évaluations ont fait l'objet d'un travail continu.

La présente étude se focalise sur la première volée d'étudiants ayant suivi le master. L'échantillon est composé de 34 étudiants : 12 étudiants issus du domaine IetA, 13 étudiants du domaine EetS et 9 du domaine DetA, âgés de 22 à 34 ans, comprenant 16 femmes et 18 hommes. Cinq groupes interdisciplinaires ont été formés par les professeurs en fonction des profils dès la fin de la première semaine de formation. La classe s'est répartie comme suit : six étudiants avec une PME industrielle (PME) ; sept étudiants avec une association à but non lucratif (Assoc) ; sept étudiants avec une start-up (STU) ; six étudiants avec une multinationale (Multi) et huit étudiants au sein d'une entreprise de transports publics (TP). Chaque groupe avait donc un mandat bien précis délivré par une organisation publique ou privée dans le but de développer un prototype.

Méthodologie d'analyse du corpus de données

En lien avec les concepts théoriques vus précédemment, nous proposons de combiner deux approches de l'évaluation de la créativité en vue de répondre à la question de recherche. La première évaluation est centrée sur la mesure des ressources et des facteurs de la créativité (Lubart *et al.*, 2015). Nous avons ainsi mesuré l'évolution du potentiel créatif des groupes entre le début et la fin du processus de conception en utilisant le test psychométrique *Creative Profiler* (CP) développé par Lubart. La seconde approche est une analyse centrée sur les processus et la production de ces prototypes (Lubart *et al.*, 2015). Cette évaluation mesure avec une note les productions créatives réalisées lors de situations standardisées. Dans ce cas, le potentiel créatif d'une personne ou d'un groupe est évalué en rapport avec les productions créatives de ses pairs placés dans les mêmes conditions (même technique de créativité, temps, lieu et encadrement identiques). Lubart *et al.* (2015) évoquent alors une évaluation dite relative. Il s'agit dès lors de comparer les productions créatives réalisées par groupe à chaque phase du processus de conception.

Comme Bonnardel (2006) le rappelle, l'évaluation des productions créatives à la fois nouvelles et adaptées à la situation est complexe. Dans le cadre du processus de conception que nous analysons, il convient d'évaluer un prototype qui évolue selon le stade du processus de conception. Il s'agit dès lors d'examiner d'autres critères que l'aspect uniquement créatif tels que l'originalité et le nombre d'idées générées, la veille concurrentielle et technologique et la pertinence des idées sélectionnées. Le processus Innokick est divisé en quatre phases et les prototypes sont notés à cinq reprises. Toutes les phases sont évaluées par les trois professeurs-encadrants et un collège d'experts issus des trois domaines concernés, la note finale étant une moyenne des notes attribuées individuellement par chaque juge. Lubart *et al.* (2015) rappellent que le fait de multiplier le nombre de juges dans le cadre de l'évaluation d'une production créative permet d'assurer une certaine validité, à la condition que le niveau de concordance entre les juges soit acceptable. Les notes évaluent les critères mentionnés plus haut pour chaque phase. Chaque évaluateur apprécie les productions sur la base d'une grille identique pour les cinq groupes portant sur : le contenu (qualité et pertinence), la forme du dossier (qualité de l'écriture) et la défense orale (qualité de la présentation). Les critères de l'évaluation sont adaptés à chaque étape du développement de prototypes en fonction des cours théoriques étudiés. Un poids plus conséquent est ainsi attribué aux aspects créatifs puis, durant le développement du prototype final, les critères liés à la commercialisation et à l'implémentation *per se* du produit/service prennent l'ascendant.

Relations entre le potentiel créatif, les productions créatives et les facteurs de créativité

Le potentiel créatif des groupes et leur évolution

Il convient de se pencher plus spécifiquement sur le potentiel créatif de chaque groupe. Le tableau ci-contre (tableau 7.1) récapitule les résultats obtenus selon les dix dimensions analysées aux pré- et post-tests. Les échelles utilisées pour les tests étant différentes, une manipulation statistique de normalisation (valeur Z) a été effectuée afin de comparer le profil multivarié du groupe au centre de gravité du profil moyen de la classe (Lubart *et al.*, 2016). Les variations entre le profil moyen sont exprimées en écart-type.

TABLEAU 7.1 Évolution des dimensions du Creative Profiler pour chaque groupe (valeur Z).

Groupe	Test	Pensée divergente	Flexibilité mentale	Pensée convergente	Capacité à associer analogique	Ouverture l'ambiguïté	Tolérance à l'ambiguïté intuitive	Pensée intuitive à oser	Propension à créer	Motivation à créer
PME	Prétest	-0,153	-0,218	0,085	0,153	-0,114	-0,445	-0,473	-0,483	0,307
	Post-test	-0,566	0,000	-1,169	0,051	-0,029	-1,037	-0,387	-0,137	-0,083
Start-up	Prétest	0,260	-0,554	0,368	-0,057	-0,049	0,762	0,041	0,284	0,535
	Post-test	0,625	-0,058	0,095	-0,142	-0,164	0,759	-0,003	-0,035	0,798
Multinationale	Prétest	-0,038	-0,153	-1,055	-0,351	0,114	0,148	-0,095	0,043	-0,676
	Post-test	-0,466	-0,799	-0,303	-0,442	0,034	0,004	-0,018	0,481	-0,971
Association	Prétest	-0,194	-0,003	0,213	0,243	-0,244	-0,178	-0,041	-0,348	-0,071
	Post-test	0,239	0,336	0,632	0,402	-0,074	0,070	-0,548	-0,002	-0,307
TP	Prétest	0,086	0,738	0,220	-0,057	0,257	-0,330	0,426	0,386	-0,071
	Post-test	0,018	0,398	0,431	0,011	0,208	0,050	0,271	0,156	0,233

Que peut-on constater au début du processus de conception collective? Trois typologies de groupes semblent se dégager selon le CP: 1) potentiel plutôt créatif (TP et STU), 2) potentiel moyennement créatif (PME et Assoc) et 3) potentiel créatif plus faible (Multi) en regard de la classe.

Évaluation des productions créatives collectives lors de la phase d'idéation

Il s'agit à présent d'analyser la phase la plus créative du processus de conception, à savoir la phase d'idéation. Lors du marathon, chaque groupe a produit un certain nombre d'idées qui ont été ensuite triées, parfois combinées puis recensées dans un cahier des idées qui présente toutes celles qui ont été retenues et sont proposées au mandant. Lubart *et al.* (2015) rappellent qu'un moyen objectif d'évaluer le niveau de créativité d'un groupe ou d'un individu est de compter le nombre d'idées générées. Le tableau 7.2 présente ainsi les résultats obtenus par tous les groupes pour cette phase.

Sans surprise, le groupe le moins créatif (Multi) est celui qui a généré le moins d'idées (109) et a obtenu la moins bonne évaluation (4,0)¹³. La phase initiale de génération d'idées est très importante, car un nombre insuffisant d'idées à ce stade du processus peut impacter la qualité de toutes les phases suivantes.

Les groupes moyennement créatifs, PME et Assoc, ont généré respectivement 172 et 140 idées. Ils ont, en revanche, obtenu des évaluations différentes (5,5 pour PME et 4,5 pour Assoc). Les deux équipes ont ainsi eu une capacité divergente moins grande par rapport aux groupes jugés plus créatifs, mais ceci n'est pas un frein pour obtenir une évaluation très positive, comme le démontre la note obtenue par le groupe PME.

Nous remarquons que les équipes les plus créatives, selon le CP, sont celles qui ont généré le plus d'idées lors du « Marathon de la créativité » (groupes TP et STU). Le groupe STU a notamment généré 432 idées, montrant une capacité divergente impressionnante. Il convient de souligner que cette capacité peut avoir un revers handicapant que ce groupe a dû affronter tout au long du processus. La grande capacité à diverger et la forte motivation à créer de ce groupe ont été un frein car

¹³ Système d'évaluation : excellent 6 ; très bien 5,5 ; bien 5 ; satisfaisant 4,5 ; passable 4 ; légèrement insuffisant 3,5 ; échec < 3

les étudiants ont souvent peiné à converger lors du processus de développement de produits.

Deux groupes ont obtenu des notes nettement au-dessus des autres, à savoir TP et PME. Résultat sans surprise pour l'équipe TP dont le potentiel créatif est au-dessus de la moyenne de la classe. En revanche, le groupe PME – dont le potentiel mesuré par le CP est moyennement créatif – obtient un très bon résultat. Deux groupes obtiennent un résultat moyen, Assoc et STU, avec une note de 4,5. Il est intéressant de souligner que STU obtient un résultat mitigé alors que son potentiel créatif est élevé. Finalement, un résultat faible est obtenu pour le groupe Multi, ayant le potentiel créatif le moins élevé. Avoir un potentiel créatif positif (STU) n'implique dès lors pas automatiquement une note élevée, mais il y a un lien avec le nombre d'idées générées. Une réflexion identique peut être menée pour un groupe au potentiel créatif moyen (PME) qui obtient néanmoins de très bons résultats. Qu'en est-il des résultats des équipes dans la suite du processus?

TABLEAU 7.2 Potentiel créatif des groupes et nombre d'idées générées lors de la phase d'idéation.

	Creative Profiler Pré-test	Creative Profiler Post-test	Évolution du groupe	Nombre idées générées non retenues au Marathon	Nombre d'idées présentées dans le Cahier des idées	Cahier des idées Notes obtenues
TP	++	++	Stable	228	15	5,5
STU	++	++	Stable	432	16	4,5
Assoc	+ -	+ -	Amélioration	140	23	4,5
PME	+ -	--	Négative	172	20	5,5
Multi	--	---	Négative	109	12	4,0

Note: 1 à 6. Excellent = 6; très bien = 5,5; bien = 5; satisfaisant = 4,5; passable = 4; légèrement insuffisant = 3,5; échec < 3.

Évaluation et évolution des productions créatives lors du processus Innokick

Les résultats obtenus par les cinq groupes montrent des évolutions intéressantes qui ne sont pas forcément liées au profil créatif des équipes. Le tableau 7.3 ci-après présente les notes obtenues à chaque étape pour les cinq groupes.

TABLEAU 7.3 Évaluations notées des productions créatives pour les cinq groupes.

	Assoc	PME	TP	STU	Multi
Cahier des idées – Semestre hiver	4,5	5,5	5,5	4,5	4,0
Cahier des scénarios – Semestre hiver	5,5	6,0	5,5	5,0	4,5
Concept produit préliminaire – Semestre hiver	4,5	5,5	5,5	5,0	4,0
Concept produit final – Semestre printemps	5,0	5,5	5,5	5,5	4,5
Business Concept – Semestre printemps	4,0	5,0	5,5	5,0	3,5

Sans surprise, à nouveau, les résultats du groupe Multi – dont le potentiel créatif baisse – sont restés faibles à très faibles tout au long du processus. Il s'agit du seul groupe dont le résultat final est en dessous de la moyenne. Malgré le suivi constant de la responsable du master et les interventions régulières, ce groupe a vécu des tensions fortes tout au long de la formation. Ces dissensions ont eu des impacts négatifs sur les résultats, impactant ainsi les apprentissages.

Le groupe Assoc, au potentiel moyennement créatif, a obtenu des résultats en dents de scie durant tout processus, avec un résultat final plutôt en baisse en ce qui concerne les évaluations, mais dont le potentiel créatif s'améliore à la fin du master. L'évolution des notes de l'autre groupe moyennement créatif, le groupe PME, mérite de s'y arrêter : un groupe étonnant aux résultats très élevés, mais qui baisse sensiblement sa note au dernier dossier et dont le potentiel créatif a diminué entre le début et la fin du processus.

Qu'en est-il des groupes les plus créatifs ? Nous constatons que le groupe TP a eu des résultats stables pendant tout le processus. Ce groupe de huit personnes pouvait compter sur les compétences d'étudiants ayant déjà une expérience professionnelle pour transformer leurs idées en un concept innovant. L'autre équipe considérée comme la plus créative, STU, montre une progression au niveau des résultats. On constate ainsi des contrastes marqués entre les groupes : une stabilité des résultats pour TP et Multi, des variations importantes pour Assoc, une baisse pour PME et une amélioration pour STU.

Éléments de discussion : le prototypage comme passerelle vers une pédagogie de la créativité

Des groupes aux profils disparates ont vécu la conception de prototypes comme des expériences positives, mitigées ou négatives, selon les évaluations des professeurs. Les cinq groupes présentaient des profils et des évolutions fort différents. Il y a eu deux groupes plus créatifs que les autres (TP et STU) pour lesquels on observe une évolution positive en ce qui concerne certaines dimensions (voir tableau 7.4).

TABLEAU 7.4 Impact de l'approche multivariée sur le potentiel créatif des groupes.

	Creative Profiler Pré-test	Creative Profiler Post-test	Évolution CP (dimensions cognitives et conatives)	Facteurs environnementaux	Facteurs émotionnels	Moyenne des notes (S1-S2)	Note finale du produit
TP	++	++	Stable	Stabilité (++)	++	5,5	5,5
STU	++	++	Stable	Stabilité (++)	++	5,0	5,0
Assoc	+ -	+ -	Amélioration	Tensions (-)	+ -	4,7	5,0
PME	+ -	--	Négative	Dégradation (+-)	-	5,5	5,0
Multi	--	---	Négative	Fortes tensions (- -)	--	4,1	3,5

Comme nous l'avons remarqué, lors d'un processus de conception collectif, la prise en compte de tous les facteurs identifiés par Lubart *et al.* (2015) dans son approche multivariée devient primordiale. Il convient néanmoins de ne pas sous-estimer les facteurs environnementaux et émotionnels qui peuvent être facilitateurs ou inhibiteurs du développement du potentiel créatif des étudiants et des groupes.

Les objectifs d'apprentissage au sein du master Innokick, dont la capacité à développer des produits innovants, sont ainsi réalisés à travers une forme médiatrice entre les objets d'apprentissage et les étudiants (Capron Puozzo, 2016b) que sont les prototypes. Ce transfert s'est concrétisé pour une grande partie des groupes. Les prototypes développés ont notamment permis aux étudiants de mieux comprendre la portée des cours théoriques et de les appliquer directement dans la phase projet, en repérant aussi leurs limites le cas échéant. Ils sont devenus plus autonomes et ont pu vivre un processus d'innovation

en intégrant son aspect itératif et en acceptant les constants allers-retours. Finalement, ils ont expérimenté la force de l'interdisciplinarité et les difficultés inhérentes au travail de groupe.

Il est intéressant de rappeler que le processus de conception fait appel à l'utilisation de différents artefacts, qu'il s'agisse de dessins, de graphiques, d'images, de maquettes ou de prototypes adaptés aux différentes étapes du processus (Darses, 2009). Ces prototypes évoluent au fur et à mesure du processus et ont des fonctions à la fois cognitives et collectives. Au niveau des fonctions cognitives, ces derniers « facilitent la résolution du problème » (*ibid.*). En ergonomie cognitive, les prototypes sont considérés non seulement comme des objets, mais également comme des instruments cognitifs qui matérialisent physiquement la pensée du concepteur. « Situer la représentation externe en une position intermédiaire et médiatrice entre le sujet et sa tâche s'applique à toutes les situations de résolutions de problème abordées par l'ergonomie cognitive, mais en particulier au domaine de la conception. » (*ibid.*, p. 54) Le prototype est ainsi une forme médiatrice dans le cadre de la formation Innokick, car il permet de matérialiser les apprentissages et devient ainsi une passerelle qui renforce le développement de la pensée créative chez l'étudiant, en plus de l'acquisition des savoirs en matière de développement de produits innovants. De plus, les prototypes développés ont une fonction collective qui va au-delà de la modélisation du futur produit ou service, car ils deviennent des objets de médiation. « Ils sont médiateurs parce qu'ils sont vecteurs de la coopération. (...) leur fonction est de présenter les différents points de vue, et de fournir aux acteurs des espaces référentiels communs qui soutiennent la communication. » (*ibid.*, p. 55) Les groupes qui n'ont pas réussi à construire ce référentiel commun n'ont pas réussi à développer des produits finaux de qualité.

Il convient de souligner que seuls les groupes STU, TP et PME ont réussi à utiliser les prototypes comme « forme médiatrice » tout au long du processus. Dans une moindre mesure, le groupe Assoc a eu des difficultés à matérialiser ses idées en un produit cohérent, probablement à cause de la difficulté à créer ce référentiel commun. Quant au groupe Multi, cette matérialisation a été difficile tout au long du processus et, dès la fin du premier semestre, les professeurs encadrants ont dû avoir recours à des intervenants externes pour les aider à développer leur concept qu'ils n'ont, par ailleurs, jamais réussi à s'approprier.

Certaines limites à cette étude méritent d'être soulignées. Même si nous avons pu constater des évolutions significatives sur certaines

dimensions cognitives et conatives entre le début et la fin du processus de conception, l'évolution du potentiel créatif des étudiants ne peut pas être imputée *stricto sensu* au fait d'avoir suivi le master. En effet, il n'a pas été possible de mettre en place un groupe de contrôle afin d'en mesurer les effets, pour des raisons organisationnelles et pratiques. Le fait d'avoir réalisé cette RA sur un terrain réel oblige à prendre en compte tout l'environnement et les variables impliquées ne peuvent pas être isolées aussi aisément que lors d'une recherche expérimentale en laboratoire. C'est à la fois la faiblesse et la richesse de cette étude.

Dans la poursuite de cette recherche-action, le dispositif de formation a été revu compte tenu des conclusions obtenues notamment : en renforçant la partie réflexive, en introduisant un accompagnement systématique individuel et des groupes via des espaces de dialogue et en proposant de la formation interne auprès des intervenants et professeurs afin de les sensibiliser aux difficultés et aux enjeux relationnels que peuvent rencontrer les étudiants dans un tel dispositif de formation.

Conclusion

Cette recherche a permis d'analyser les liens de cause à effet entre les prototypes développés dans un processus de conception non routinier et les facteurs de créativité selon l'approche multivariée décrite par Lubart *et al.* (2015).

Les compétences nécessaires pour le développement d'un prototype, d'une idée à un produit/service commercialisable sont plurielles. Si la créativité est primordiale pour le début du processus de conception, c'est la capacité à innover qui est essentielle par la suite. Comme nous l'avons identifié, certains étudiants ont mieux apprécié le début du processus de conception alors que d'autres ont privilégié la seconde partie où il est question de commercialiser et d'industrialiser le prototype imaginé. Les compétences ne sont pas les mêmes et les profils différents.

Cette recherche-action a également eu l'avantage de mettre en exergue les points forts de cette formation en conception collective en innovation. Par son approche expérientielle et son caractère interdisciplinaire, ce master peut être considéré en soi comme une innovation pédagogique (Cros, 2002). Il convient dès lors de développer et de renforcer son positionnement scientifique en déployant une stratégie de recherche appliquée spécifique.

Partie 3

Prototyper pour développer des expériences et des affordances

Catherine Tobola Couchepin,
Sabine Schär, Hervé Barras,
Étienne Dayer & Antoine Perruchoud

L'expérience d'apprentissage: évaluation de 8 différents dispositifs

Résumé

Ce chapitre présente et compare quatre dispositifs de formations professionnalisantes du paysage suisse des hautes écoles qui collaborent sur les questions de l'innovation pédagogique et de l'évaluation de l'expérience d'apprentissage des étudiants. Deux dispositifs, sous forme de Team Academy, s'appliquent à la formation en économie d'entreprise et à la formation en soins infirmiers. Deux autres dispositifs forment de manière duale les enseignants du primaire et du secondaire. Les compétences visées par les dispositifs, leur développement et l'évaluation qui l'accompagne sont discutés à la lumière du modèle de formation en alternance choisi afin de concilier les espaces de formation. Les réponses des étudiants interrogés en cours de formation quant à leur expérience d'apprentissage donnent à voir des différences intéressantes concernant la motivation à s'engager dans les études et les méthodes d'apprentissage. Des pistes de réflexion liées au type d'alternance dans les dispositifs de formation sont évoquées.

Introduction

Le développement des compétences professionnelles et leur évaluation dans les formations professionnalisantes sont au cœur des dispositifs

de formation des hautes écoles suisses pour favoriser le double profil, à la fois académique et pratique. Afin d'accompagner au mieux les étudiants, une pédagogie de la formation en alternance a été pensée afin de concilier les espaces de formation et de production (Akkary et Heer, 2006). Ces deux sphères sont parfois difficiles à articuler, même si elles se veulent pensées comme telles. Les allers-retours successifs vécus et singuliers, entre ces deux espaces de formation, permettent à l'étudiant d'éprouver plusieurs prototypes de pratiques professionnelles par l'amélioration, la communication, l'exploration et le développement (Camburn *et al.*, 2017). La somme de ces prototypes successifs et leur analyse réflexive constitueraient l'expérience d'apprentissage. Cette contribution vise à décrire l'expérience d'apprentissage des étudiants dans quatre dispositifs favorisant l'alternance. Ils s'insèrent dans trois hautes écoles suisses qui collaborent sur la question de l'innovation pédagogique et de l'évaluation de l'expérience d'apprentissage des étudiants. Les dispositifs décrits présentent des articulations différentes entre les deux sphères de la formation. Afin de les catégoriser, nous choisissons de décrire et de comparer les liens systémiques entretenus entre les deux espaces de formation que sont l'institution, espace théorique, et le terrain, espace pratique. Le concept de formation en alternance, qui prend ses racines dans l'enseignement professionnel et technique, n'est pas toujours facile à concrétiser (Borges, 2005). Certaines organisations séparent de façon distincte ces espaces de formation. A contrario, d'autres plongent complètement l'étudiant dans la pratique pour l'éclairer théoriquement. La visibilité de l'alternance des milieux de formation identifiés modifie-t-elle l'expérience d'apprentissage des étudiants? Les différences sur ce plan sont-elles visibles quant aux méthodes d'apprentissages et à l'évolution de la motivation dans le parcours de formation?

Afin de répondre à ces questions, nous observons deux dispositifs sur le modèle de la Team Academy (TA): l'une en économie d'entreprise (TA-G) et l'autre en soins infirmiers (TA-SI), et deux autres en formation à l'enseignement primaire (EP) et secondaire (ES). Ces quatre dispositifs permettent d'articuler la réflexion entre la théorie et la pratique professionnelle afin de favoriser le développement des compétences attendues tout au long de la formation (Buysse et Vanhulle, 2009; Schön, 1983).

La description et la comparaison des dispositifs prennent en considération plusieurs éléments: le modèle d'alternance choisi, les rôles des

enseignants et des étudiants, la réflexivité. Les étudiants fréquentant les dispositifs ont été questionnés afin de mettre en évidence leur expérience d'apprentissage et d'interroger ainsi les modèles d'alternance privilégiés. Nous pouvons ainsi mettre en évidence les meilleures caractéristiques pour soutenir les expériences positives d'apprentissage.

Formations tertiaires : vous avez dit professionnalisantes ?

Les quatre dispositifs décrits dans ce chapitre présentent des articulations différentes entre les deux espaces de formation que sont l'institution et le terrain. Notre contribution souhaite rendre visible l'expérience d'apprentissage vécue par les étudiants. Avant tout, définissons ce que nous entendons par dispositif d'alternance. Qu'en est-il concrètement ? À partir de quand peut-on parler d'articulation et non plus de juxtaposition entre les espaces de formation ?

Plusieurs aspects nous intéressent : d'abord, celui de la réflexivité nécessaire pour construire un agir professionnel expert ; ensuite, la question du développement professionnel sur les deux axes indissolublement complémentaires que sont la formation en institution et celle sur le terrain ; et enfin l'expérience d'apprentissage.

Une approche par compétences et l'engagement dans une démarche de pratique réflexive encouragent le développement de la professionnalité des étudiants. Le concept de pratique réflexive, notamment développé par Schön (1983), s'est intéressé à la fonction que peut avoir la réflexion portant sur l'identité professionnelle, le savoir professionnel et l'expertise. Selon lui, l'expert ne fait pas qu'appliquer des théories, il est un praticien qui réfléchit. Nous distinguons deux types de réflexion : celle menée sur l'action effectuée a posteriori, selon un processus objectif et systématique, permettant d'analyser une situation vécue (Albarello, 2012 ; Mialaret, 1996) ; celle pratiquée dans l'action se déroulant durant l'activité et permettant la prise de décision. Étant donné les caractéristiques des deux types de réflexion, il semble plus aisé de mettre en évidence la réflexion sur l'action que la réflexion dans l'action. Cowan (2017) ajoute deux nouveaux types de réflexion : celle effectuée pour l'action et qui encourage la planification, et celle qui facilite la maturation des compétences et l'acquisition de l'expertise. Schneuwly (2015) souligne que ces différents concepts doivent s'adapter aux contextes et prendre en compte les spécificités des progressions.

Afin de concrétiser l'articulation des espaces de formation plutôt que leur juxtaposition, les responsables des quatre formations analysées proposent des dispositifs originaux. Pour le dispositif d'apprentissage en TA, les étudiants sont placés dans des situations réelles. Ils vivent ainsi des expériences concrètes tout en étant encadrés par des professionnels, enseignants et praticiens. Les points de synergie permettant de former des ponts entre savoirs de la pratique, pour la pratique et sur la pratique (Maubant, 2007) peuvent ainsi être mis en évidence. Pour les dispositifs de formation des enseignants, le modèle d'alternance choisi se veut intégrateur (Périsset *et al.*, 2006). Ce chapitre s'inscrit à la suite de Schön (1983). Il s'agit de rendre complémentaires, étroitement imbriqués et mutuellement indispensables les deux espaces de formation (Tobola Couchepin et Périsset, 2021). Dans des dispositifs de formation en alternance, l'espace du concret, soit le stage sur le terrain ou la sphère pratique, est crucial dans le développement professionnel. Dans les formations décrites ici se joue la construction d'un savoir professionnel, dans le sens où l'entendent notamment pour l'enseignement Buysse et Vanhulle (2009) : les savoirs théoriques, issus de la recherche scientifique, sont liés avec des savoirs issus de l'expérience du terrain, l'un et l'autre s'éclairant, se nourrissant, se donnant réciproquement sens et légitimité. Ces deux types de savoirs, lorsqu'ils s'intègrent l'un à l'autre, deviennent professionnels et sont reconstruits, transformés, personnalisés. Dès lors, c'est leur articulation qui est professionnalisante.

Alternance : la construction d'une didactique de la formation professionnelle

L'élaboration de dispositifs de formation consiste à construire une didactique de la formation professionnelle. Plusieurs concepts didactiques nous intéressent ici. Tout d'abord, la théorie des situations didactiques de Brousseau (1988) qui a pour ambition l'identification et l'objectivation des conditions permettant d'obtenir, dans un cadre temporel, l'apprentissage d'un savoir considéré comme utile. L'apprentissage se réalise au sein de quatre pôles interreliés qui composent le système didactique : savoir, enseignant, apprenant et milieu. Le savoir regroupe les compétences à acquérir. Dans les formations en alternance, les concepteurs choisissent les conditions optimales dans lesquelles l'apprentissage des compétences professionnelles visées est

possible dans un temps restreint et par un investissement raisonnable. Le concept de milieu (Brousseau, 2010) permet de s'interroger sur les informations que reçoit l'apprenant et les interactions qui régissent l'apprentissage. Toute information peut devenir signifiante, qu'elle soit reçue de l'enseignant, des manuels ou de la situation. L'apprenant la reçoit, l'interprète et la transforme pour développer ses connaissances et compétences tout en s'adaptant au milieu dans lequel il évolue. Les dispositifs construits et proposés sont potentiellement pertinents pour l'apprentissage souhaité. Il s'agit toutefois de les interroger, comme le suggèrent Schubauer-Leoni *et al.* (2007), afin de mettre en évidence en quoi et à quelles conditions ils peuvent constituer de réels espaces de formation. Dès lors, il s'agit d'identifier quelles informations, quelles sanctions, quelles rétroactions pertinentes reçoit l'apprenant du milieu et de son organisation pour orienter ses choix, s'engager dans sa formation, investir ses connaissances et développer ses compétences. À l'aune de ces considérations, notre étude cherche avant tout à caractériser la spécificité des savoirs visés dans chaque formation, à identifier les régulations proposées et à définir l'expérience d'apprentissage vécue par les étudiants. La question qui guide notre réflexion est la suivante: comment peut-on définir nos quatre dispositifs de formation à l'aune de la forme d'alternance choisie et des conditions offertes par le milieu pour développer les connaissances et compétences requises?

Quatre dispositifs de formation interrogés

Quatre dispositifs de formation sont ici présentés et comparés. Tout d'abord, il s'agit de définir les deux dispositifs innovants de la TA: celui du domaine de la gestion et celui de la santé. Ils sont tous deux intégrés à la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO), une institution d'enseignement supérieur professionnalisante, ancrée dans différents cantons en Suisse romande. Les deux autres dispositifs concernent la formation à l'enseignement. Ils font partie de la même institution tertiaire: la Haute école pédagogique (HEP). La première formation est de premier cycle pour les futurs enseignants du primaire. La seconde, consécutive à des études universitaires disciplinaires, est destinée aux enseignants du secondaire. Avant de les comparer, nous les présentons succinctement en partant des compétences visées et des dispositifs construits.

La complexité de la compétence

Selon Le Boterf (2008), la compétence est la mobilisation ou l'activation de plusieurs savoirs dans un contexte spécifique. C'est donc un processus dynamique qui organise différentes ressources, cognitives, affectives, conatives et matérielles (Mukamurera et Tardif, 2016) dans une certaine situation. Pour Le Boterf et Meignant (2020), la compétence se déploie chez un individu qui est dit compétent lorsqu'il combine des savoirs, individuellement ou en groupe.

Dans la Team Academy

Dans un contexte complexe et en perpétuel mouvement axé sur l'innovation et la transformation digitale de la société les étudiants et futurs professionnels ont besoin d'une combinaison de savoir-faire différents de ceux du passé (WEF, 2015). Ils doivent s'appuyer sur les compétences définies par la filière, mais aussi sur celles liées à la capacité d'apprendre, de réfléchir et d'interagir. Il s'agit notamment de mettre en évidence la *créativité*, l'*esprit critique*, la *communication* et la *coopération* (Lamri, 2018; WEF, 2015). Ces quatre compétences clés, jusque-là peu considérées mais particulièrement développées en TA, permettent de nous adapter en temps réel à des situations variées. Parallèlement à ce contexte en mouvement qui exige d'intégrer des compétences innovantes pour repenser de nouvelles approches pédagogiques, Dubosson *et al.* (2017) relèvent la montée en puissance de l'apprentissage expérientiel.

Dans la formation des enseignants

Dans le cadre de la formation des enseignants, l'agir professionnel peut être qualifié d'expert lorsqu'il est tourné vers les apprentissages des élèves. Bon nombre de réflexions théoriques et scientifiques se sont penchées sur les conditions favorables à la construction des compétences visées. Afin de permettre le développement harmonieux des compétences attendues, la formation en institution et la formation sur le terrain sont étroitement liées et articulées depuis la création de la HEP dans les années 2000 (Périsset *et al.*, 2006). En son cœur réside la formation à la réflexivité. Selon Buysse (2011), elle s'acquiert progressivement dans le cadre d'une formation structurée et structurante, avec

le soutien d'outils de réflexion et de l'accompagnement des formateurs, qu'ils appartiennent à la sphère de l'institution ou à celle du terrain.

Dispositifs : milieux et alternance

Dans la Team Academy

Répondant à la fois à un besoin lié au contexte et aux étudiants qui désirent apprendre différemment, la pédagogie de la TA, issue du monde de l'entrepreneuriat, s'appuie sur le constat que nous apprenons par l'expérience et dans l'interaction. Elle est basée sur l'apprentissage expérientiel, développé notamment par Dewey (1938), que Beard (2018) décrit comme un processus durant lequel la connaissance se crée par la transformation d'expérience ayant du sens. L'apprentissage est enraciné dans l'agir. Finalement, il est un processus de reconstruction réalisé par l'apprenant.

Dès 1993, expérimenté en Finlande, le modèle TA est reconnu comme référence et affirme non seulement la création d'un contexte innovant et efficace pour générer l'apprentissage, mais évoque également une meilleure employabilité de ses étudiants à l'issue de leur formation. Ce modèle finlandais apporte de plus une contribution sociale et économique (Tosey *et al.*, 2015). L'approche est radicalement détachée de la transmission du savoir. Elle favorise principalement l'autonomie et l'apprentissage en équipe en développant des compétences en communication. Dépourvue d'un plan de cours, la méthode est basée sur des *sessions de dialogue* et de *formation*. Le dialogue est compris comme un penser ensemble et mobilise les principes de respect, d'écoute et d'échange. Dans les sessions de formation, les étudiants sélectionnent les contenus leur permettant de structurer l'apprentissage et sollicitent un expert du domaine en collaboration avec les enseignants. Ces deux sessions englobent différentes étapes, telles que : le Check-In, quoi de neuf informel ; une réflexion sur les projets ; des présentations de livres, d'articles ; le développement et la gestion de l'équipe et finalement le Check-Out, clôture de la session (Nonaka et Takeuchi, 1995 ; Ruuska et Krawczyk, 2013 ; Tosey *et al.*, 2015). La dialectique entre ces deux modes de session permet le dialogue tout en apprenant en équipe et en partageant ses idées dans une posture réflexive (Ruuska et Krawczyk, 2013).

En TA, l'étudiant est sans cesse incité à questionner et à confronter les savoirs issus de différents domaines, théorie et pratique, afin de les

réorganiser et de les transformer en connaissances. Dans ce processus de restructuration, les conflits sociocognitifs générés provoquent une déstabilisation. Cette dynamique de déconstruction/reconstruction, où l'erreur est une étape importante, permet ainsi l'apprentissage (Danan *et al.*, 2018). Apprendre, c'est donc réorganiser, transformer ou éliminer des conceptions par un processus de déséquilibre et rééquilibre (Piaget, 1975). Si ce processus de l'apprentissage engage l'étudiant d'une manière autonome à transformer les savoirs en connaissances, à déconstruire et à reconstruire ces dernières, il ne peut se détacher des interactions sociales, essentielles en TA, notamment lorsqu'il se confronte aux points de vue parfois divergents des autres étudiants ou lors des échanges avec les enseignants qui ont un rôle de coachs. Il apprend alors à la fois seul, mais aussi en équipe. Le conflit sociocognitif dans l'acquisition des nouvelles connaissances est ainsi double, se situant sur le plan à la fois intra-individuel et interindividuel. Dans la TA, en s'appuyant sur une approche socioconstructiviste (Jonnaert et Vander Borgh, 2008), d'une part, la dimension interactive dans l'apprentissage prend en considération les pairs en mettant leurs connaissances en confrontation, d'autre part, la dimension constructiviste favorise l'activité réflexive de l'apprenant dans le développement de ses propres connaissances.

L'accompagnement des étudiants vise à favoriser le tissage entre les différents savoirs mobilisés dans les milieux considérés. Cela aide les étudiants à solidifier leurs connaissances et à les considérer de manière réflexive. Si l'étudiant est actif et explore, l'enseignant reste plus en arrière-plan pour permettre le dialogue entre les étudiants. Il les écoute, les observe et les questionne en les confrontant et en les encourageant à approfondir des pistes de réflexion, et en intégrant les erreurs comme une source d'apprentissage. Toutefois, cet enseignant, en tant que coach, est actif dans son rôle pédagogique : il leur apporte soutien et encouragement tout en fournissant des pistes et en les guidant vers l'acquisition des compétences (Ruuska et Krawczyk, 2013). L'objectif principal est de développer la capacité de dialogue de l'équipe, comme « un moyen d'accéder à l'intelligence et au pouvoir coordonné de groupes de personnes » (Tosey *et al.*, 2015, p. 183).

Dans ce parcours de formation innovant, les compétences des futurs professionnels ne sont plus seulement considérées comme relevant de la formation, mais comme résultant de parcours individualisés incluant le passage par des opportunités diverses de professionnalisation. Pour Le Boterf et Meignant (2020, p. 32), cela montre l'importance de

l'environnement. En intégrant l'environnement de l'étudiant dans son apprentissage, la TA peut être entendue comme un *living lab* où citoyens, habitants et usagers sont considérés comme des acteurs clés dans le processus de formation, de recherche et d'innovation (Ruuska et Krawczyk, 2013) et où l'étudiant coconstruit son parcours d'apprentissage avec un écosystème de proximité. Apprendre, c'est donc construire de nouvelles connaissances dans un rapport équilibré entre le sujet et son milieu (Bourgeois et Nizet, 1997, p. 62).

L'approche par projet est particulièrement valorisée par la TA : des projets individuels et en groupe, mais également des projets proposés par les milieux pratiques. L'exhaustivité dans la modalité d'évaluation et de validation se base autant sur une approche formative que sommative, par exemple à travers la constitution d'un portfolio, la participation à des quiz, la réalisation de présentations orales, de productions écrites ou encore d'activités individuelles ou collectives. Dans une évaluation à 360° (Tosey *et al.*, 2015), l'étudiant fait partie intégrante du processus d'évaluation, notamment formatif, ceci dans le but de développer son autoévaluation, sa posture critique et son engagement envers ses pairs. Dans cette approche pédagogique socioconstructiviste, l'étudiant est intégré dans une boucle de développement continu en constante évolution, dans un apprentissage durable (Kolb, 1984).

Les auteurs s'intéressant à la TA se réfèrent couramment au concept de l'apprentissage par expérience (Ruuska et Krawczyk, 2013; Tosey *et al.*, 2015). Être en contact direct avec les réalités étudiées, faire des expériences concrètes, rester actif et réflexif sont au cœur de l'apprentissage en TA. L'implication active, essence des théories de l'apprentissage expérientiel, pousse les étudiants à s'immerger rapidement dans des situations réelles où ils cherchent à mobiliser des savoirs et à créer de nouvelles connaissances dans un environnement contextualisé. La réflexion critique, la résolution des problèmes, la créativité, la communication écrite et interpersonnelle, les compétences d'analyse ainsi que le travail en équipe semblent particulièrement développés au travers de cet apprentissage expérientiel (Dubosson *et al.*, 2017, p. 157).

Dans la Team Academy-Gestion

La Team Academy-Gestion (TA-G) met un accent très fort sur l'autonomie et l'apprentissage en équipe en demandant aux étudiants de lancer des projets dès les premiers jours de leur formation. La grille de cours

est complètement abandonnée pour une immersion rapide dans des situations réelles et contextualisées. L'espace de la pratique est investigué et exigé tout au long du parcours d'apprentissage. Les sessions de dialogue hebdomadaires permettent une confrontation permanente des points de vue entre pairs, enseignants et superviseurs. La démarche réflexive analyse l'impact des actions réalisées sur les compétences visées. La TA-G démontre ainsi que les apports pratiques et académiques sont constamment en tension, plus simultanés que séquentiels. Cette très forte perméabilité des espaces implique une forte culture du dialogue au sein d'une équipe apprenante, avec le soutien d'un enseignant qui accompagne, interroge et établit non plus une alternance, mais une quasi-fusion entre l'action concrète et les savoirs théoriques. Via des cycles itératifs et réguliers, l'enseignant est le garant d'un processus qui permet la construction en équipe de nouvelles connaissances et expérimentations. Le dispositif des évaluations à 360° basé sur le portfolio individuel d'apprentissage complète cette approche en intégrant activement des experts praticiens pour valider la progression de chaque apprenant sur son référentiel de compétences.

Dans la Team Academy-Soins infirmiers

Au-delà du référentiel de compétences et du contrat tripartite, outils transversaux aux deux milieux dans le dispositif de la formation en soins infirmiers, l'articulation entre milieux théorique et pratique est encore plus interrogée en Team Academy-Soins infirmiers (TA-SI), où la volonté réciproque de découvrir le milieu de l'autre permet de rapprocher ces deux espaces de formation. Dans une collaboration renforcée entre les milieux académique et clinique, la formation pratique est organisée sous une forme filée qui imbrique les différents modules, théoriques et pratiques, et démontre clairement cette volonté d'une alternance intégrative. La conjonction entre les milieux est garantie par l'outil intégrateur du portfolio au-delà d'une collaboration renforcée et de la place occupée par l'étudiant qui articule ces deux espaces. Le portfolio, au carrefour de la théorie et de la pratique, rend compte des apprentissages dans un travail réflexif formalisé qui exige un investissement régulier pour démontrer non seulement l'évolution, mais aussi l'acquisition des compétences. Étant intégré dès le début de la formation, il permet une articulation dynamique entre les milieux de formation en assurant l'adéquation et la cohérence entre théorie et pratique.

Dans la formation des enseignants

Les formations à l'enseignement primaire (EP) et secondaire (ES) de la HEP sont des formations en alternance qui prônent la réflexivité pour accompagner le développement des compétences professionnelles visées. Elles forment les étudiants dans trois domaines articulés et complémentaires : les sciences de l'éducation, les didactiques et le terrain. Afin de permettre une intégration mutuelle de ces trois domaines, la réflexivité, quatrième domaine, revêt toute son importance (Périsset *et al.*, 2015). Dès sa création, la HEP a mis en place des dispositifs pour encourager la réflexivité. L'alternance est considérée ici comme intégratrice car elle montre l'imbrication dynamique des deux espaces de formation, distincts mais complémentaires et non hiérarchisés. Le dispositif EP apparaît comme plus classique dans la mesure où les étudiants alternent les temps de cours et de stages et où ils acquièrent progressivement autonomie et responsabilité (Lebaume, 2000). Le dispositif ES est, quant à lui, post universitaire et basé sur un cursus de formation duale. Les étudiants sont à la fois en formation, mais aussi en charge d'une classe en tant qu'enseignants.

Durant les formations, les compétences à développer font l'objet d'évaluations régulières à travers les stages et les cours dispensés en institution. En revanche, même si le processus de formation se veut inscrit dans un curriculum spiralaire (Nonnon, 2010), il apparaît plutôt linéaire pour un certain nombre de compétences (Tobola Couchepin et Barras, 2020). En fin de formation, elles sont toutes mises en lumière lors d'une évaluation en trois volets : l'examen de terrain en classe à la fin du stage final, la présentation critique du portfolio et la soutenance du mémoire de recherche. Ces trois volets rassemblent des experts représentant l'institution de formation, le terrain et les autorités scolaires.

Dans l'enseignement primaire

En trois ans de formation, les étudiants de l'enseignement primaire (EP) réalisent six stages différents. Leurs objectifs sont progressifs tant dans la durée que dans les responsabilités données aux stagiaires. En revanche, ils ne recouvrent pas explicitement toutes les compétences à travailler. Dès lors, garder une vision complète de leur développement évolutif représente un réel défi (Tobola Couchepin et Périsset, 2021).

Cohen-Scali (2000) relève les caractéristiques de la profession visée et la motivation à les faire évoluer. Les étudiants sont plus friands de ce que leur apportent la pratique et les professionnels du terrain. Ils ont en revanche tendance à se détourner des apports plus théoriques proposés par l'institut de formation. Comprendre ce processus est essentiel pour saisir l'élément clé qui va permettre à l'institut de formation de promouvoir un programme permettant de réaliser l'alternance intégratrice. En suivant Schön (1983), il est essentiel d'assurer le dialogue entre les professionnels du terrain et les enseignants de l'institution. Leurs rôles peuvent être définis et coordonnés pour «les rendre complémentaires, étroitement imbriqués, liés, indispensables pour l'écologie du dispositif de formation» (Tobola Couchepin et Périsset, 2021, p. 11). C'est pour cette raison que la HEP forme les professionnels qui accompagnent les étudiants sur le terrain.

À la fin de chaque stage, les étudiants sont supervisés par un enseignant de la HEP pour favoriser le dialogue avec les professionnels du terrain autour de la pratique du stagiaire et du développement de ses compétences. Ces supervisions permettent la complémentarité des regards lors du temps d'observation puis de l'entretien tripartite qui suit (Acheson et Gall, 1993).

D'autres espaces et temps de formation viennent appuyer l'alternance intégratrice. Parmi eux, on trouve, d'une part, les séances de cours et les séminaires d'analyses de pratiques, lors desquels les situations vécues sont mutualisées et analysées à l'aune des éclairages théoriques apportés par les enseignants de l'institution. D'autre part, de petits groupes d'étudiants sont rassemblés lors de séances de mentorat, dans lesquelles un éducateur désigné suscite le débat et le questionnement autour du développement professionnel des étudiants. Par ailleurs, divers instruments accompagnent les étudiants dans leur démarche réflexive : le référentiel de compétences, le journal de bord (Truffer, 2006), le portfolio (Buysse et Renaulaud, 2014) et sa présentation critique en fin d'études (Buysse, 2011; Buysse et Vanhulle, 2009).

Dans l'enseignement secondaire

La formation duale de l'enseignement secondaire (ES) favorise également l'articulation théorique et pratique. En effet, autour de l'enseignant en formation, se trouvent certes ses collègues et son espace de travail, mais également les enseignants de l'institution, qui sont parfois aussi des mentors (Barras et Mudry, 2016). L'accompagnement effectué

a pour objectif de favoriser la collaboration et le transfert de l'expertise (Prud'Homme et Leclerc, 2014). La fonction principale de ce tuteur est d'aider au développement de la réflexivité chez l'étudiant-enseignant (Bourassa *et al.*, 1999). Responsable d'un groupe de six à huit étudiants, le professeur a la charge d'animer des séances dédiées, d'observer une fois par an ses étudiants sur le terrain et de commenter leurs rapports de stage. À la fin de la formation, un bilan de compétences est défendu, attestant le développement professionnel et le plan d'action de formation continue envisagé pour le futur enseignant.

Comparaison des quatre formations

Les dimensions présentées dans les quatre formations décrites donnent à voir des particularités. Leur point commun est la réflexivité, centrale pour soutenir le développement des compétences. Pour la TA-G et la TA-SI, l'apprenant se trouve directement dans l'action. C'est lui qui mobilise l'enseignant si nécessaire après avoir identifié ses besoins pour trouver des solutions et des réponses à ses questions. Dans le cas de l'ES, la formation duale cherche à favoriser le questionnement du jeune enseignant en formation. Les étudiants de l'EP sont plongés dans un dispositif où ils ont plusieurs espaces de formation et différents interlocuteurs pour interroger leurs besoins de formation (tableau 8.1).

Notons qu'en EP les espaces de formation se succèdent dans un rythme long, quatre à cinq semaines de cours, suivies de stages. Le lien entre les deux espaces est favorisé par la communication des différents protagonistes, pratiques et académiques, afin de favoriser une alternance intégratrice. En revanche, dans la TA-G, le rythme est beaucoup plus court. Dès lors, même si les temps dévolus à la part académique ou pratique sont distincts, le fait qu'ils soient très rapprochés, reliés l'un à l'autre sur un espace temporel réduit (même demi-journée), donne une impression de fusion, tel un film d'animation dans lequel les photographies successives donnent le sentiment d'un tout. La TA met ainsi en place une alternance projective (Jorro, 2007) (figure 8.1).

Les modèles d'alternance, accompagnés de la démarche réflexive, permettent la construction de l'expérience des différents vécus professionnels. En ce sens, l'alternance plonge les étudiants dans des situations leur permettant d'expérimenter, de construire et d'affiner différents prototypes.

TABLEAU 8.1 Comparaison des quatre formations analysées.

	TA-G	TA-SI	EP	ES
Réflexivité	Primordiale pour soutenir le développement des compétences			
Compétences professionnelles	Compétences du XXI ^e siècle + compétences de la filière		15 compétences dans 4 champs différents	
Évaluation des compétences	Évaluation à 360°, semestrielle, demandant une soutenance progressive avec feedback des pairs, des enseignants et des praticiens entrepreneurs ou formateurs		Évaluation semestrielle et partielle des compétences (stages et cours) Évaluation finale portant sur l'ensemble des compétences	
Alternance	Réunion des deux espaces de formation	Forte similarité des deux espaces de formation	Alternance intégratrice reliant activement les deux espaces de formation	Formation duale avec alternance intégratrice
Personnes-ressources	Enseignants avec rôle de coach Experts de domaines à la demande des étudiants Importance du groupe de pairs	Enseignants avec rôle de coach Praticiens formateurs Experts de domaines Importance du groupe de pairs	Enseignants Praticiens formateurs Mentors avec petit groupe d'étudiants Travail commun des différents protagonistes	Enseignants Praticiens formateurs Mentors avec petit groupe d'étudiants + observation sur le terrain Travail commun des différents protagonistes

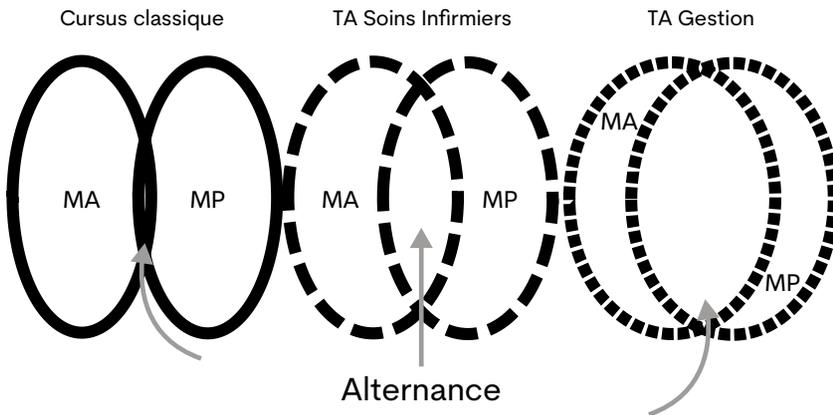


FIGURE 8.1 Vers une modélisation de l’alternance entre les milieux académiques (MA) et pratiques (MP).

Dispositif réalisé

Après avoir mis en évidence la particularité et les ressemblances des dispositifs présentés, il s'agit à présent de demander en quoi ils modifient l'expérience d'apprentissage des étudiants : est-ce que des différences sur le plan de l'expérience d'apprentissage sont visibles ? Plus particulièrement, quelle est la motivation déclarée par les étudiants ? Quelle est la charge de travail identifiée ? Pourquoi et comment apprennent-ils ?

Méthode

La population de cette étude est composée de 115 étudiants, dont 20 TA-G, 12 TA-SI, 55 EP et 28 ES. Ces nombres reflètent la taille de ces filières, environ 30 TA-G, 15 TA-SI, 100 EP et 45 ES. Les variables considérées sont l'alternance dans la formation selon les quatre dispositifs. La motivation des étudiants à se former est évaluée au début de la formation et lors de l'envoi du questionnaire, avec une échelle comportant six positions. La charge de travail est déterminée par le nombre d'heures hebdomadaires effectuées et par la représentation de cette charge sur une échelle allant de faible à trop élevée. Les étudiants répondent aux items des variables sur une échelle d'accord comportant quatre positions. Les commentaires sont également récoltés. Nous avons utilisé l'outil de questionnaire en ligne Forms d'Office 365. Le questionnaire est composé de plusieurs parties dont nous conservons ici celles servant notre réflexion : la motivation, la charge de travail et l'expérience d'apprentissage. Il est envoyé électroniquement aux étudiants par les responsables de la formation pour les TA durant le semestre et par le chargé de cours, pour la HEP lors du rendu des notes. Le consentement libre et éclairé est demandé aux répondants. Leur anonymat est garanti. Il n'y a pas eu de relance.

Résultats

Examinons d'abord la motivation des étudiants en la liant avec la charge de travail. Ensuite, nous détaillons leurs apprentissages en pointant le « pourquoi », puis le « comment » ils apprennent. Nous analysons en premier les données quantitatives qui sont précisées par les commentaires qualitatifs récoltés.

Motivation et charge de travail

Les répondants indiquent globalement une baisse de motivation depuis le début de leurs études. Une analyse du delta de la motivation de départ et du moment de passation du questionnaire montre des différences selon les dispositifs (tableau 8.2). Nous notons une baisse généralisée à l'exception de l'ES, où la motivation progresse légèrement.

TABLEAU 8.2 Tests non paramétriques sur le delta de la motivation (motivation actuelle – motivation au début des études). Les comparaisons par paires sont indiquées par des croix.

Variable	EP n = 55	ES n = 28	TA-SI n = 12	TA-G n = 20	χ^2_{K-W}	U	P
Motivation δ	- 1,2 (1,3)	,2 (1,7)	- ,8 (1,5)	- ,4 (1,4)	17,4		,001
	x	x				379,5	<,001
	x		x			270,0	,26
	x			x		351,5	,01
		x	x			110,5	,08
		x		x		214,5	,16
			x	x		100,5	,43

Une analyse des commentaires libres sur la motivation précise les résultats présentés. Nous relevons 75 commentaires sur la description actuelle de la motivation, dont 39 sont positifs, 28 marquent une stagnation et 33 une baisse. Dans les commentaires positifs, en EP, la pratique ressort : «les stages garantissent une très grande motivation». Ceci est également présent dans les commentaires des étudiants en ES où on relève le lien avec la pratique «Augmentation de la motivation suite aux nouveaux outils apportés par l'école.» En revanche, d'autres éléments apparaissent comme des leviers de motivation dans les formations TA. En TA-SI, l'autonomie ressort «Elle est plus spécifique et je n'ai pas de limite de recherches». En TA-G, l'aspect concret représente un levier «Elle a évolué avec les études. Une motivation d'étudier est devenue une motivation de travailler et de produire.»

Nous relevons aussi les aspects négatifs qui pointent la surcharge de travail : « La motivation a diminué un peu par rapport à la charge de travail et les légères difficultés à organiser la vie d'étudiante et personnelle »; l'organisation : « Ma motivation est de mettre mes services au monde professionnel plutôt qu'académique », « la motivation est vite descendue quand j'ai vu comment se déroulaient les cours et au vu de l'organisation de l'école »; et le choix de carrière : « Moins convaincu qu'au départ que ce choix professionnel soit le bon ».

La charge de travail déclarée par les étudiants est de 20 h 29 min (min. = 0, max. = 84 h.) en moyenne par semaine. Ce résultat varie fortement selon le dispositif de formation, avec des charges plus importantes pour les dispositifs en TA (tableau 8.3).

TABLEAU 8.3 Charge de travail hebdomadaire moyenne déclarée par les étudiants selon le dispositif de formation, tests non paramétriques. Les comparaisons par paires sont indiquées par des croix.

Variable	EP n = 55	ES n = 28	TA-SI n = 12	TA-G n = 20	χ^2_{k-w}	U	p
Heures travail hebdomadaire	13h20' (8h50') min. 0 max. 45	16h30' (12h50')	41h05' (18h26')	33h18' (12h50')	43,1		<,001
	x	x				690,5	0,44
	x		x			45,5	<,001
	x			x		119,5	<,001
		x	x			445,5	<,001
		x		x		89,0	<,001
			x	x		86,0	0,18

La représentation de la charge de travail est déclarée comme grande pour la majorité des étudiants. Toutefois, elle diffère selon le dispositif de formation et est plus importante pour les TA et l'ES, avec plus de 20% des répondants déclarant une charge trop grande. En outre, la moitié des étudiants de la TA-SI la trouve faible.

Une analyse corrélative sur le dispositif de formation, la motivation et la charge de travail montre le lien entre ces deux variables. Lorsque

la zone d'alternance augmente dans le dispositif, les corrélations avec le delta de la motivation, les heures de travail et la charge dans les études sont positives et significatives (tableau 8.4).

TABLEAU 8.4 Corrélations de Kendall selon le dispositif de formation, la motivation et la charge de travail.

Variables	1	2	3	4
1. Dispositif	-	,23*	,42*	,34*
2. Motivation δ		-	-,08	,01
3. Heures travail hebdomadaire			-	,32*
4. Charge de travail études				-

* La corrélation est significative au niveau .01.

Expérience d'apprentissage

Nous séparons l'évaluation de l'expérience d'apprentissage des étudiants entre le « pourquoi » ils apprennent et le « comment ». Au sujet du « pourquoi », ils se différencient selon la filière de formation. Les étudiants évoquent leurs besoins, les demandes des enseignants, la réussite des études, la réussite d'un projet/cours et le développement de leurs compétences (tableau 8.5). Nous ne notons pas de différence entre les deux dispositifs en TA, alors que les réponses les plus positives sont en ES et elles le sont significativement plus que dans tous les autres dispositifs, sur toutes les questions.

Les questions sur le « comment » les étudiants apprennent indiquent moins de disparités entre les dispositifs, mais plus sur les manières d'apprendre (tableau 8.6). Par exemple, « apprendre en se trompant » reçoit des réponses différentes dans chaque dispositif, mais avec une valence plus positive en ES. Ce dispositif ressort également pour l'aide offerte ou reçue pour apprendre, qui est plus importante que dans les autres. La lecture d'articles scientifiques pour apprendre est globalement plus importante en TA.

TABLEAU 8.5 Pourquoi les étudiants apprennent, selon le dispositif de formation, tests non paramétriques. Les comparaisons par paires sont indiquées par des croix.

Apprendre pour...	EP n = 55	ES n = 28	TA-SI n = 12	TA-G n = 20	χ^2_{k-w}	U	P
Ses besoins	1,5(,7)	2,3(,7)	1,1(,3)	1,2(,5)	34,9		<,001
	x	x				349,5	<,001
	x		x			228,5	,05
	x			x		422,0	,08
		x	x			32,5	<,001
		x		x		72,0	<,001
Demandes des enseignants	1,5(,6)	2,1(,7)	1,3(,8)	1,2(,8)	16,8		,001
	x	x				451,0	,001
	x		x			279,5	,36
	x			x		459,5	,23
		x	x			80,0	,001
		x		x		135,0	,001
Réussir ses études	1,5(,5)	2,8(,5)	1,0(,4)	1,2(,5)	59,5		<,001
	x	x				148,0	<,001
	x		x			222,5	,04
	x			x		438,5	,11
		x	x			7,5	<,001
		x		x		17,5	<,001
Réussir projet/cours	1,5(,7)	2,8(,5)	1,6(,5)	1,2(,6)	53,3		<,001
	x	x				148,0	<,001
	x		x			276,0	,32
	x			x		469,0	,26
		x	x			20,0	<,001
		x		x		21,0	<,001
Compétences	1,5(,4)	2,8(,4)	1,1(,3)	1,2(,5)	60,0		<,001
	x	x				154,0	<,001
	x		x			234,5	,06
	x			x		430,5	,09
		x	x			3,5	<,001
		x		x		14,0	<,001
		x	x	111,5	,74		

TABLEAU 8.6 Comment les étudiants apprennent, selon le dispositif de formation, tests non paramétriques.

Apprendre en...	EP n = 55	ES n = 28	TA-SI n = 12	TA-G n = 20	c^2_{k-w}	U	P
Pratiquant	1,6(,6)	1,8(,7)	1,2(,4)	1,1(,5)	20,9		<,001
	x	x				633,5	,13
	x		x			202,0	,02
	x			x		305,0	,001
		x	x			78,0	,003
		x		x		118,0	<,001
			x	x		108,0	,66
Se trompant	1,6(,7)	2,1(,8)	1,1(,3)	1,2(,4)	25,5		<,001
	x	x				480,5	,003
	x		x			193,0	,01
	x			x		380,0	,02
		x	x			51,0	<,001
		x		x		106,0	<,001
			x	x		106,0	,60
Lisant des articles	,9(,7)	,9(,8)	1,3(,6)	1,4(,6)	9,6		,02
	x	x				719,5	,60
	x		x			251,0	,16
	x			x		360,0	,01
		x	x			114,0	,08
		x		x		161,0	,006
			x	x		104,5	,55
Aidant les autres	1,4(,6)	1,7(,8)	1,3(,4)	1,4(,6)	7,3		,06
	x	x				586,5	,05
	x		x			268,5	,26
	x			x		509,5	,59
		x	x			99,0	,03
		x		x		194,0	,05
			x	x		106,5	,60
Se faisant aider	1,5(,7)	2,1(,8)	1,3(,5)	1,4(,5)	20,3		<,001
	x	x				435,5	<,001
	x		x			243,0	,11
	x			x		480,0	,35
		x	x			61,5	,001
		x		x		128,0	,001
			x	x		102,0	,50

Nous avons récolté 55 commentaires sur la manière d'apprendre (8 TA-G, 10 TA-SI, 26 EP et 11 ES). La réflexion (8) et les liens entre les apprentissages (6) apparaissent particulièrement en EP: «Je fais moins de par cœur pur, j'essaie beaucoup de mettre les théories en lien avec la pratique», «J'essaie d'être moins perfectionniste, de faire des liens avec mon futur métier et d'être synthétique». L'organisation de la manière d'apprendre nécessite une adaptation de la part des étudiants, parfois avec un peu de difficulté, ainsi que l'expriment deux étudiants d'ES: «La manière d'enseigner m'a tout d'abord déstabilisée, mais je me rends compte avec le recul que j'ai appris et mémorisé les concepts plus profondément et durablement je pense que lors de cours magistraux à l'université», «J'ai beaucoup moins peur de me lancer, de tenter de nouvelles choses et donc de me tromper». Les étudiants de TA insistent davantage sur le travail de groupe: «J'aime collaborer avec les autres étudiants pour étoffer mes connaissances», «On apprend tous ensemble, ce qui apporte énormément de ressources». Le fait de travailler de façon continue est également relevé: «J'apprends en continu, c'est la première fois que je termine un travail à rendre plusieurs jours avant le délai.»

Discussion

La motivation des étudiants durant leurs études est dynamique et variable (Philippe *et al.*, 1997; Viau, 2009). Nous observons qu'elle diffère selon les dispositifs de formations. Elle tend à s'accroître lorsque les étudiants ont un engagement professionnel en parallèle de leurs études. Ces données suggèrent un renforcement de la motivation intrinsèque (Ryan et Deci, 2000). De plus, ces étudiants peuvent donner du sens à la formation dans cette situation (Thievenaz, 2019). Un processus dynamique et une alternance réellement intégratrice peuvent s'engager entre les deux espaces de formation: d'une part, l'institution et les savoirs issus de la recherche scientifique permettent de répondre à des besoins, des questions; d'autre part, les savoirs émanant de la pratique sont directement éclairés et enrichis par les apports de l'institut de formation, et le tout est relié à l'aide qu'apporte la pratique réflexive.

La charge de travail varie également selon les dispositifs, mais elle est plus élevée en TA. Selon la comptabilisation des crédits, elle devrait se situer entre 40 et 47 heures par semaine pour les cours, leur préparation et l'évaluation. Elle est ainsi considérée comme importante pour

les étudiants de TA, mais aussi pour ceux en formation duale de l'ES qui travaillent généralement comme enseignants stagiaires en plus de leurs études. Ces données doivent également nous rendre attentifs aux risques de surcharge de travail. D'ailleurs, une méta-analyse pointe les risques de dégradation de la santé liés à la surcharge de travail (Li *et al.*, 2020).

À la question « pourquoi j'apprends ? », les étudiants en ES notent un apprentissage en profondeur (Romano, 1991). Ils sont également dans un processus de développement professionnel clairement identifié et dont les besoins sont saillants (Buysse, 2018). Ces éléments sont moins bien identifiés en TA. Le lien avec le monde professionnel est moins perceptible pour des étudiants en formation initiale par rapport à des étudiants en formation consécutive à des études universitaires.

S'agissant des liens entre motivation et charge de travail, il apparaît que les étudiants surchargés par les tâches à accomplir tendent à perdre leur motivation. La formation devient une source de stress (Núñez-Regueiro et Leroy, 2022). Ceci est particulièrement visible en TA, alors qu'en ES, le fait d'être impliqués professionnellement accroît la motivation intrinsèque de ces étudiants (Ryan et Deci, 2000). Dès lors, il s'agit d'interroger les facteurs modulant la motivation dans la formation.

Le « comment apprendre ? » se différencie selon les dispositifs. Nous relevons des éléments d'autonomie dans l'apprentissage en TA, où les étudiants lisent. Ceux en ES perçoivent mieux les erreurs comme moyen d'apprendre. Ce sont aussi les plus experts dans des études supérieures, puisqu'ils ont déjà réussi une première formation universitaire disciplinaire. Les étudiants interrogés utilisent, avec différents niveaux d'expertise, une méthode d'enquête leur permettant d'acquérir une expérience d'apprentissage (Dewey, 1938).

Le paradigme d'apprentissage (Jouquan et Bail, 2003) assumé dans ces dispositifs peut déstabiliser les étudiants dans leurs représentations de l'apprentissage. Force est de constater que pour une partie, ils se rendent compte de leur autonomisation dans cette démarche au travers de la méta réflexion et de l'organisation du travail.

Conseils

Il est indéniable que le modèle d'alternance entre théorie et pratique est propice à l'apprentissage des étudiants car il permet de tester différents prototypes dans une réalité professionnelle. Cette alternance

se construit de diverses manières. Cependant, si elle offre un avantage pour l'expérience d'apprentissage des étudiants, elle a également un coût en termes de charge de travail.

Nous rendons attentifs les concepteurs de cursus au guidage et au soutien proposé aux étudiants. En effet, ils doivent être aidés dans leur travail, guidés dans leur pratique réflexive et parfois retenus dans leur envie de perfection. Il ne faut pas oublier que l'enseignement supérieur est un passage vers le monde professionnel. Il faut donc veiller à la charge de travail, à la dynamique motivationnelle et au décrochage des étudiants.

Pour favoriser la réflexivité, le rôle des personnes gravitant autour des étudiants doit être précisé. Alors que les professionnels du terrain qui accueillent les étudiants (TA-SI, EP, ES) peuvent se référer à un référentiel de compétences clair, il s'avère que les enseignants et mentors de l'EP et ES n'en disposent pas à l'heure actuelle. Au sein des TA-G et TA-SI, la fonction d'enseignant en tant que coach gagnerait à être précisée et accompagnée d'une formation externe. Communiquer autour des compétences attendues et les travailler en concertation dans chaque dispositif de formation permettrait sans doute de soutenir davantage les étudiants dans leur formation.

Les modèles d'alternance proposés ne sont pas si novateurs qu'il y paraît. En effet, la littérature nous indique clairement ces prémisses de la pratique réflexive et de l'articulation théorie-pratique dès le début de XX^e siècle. Cependant, l'histoire nous éclaire également, les bâtisseurs de cathédrales utilisaient, le temps de la construction, le compagnonnage comme dispositif de formation. Bien qu'aujourd'hui nous ne bâtissons plus de cathédrales, notre société est tournée vers la construction des connaissances. Dans ce sens, l'enseignement supérieur a tout à gagner à réinvestir des formes de compagnonnage dans ses offres de formation.

Alban Leroyer, Morgan Magnin,
Émilie Poirson & Gwénaëlle Le Mauff

9 Option projet : objectif compétences

Résumé

Ce chapitre s'inscrit dans une volonté de proposer une modalité d'apprentissage permettant aux étudiants de développer leurs compétences tant transversales que techniques, en évitant les cloisonnements parfois à l'œuvre dans les processus d'évaluation de celles-ci. Pour ce faire, nous avons contribué depuis 2016 à la mise en place, à l'École centrale de Nantes, d'options projets. Une option projet est une année de spécialisation proposée de manière similaire aux options disciplinaires thématiques (génie industriel, informatique, robotique, etc.), en deuxième et troisième année du cursus d'ingénieur (équivalent master 1 et master 2), correspondant à 500 heures de formation, déclinées sur sept mois. La spécificité d'une option projet est qu'elle est focalisée, comme son nom l'indique, sur un projet au long cours, défini et identifié par l'équipe d'encadrement, transdisciplinaire et servant d'ossature à l'organisation de l'année universitaire complète. Chaque année, le panel des options projets proposées est révisé au sein du Conseil des études de l'établissement. Depuis 2016-2017, quatre options projets différentes, pour une centaine d'étudiants, ont vu le jour autour des problématiques suivantes : « Maison connectée pour la santé », notée « Smarthealth » dans la suite de ce chapitre (2016-2019), « Paris Scientifiques 2024 », notée « PariSci2024 » dans la suite (2018-2021), « Neutralité Carbone » (2019-2021), « Impact de la mobilité urbaine sur la santé » (2020-2021).

Introduction

Pour permettre à tout élève-ingénieur d'assimiler la complexité de l'environnement mondial en mutation, l'École centrale de Nantes a mis en place un enseignement renforcé sur les compétences transversales en complément des enseignements techniques et scientifiques traditionnels. Cette mise en œuvre s'est basée sur les résultats d'une enquête auprès du monde socio-économique, dont des diplômés de l'école bénéficiant d'un retour d'expérience sur l'intégration professionnelle. S'il était nécessaire, du fait de l'organisation pédagogique de l'école, d'amorcer ces apprentissages de manière indépendante, Centrale Nantes a toujours eu la conviction que c'est la formation via l'interaction de ces compétences qui distinguera nos jeunes ingénieurs. L'objectif est ainsi de proposer aux étudiants une modalité d'apprentissage plus ouverte et plus intégrative leur permettant à la fois un développement et une mise en œuvre contextualisée de leurs compétences. Il s'agissait donc de trouver une articulation pertinente permettant d'intégrer davantage le développement de compétences transversales au sein de la formation technique et scientifique. L'accent a donc été mis sur un apprentissage moins traditionnel que des séquences de cours magistraux et de travaux dirigés ou pratiques, c'est-à-dire sur une modalité de type projet, favorisant une approche « *learning by doing* ». L'originalité du dispositif présenté dans ce chapitre repose sur l'organisation d'une année complète de formation centrée sur un projet unique, d'envergure, impliquant un partenaire extérieur privilégié et mobilisant les élèves dans une démarche de prototypage.

Contexte et problématique

L'École centrale de Nantes est une grande école d'ingénieurs française à laquelle sont inscrits chaque année plus de 2200 étudiants, dans différents types de formations. Axée sur l'international avec 42 % de son effectif venant de l'étranger, elle propose, en plus de la formation d'ingénieur, 15 parcours de master international, des modules spécialisés de formation continue et autres diplômes d'établissement. Elle délivre également des doctorats, inscrivant ses activités dans deux écoles doctorales. C'est donc un éventail de formations larges, touchant des publics très différents, qui fait la richesse de l'école.

Le dispositif pédagogique proposé ici porte sur la formation d'ingénieur généraliste, plus particulièrement sur les quatrième et cinquième années d'études supérieures, équivalentes au master 1 et au master 2. Centrale Nantes forme des ingénieurs polyvalents dotés à la fois de compétences scientifiques et techniques approfondies et d'une solide culture managériale, capables de replacer les matières scientifiques dans un contexte global intégrant les questions environnementales et sociétales.

L'innovation pédagogique de cette école s'inscrit dans le référentiel exigeant de la Commission des titres d'ingénieur (CTI, 2022), organisme national autorisant les établissements à délivrer le titre d'ingénieur. Les référentiels de cet organisme rendent incontournable l'approche par compétences. L'institution s'est engagée dans cette démarche en 2015 au moyen d'un travail de fond, mené avec le Groupe des écoles centrales (GEC). Ce travail collaboratif a abouti à l'élaboration d'un référentiel commun de compétences de l'ingénieur centralien. L'école travaille d'ailleurs à décliner cette démarche dans les différentes formations et cursus : des ateliers internes ont été menés en 2016, puis au sein de l'alliance des établissements que sont Centrale Nantes, Audencia et l'École nationale supérieure d'architecture de Nantes, pour définir des compétences spécifiques à chaque formation. Les résultats de ce travail confirment qu'une application des apprentissages est nécessaire à mettre en place dans une situation d'évaluation pratique pour réellement intégrer ces apports techniques et humains, d'où l'idée de la modalité projet renforcée.

L'apprentissage par projet est de longue date inscrit dans les cursus. Classiquement, sur une année d'option disciplinaire (environ 400 heures d'enseignement pour les étudiants), un cinquième du volume horaire est consacré à des projets thématiques, qui restent plutôt académiques et d'une durée limitée. Dans le nouveau dispositif proposé, la quasi-intégralité de la formation est constituée par un projet qui doit répondre à un cahier des charges précis pour permettre aux étudiants de croiser les compétences identifiées.

La formation d'ingénieur de Centrale Nantes rend nécessaire une forte composante pluridisciplinaire du projet, basée sur les expertises scientifiques, techniques et technologiques présentes à l'École. Il est à noter que l'adossement de l'enseignement à une recherche de pointe dans des domaines d'application variés élargit le spectre des applications potentielles. Le deuxième point fondamental est d'identifier un

acteur extérieur, tenant le rôle de « client », plaçant ainsi les étudiants dans des situations professionnelles. La durée de la formation de sept mois, hors stage, implique une réactivité importante des interlocuteurs, que ce soit chez le « client » ou en interne. Le choix de l'encadrement est donc très important. Si le sujet est défini, ainsi qu'un premier calendrier communiqué, le cahier des charges d'un tel projet ne doit pas être avancé au point de donner aux étudiants un rôle d'exécutant. En matière d'autonomie confiée, c'est un juste dosage, qui peut évoluer au cours du projet. L'analyse du dispositif que nous proposons veillera à vérifier que l'approche pédagogique adoptée permet d'accompagner les étudiants dans un réel processus de développement de compétences transversales, tout en approfondissant des compétences techniques de haut niveau visant à atteindre des postures professionnelles conformes au référentiel de compétences des ingénieurs centraliens. La suite de ce chapitre décrit l'expérimentation pédagogique menée, en illustrant les propos à l'aide de deux options projets : « Paris Scientifique 2024 » (PariSci2024) et « Maison connectée pour la santé » (Smarthealth).

Concepts

La nécessité de mettre en situation réelle et complexe les étudiants sur une durée suffisamment longue émane de la démarche adoptée collectivement par les établissements du GEC, se basant sur un référentiel de compétences commun décrit dans le tableau 9.1.

TABLEAU 9.1 Référentiel de compétences de l'ingénieur centralien.

C1 Créer de la valeur par l'innovation scientifique et technique.

C1C1 Faire émerger :

Positionner tout sujet d'innovation avec une vision large (comprenant les avancées scientifiques, le monde industriel, la responsabilité sociale et environnementale).

Faire exprimer son besoin à un client, ou analyser les besoins d'un marché, notamment en considérant l'impact environnemental et social du produit et de ses usages. Appliquer des méthodes de créativité.

C1C2 Oser :

Analyser les réussites et les échecs dans le cadre d'une réalisation collective.

Construire une démarche qui amènera à une décision de Go/No Go.

C1C3 Concrétiser :

Prototyper un produit ou un service, ou améliorer une solution de façon responsable.

Élaborer un business model.

C2 Appréhender, analyser, résoudre des problématiques relatives à des systèmes complexes.

C2C1 Représenter et modéliser :

Modéliser un système multidimensionnel à composants interdépendants et/ou non déterministes. Poser les hypothèses et conditions de validité.

C2C2 Résoudre et arbitrer :

Argumenter/discuter les choix opérés en s'adaptant à l'auditoire. Identifier les limites de validité de la solution proposée pour faire évoluer l'approche face à la problématique.

C2C3 Penser et agir en environnement incertain :

Appliquer une démarche de type globale, holistique, itérative dans le cas d'un problème complexe.

C3 Conduire des programmes de façon responsable.

C3C1 Concevoir un projet, un programme :

Trouver les ressources nécessaires à la réalisation du projet, les affecter aux différentes tâches, élaborer un planning initial, un budget et un plan de gestion des risques, une étude d'impact. Identifier les éléments critiques pour le client et les indicateurs de suivi et de performance pertinents.

C3C2 Piloter, conduire :

Animer un projet, y compris en contexte international, questionner sa structuration au regard du suivi d'indicateurs. Construire le plan de communication vers les acteurs du projet et s'assurer de la mise en œuvre. Gérer les échanges avec le client, les aléas projet et s'adapter, en étant force de proposition.

C3C3 Clôturer et capitaliser :

Élaborer un bilan global du projet et l'analyse avec ses équipes dans une logique d'amélioration continue. Capitaliser et partager cette analyse avec l'ensemble des parties prenantes.

C4 Manager de façon éthique et responsable.

C4C1 Se connaître, se construire :

Être capable de porter un regard critique sur ses actions et postures, pratiquer une analyse réflexive et identifier ses points d'excellence et ses propres axes de développement.

C4C2 Générer de la performance individuelle et collective :

Identifier les forces et faiblesses dans une équipe (le cas échéant multiculturelle ou internationale) à la fois dans le champ des compétences scientifiques et dans celui des comportements. Apporter des éléments d'analyse RSE d'une organisation et formuler un plan d'action.

C4C3 Conduire les transformations dans son organisation :

Identifier les besoins/verrous en conduite du changement au sein d'une structure (observer, analyser) et faire des préconisations.

C5 S'inscrire dans une vision stratégique.

C5C1 Anticiper et s'engager :

Concevoir un plan d'action en s'appuyant sur une analyse des évolutions potentielles au sein de son organisation. Démontrer un engagement proactif.

C5C2 Donner du sens :

Expliquer les principaux éléments de la stratégie d'une organisation, en vue de mobiliser un collectif en tenant compte du système de valeurs de chacun.

C5C3 Construire et pérenniser :

Analyser la stratégie d'une organisation (au regard des enjeux locaux, mondiaux, etc.). Développer son réseau.

La pédagogie par projet, impliquant ici un travail de groupe, présente un défi faisant appel à la coopération des étudiants tout en leur laissant l'autonomie suffisante pour créer, expérimenter et innover dans le cadre sécurisé de l'enseignement. Ce travail, pour qu'un apprentissage soit efficace, doit faire appel à la discussion permanente afin que chacun des membres puisse « expliciter et discuter » sa position (Cosnefroy et Jézégou, 2013). Cette modalité pédagogique peut permettre le développement de compétences transversales, notamment si elle est accompagnée d'une démarche d'évaluation intégrant l'analyse réflexive (Frenay *et al.*, 2009). La compétence, différente d'une capacité telle qu'enseignée dans des enseignements dédiés (exemple de cours de *soft skills*) et renvoyant à un champ sémantique plus large, est davantage liée au contexte de l'action. Le but ici est de mobiliser des capacités ou ressources cognitives permettant d'atteindre le développement de compétences (Jonnaert, 2017, § 21) au sein même du projet. La compétence n'est pas un savoir-faire, résultat d'habitus ancré, cette vision s'inspirant des courants béhavioristes. Elle s'inscrit dans le courant cognitiviste et relève de la capacité à générer des conduites adaptées face à des situations diverses et changeantes (Chauvigné et Coulet, 2010).

Dans le contexte de la formation à Centrale Nantes, nous nous appuyons sur la définition de la compétence donnée par Tardif (2006) comme un savoir-agir complexe prenant appui sur la mobilisation et la combinaison efficaces d'une variété de ressources internes et externes à l'intérieur d'un ensemble de situations. Cependant, nous la complétons par les références de Jonnaert (2017) et Tardif (2017) prenant en compte la construction de la compétence dans le temps, dans la ligne de ce qu'Allal (2002) considérait « comme un continuum constitué de divers niveaux de complexité et d'efficacité plutôt qu'un palier d'excellence qui est atteint ou pas atteint ».

L'option projet s'inscrit volontairement dans la durée, dans la mesure de ce que le cursus permet de réaliser, c'est-à-dire une immersion de sept mois qui confronte des étudiants à des situations complexes, parfois itératives, mouvantes et exigeant une grande technicité. Le but de l'option est à la fois de développer des compétences techniques ou disciplinaires, tout en veillant à développer des compétences transversales. Ces compétences dites transversales n'ont pas d'ancrage disciplinaire ou professionnel. Elles sont générales par rapport à des compétences scientifiques et techniques davantage disciplinaires,

spécifiques ou professionnelles (Tardif et Dubois, 2013). De ces compétences, nous tenterons de décliner des postures professionnelles en lien avec la formation d'ingénieur : le travail en équipe ou en coopération, la communication efficace, le jugement critique, la résolution de problèmes, la conduite ou la gestion de projets.

L'organisation pédagogique mise en place suppose une grande autonomie donnée aux étudiants, ou contrôlabilité au sens de Viau (2009), pour relever un challenge avec un ancrage dans la réalité, dont nous pourrions vérifier qu'ils sont de réels leviers à la motivation des étudiants.

Dispositif réalisé

Principe

Les élèves-ingénieurs de deuxième et troisième année ont la possibilité de choisir entre des options disciplinaires thématiques et une « option projet » dans leur cursus. Cette option est suivie pendant toute l'année universitaire. Elle se base sur un projet au long cours, transdisciplinaire, déterminé en amont par l'équipe d'encadrement. Partiellement personnalisable (construite de manière individualisée en fonction de besoins de chacun par rapport aux objectifs du projet), l'option projet propose une organisation valorisant l'autonomie et l'agilité, et un accompagnement privilégié tant par le corps enseignant que par des professionnels du domaine.

Chaque année, le panel des options projets proposées est révisé au sein du Conseil des études de l'établissement. Depuis l'année scolaire 2016-2017, quatre options projets différentes ont vu le jour. Elles sont listées dans le tableau 9.2.

TABLEAU 9.2 Offre d'options projets.

Années	Option projet
2016-2019	Smarthealth (avec le Centre hospitalier universitaire – CHU – de Nantes)
2018-2021	Paris Scientifique 2024
2019-2021	Neutralité Carbone
2020-2021	Impact de la mobilité urbaine sur la santé (en collaboration avec l'université Gustave Eiffel, le CHU de Nantes et Air Pays de la Loire)

Même si la pédagogie par projet n'est pas récente, elle correspond souvent à une partie des enseignements, en parallèle de cours magistraux, de travaux dirigés et pratiques. Certaines disciplines sont plus propices que d'autres à ce type d'enseignement, comme l'informatique, où la démarche projet est couramment utilisée. Dans le cas présenté ici, il s'agit d'une approche pédagogique pour laquelle le projet est l'essence même du travail des étudiants sur l'ensemble de l'année. Les enseignements se répartissent en une formation commune, d'une centaine d'heures, dispensée à tous, et une formation complémentaire, d'une cinquantaine d'heures maximum, plus personnalisée en fonction des besoins et des aspirations des étudiants. Ces heures complémentaires sont choisies au sein d'une offre de formation en interne, mais aussi avec la possibilité de faire appel à des compétences extérieures. L'autonomie organisationnelle, la gestion du temps et l'autoformation sont largement privilégiées. Une grande liberté d'action est laissée aux membres du groupe, avec néanmoins un accompagnement régulier et un suivi individualisé.

En dehors des objectifs fixés et des livrables demandés, les modalités d'évaluation se partagent entre évaluation formative (par exemple, une évaluation par les pairs) et évaluation sommative (un entretien à mi-parcours et un entretien final, inspirés par les procédures d'entretien annuel mises en œuvre en contexte professionnel). Cette évaluation porte sur les compétences techniques et professionnelles, mais aussi sur les compétences transversales. Pour l'évaluation finale, les encadrants s'appuient sur les entretiens individuels, les évaluations par les pairs, la qualité des livrables et les observations réalisées tout au long du projet. Comme les étudiants de l'option sont à différents niveaux de leur parcours académique, l'évolution de leurs compétences est déterminée par rapport à leur niveau initial individuel.

Dans la prochaine section, nous décrivons les aspects communs des différentes options projets sur le plan du calendrier et des jalons. Nous évoquons ensuite le passage de témoin entre les options Smarthealth et PariSci2024, ainsi que les adaptations progressivement opérées dans leur déploiement. Nous proposons en fin de chapitre une description détaillée des dispositifs propres à ces deux options projets.

Similitudes entre les différentes options projets

Constitution du cœur de l'équipe d'encadrement

Étant donnée la prépondérance de la dynamique « projet », avec l'imprévisibilité que cela peut revêtir, les équipes d'encadrement doivent couvrir un spectre de compétences techniques suffisamment larges, tout en sachant renvoyer les étudiants vers les bons interlocuteurs quand ces compétences sont dépassées. Au sein d'une option projet, l'équipe d'encadrement est constituée d'enseignants-chercheurs de l'École centrale de Nantes et de personnes-ressources du partenaire extérieur du projet, à la manière des dispositifs mis en œuvre dans les cursus par apprentissage (tuteur pédagogique d'une part, maître d'apprentissage d'autre part).

Déroulement de l'année

Principaux jalons

Pour mener à bien le projet, les étudiants reçoivent une formation initiale commune en début d'année (figure 9.1) qui leur permet d'avoir une compréhension globale du contenu scientifique du projet, de pouvoir communiquer par la suite, une fois répartis dans différents pôles thématiques dédiés au projet, et d'acquérir les bases nécessaires à un approfondissement en autoformation efficace. Cette même démarche s'applique aussi aux compétences de gestion et de management de projet.

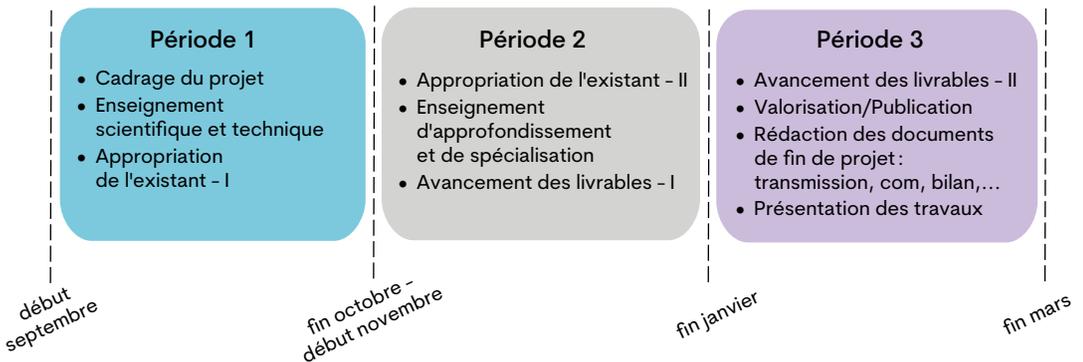


FIGURE 9.1 Principaux jalons de l'option projet.

Pendant cette période de transition d'un format pédagogique assez classique vers un mode essentiellement projet, les étudiants commencent aussi à s'appropriier le sujet et le travail des années précédentes (en cas de renouvellement d'option projet), dans un premier temps par l'intermédiaire de mini-projets accompagnant les cours de début d'année. La phase d'appropriation des travaux antérieurs peut représenter une tâche difficile et chronophage, qui peut s'étendre aussi sur la deuxième période, compte tenu du planning dense de formation sur cette première période. Avec les connaissances acquises en première période, tant sur le plan scientifique que technique, la deuxième période permet de rentrer réellement et efficacement dans le cœur du projet. Une courte séquence d'enseignement peut aussi être dispensée pour approfondir certains aspects vus en première période et aborder des notions nouvelles jugées importantes pour l'évolution du projet. Le travail sur les différents livrables monte progressivement en puissance au cours de cette période, ce qui est aussi une source de mobilisation supplémentaire pour les étudiants. C'est durant cette période que le groupe prend conscience que les objectifs à réaliser sont possibles et on observe alors généralement un basculement dans la façon d'aborder l'apprentissage et le travail.

Le troisième temps est la période où les étudiants tirent les bénéfices en termes d'efficacité de leur apprentissage et des compétences acquises tant sur le plan de la gestion de projet que sur le plan scientifique et technique. L'avancement des livrables, dans la continuité de la période 2, tourne à plein régime pour une finalisation dans les délais impartis. Un temps de rédaction est prévu afin de rendre les documents de fin de projet de qualité, mais aussi des documents de transmission utiles à une poursuite du projet. Une place est aussi laissée à la valorisation et à la présentation des résultats du projet.

Programme détaillé de l'année

L'année est structurée par des échéances identifiées et connues des étudiants dès leur arrivée en option. Nous détaillons ci-dessous ces différentes étapes.

La première semaine de septembre est celle de rentrée des étudiants. Elle correspond à leur prise de connaissance de la problématique, à la première rencontre avec l'équipe du partenaire extérieur (CHU Nantes, CREPS) participant à l'encadrement, à l'organisation de séances brise-glace et de *team building* ainsi que d'ateliers fondés sur la méthode Belbin (2011) visant une meilleure connaissance de soi et des

autres. La suite du mois de septembre est marquée par l'appropriation du sujet de l'option projet, avec un certain nombre de tâches à préparer pour fin septembre. Sur le plan de leur développement professionnel, les étudiants ont un entretien individuel de positionnement (entre 30 minutes et une heure) avec l'équipe d'encadrement pour prise de connaissance, accompagnement à la réflexion des étudiants sur l'identification des compétences, dont le développement sera particulièrement ciblé pendant l'année, et pour apprécier leur motivation et les raisons du choix de cette option. Même si l'organisation et les rôles attribués sont, *in fine*, réalisés par les étudiants, le questionnement sur la place qu'ils souhaitent occuper dans le groupe est largement évoqué. En amont de cet entretien, les étudiants remplissent un questionnaire d'auto-évaluation sur les compétences visées dans l'option. Dans le même temps, chaque élève-ingénieur doit concevoir son plan de formation complémentaire : il fournit une proposition de formations à suivre pendant l'année, en piochant dans le catalogue des cours dispensés à Centrale Nantes et/ou en demandant une formation spécifique aux enseignants ou à l'extérieur, en fonction des compétences que chacun souhaite approfondir et du projet professionnel. Ce volume d'heures est limité et ne dépasse pas quelques dizaines d'heures. Ce plan de formation complémentaire doit se décliner de manière équilibrée entre compétences techniques et compétences transversales. Sa construction, justifiée par les étudiants, est soumise à une validation de la personne responsable de l'option projet. Enfin, sur le plan du développement du projet, le groupe d'étudiants doit produire le plan d'assurance qualité du projet qui servira de guide pour le travail des mois à venir. Le jalon suivant se situe mi-décembre ou début janvier. Il s'agit d'un entretien individuel d'évaluation avec l'équipe pédagogique pour faire la synthèse des compétences acquises et des actions à mettre en œuvre pour l'approfondissement des compétences cibles.

Le cœur de l'option projet se termine fin mars, avant le départ des étudiants en stage. À ce moment, sur le plan du développement professionnel des étudiants, chaque élève a un entretien final d'évaluation avec l'équipe d'encadrement pour faire le bilan des compétences déployées dans le cadre du projet. Cet entretien s'accompagne de la remise d'un rapport individuel incluant l'explicitation des travaux et la démarche associée montrant le développement des compétences cibles. Au niveau global, sur le plan du développement du projet, les étudiants sont appelés à organiser un événement ouvert à tous les

membres (étudiants et personnels) de Centrale Nantes et du partenaire (CHU, CREPS) pour valoriser les résultats obtenus. C'est aussi le moment de la remise des livrables du projet.

Début avril marque le départ des élèves-ingénieurs en stage ingénieur de cinq mois (pour les étudiants en deuxième année) ou en stage de fin d'études de six mois (pour les étudiants en troisième année), qui s'effectue dans une thématique en lien avec l'option projet. En pratique, au moins la moitié des étudiants ont effectué chaque année ce stage sur un thème proche de l'option. Ce stage est valorisé en septembre à travers la soutenance des stages ingénieurs et des travaux de fin d'études, validant les compétences acquises pendant le stage et complétant ainsi la formation des étudiants sur l'année écoulée.

Mode de fonctionnement au quotidien

Au quotidien, les élèves-ingénieurs d'une option projet se retrouvent dans une salle dédiée, qu'ils peuvent aménager et personnaliser. Un budget (2000 €) est alloué à chaque groupe pour l'achat de matériel indispensable au projet, achat dont la pertinence est validée par les responsables de l'option. Chaque semaine est rythmée par au moins une rencontre « comité de pilotage » avec l'équipe encadrante et des points techniques réguliers avec l'enseignant responsable de l'option pour discuter des difficultés rencontrées et orienter les pistes de travail.

Évaluation

La progression dans l'acquisition des compétences ciblées par les étudiants est validée par deux ou trois autres entretiens individuels (plus courts en général que le premier) au cours de l'année, généralement en novembre, fin décembre ou début janvier, et fin mars. Ces entretiens sont l'occasion d'un échange avec chaque étudiant sur son travail, son investissement et sa position dans le groupe. L'enchaînement des entretiens permet aussi d'affiner la vue d'ensemble du groupe et de mieux cerner les éventuelles difficultés ou points de blocage.

L'année comporte également une session d'évaluation formative par les pairs, en décembre ou en janvier, dont l'objectif est, pour les étudiants, d'affiner leur insertion dans la dynamique du groupe projet. Fin mars, chaque étudiant rend compte, via son rapport individuel, de son bilan sur l'année écoulée. Il s'agit là tant de soutenir une posture réflexive de la part des étudiants que de nourrir le bilan annuel de l'option projet et de ses évolutions possibles pour les années suivantes.

Évolution du dispositif des options projets

Historiquement, l'option projet « Smarthealth » est la première à avoir été déployée et le retour d'expérience sur celle-ci a été capitalisé et partagé ensuite avec l'option projet « PariSci2024 » lorsqu'elle a été ouverte. Concrètement, une enseignante-chercheuse de l'équipe d'encadrement de la première option a été associée au déploiement de la seconde et a contribué au transfert de connaissances entre les deux. En outre, depuis le début de déploiement des options projets, le dispositif a été consolidé grâce aux bilans effectués à l'issue de chaque année académique, en insistant sur les points forts et les vecteurs d'amélioration.

Nous allons maintenant décrire les trois évolutions les plus notables dans la conduite du dispositif au fil des ans. En premier lieu, nous avons progressivement formalisé le principe d'objectifs d'apprentissage propres à chaque étudiant dès le début d'année et servant de fil conducteur tout au long du projet. Ces objectifs sont définis à partir de la fiche de l'ensemble des compétences cibles accessibles via le suivi de l'option projet, fiche qui est par ailleurs mise en lien avec le référentiel de l'ingénieur centralien propre au GEC. Ce travail s'est accompagné d'une structuration du plan de formation à suivre par les étudiants au cours de l'année pour participer au développement des compétences cibles dans le projet. Les modalités de formation (type, thème, volume), ainsi que la réflexion en amont demandée aux étudiants dès le mois de septembre, n'ont été introduites que lors de l'année 2017-2018. Ces modalités se sont stabilisées après avoir testé plusieurs formats. De 80 heures de formation, dont le choix était laissé en intégralité aux étudiants (tout en faisant l'objet d'une validation par l'équipe d'encadrement qui en vérifiait la pertinence) en 2017-2018 dans l'option « Smarthealth », le format de formation s'est stabilisé à partir de 2019-2020. Le plan de formation des étudiants se compose désormais de 100 heures de formation commune et d'un volet variable d'heures (jusqu'à 50) de formations annexes (module d'option disciplinaire ou professionnelle, cours de master...) en fonction de leur projet professionnel. Enfin, nous avons fait porter nos efforts sur la conception et la mise en œuvre d'un dispositif d'évaluation par les pairs, jouant le rôle uniquement d'évaluation formative et non sommative. Cette démarche s'est déployée à l'aide d'un accompagnement spécifique de la cellule d'appui à la pédagogie de l'établissement. Deux dispositifs d'évaluation par les pairs ont été proposés aux étudiants. D'une part, une évaluation entre pairs

centrée sur les compétences à acquérir, basée sur la même grille de compétences que celle établie pour les objectifs généraux de l'option projet. D'autre part, une évaluation entre pairs axée sur le savoir-être, plus centrée sur la formation et le travail en équipe. Ces modalités d'évaluation par les pairs sont adaptées en fonction des spécificités des options projets et des groupes d'étudiants affectés. Ce dispositif d'évaluation par les pairs a permis de compléter la vision des étudiants sur leur propre travail, tout en leur procurant un cadre d'expression de leur ressenti sur le travail de leurs camarades.

Méthode

Nous avons fait le choix d'analyser l'ensemble des documents d'évaluation finaux des étudiants : bilans des entretiens individuels, questionnaires de satisfaction et comptes rendus généraux du travail réalisé par les équipes. Un second questionnaire à questions ouvertes a été soumis aux étudiants ayant terminé le cursus. Les étudiants interrogés sont issus ici de quatre équipes projet, nous avons reçu 17 réponses sur 47 sollicités. Ont été exclus de l'analyse les étudiants de deuxième et troisième année n'ayant pas encore terminé leur formation à Centrale Nantes. Les questions ont porté sur les modalités pédagogiques mises en œuvre pour le projet ainsi que sur la perception du développement de compétences transversales et techniques.

L'analyse structurale (Bourgeois et Piret, 2006) en deux étapes a permis de faire émerger les catégories attendues (forme inductive de la catégorisation des données) et les suivantes issues des premières évaluations en fin de cursus. La seconde analyse basée sur les éléments de discours des étudiants désormais diplômés a précisé les catégories initiales.

Résultats

L'analyse des enquêtes de satisfaction sur la base de questions ouvertes et les bilans des entretiens individuels font ressortir les catégories attendues : compétences techniques (A), compétences transversales (B) et modalités pédagogiques (C). Chaque tableau ci-dessous décrit le nombre d'occurrences faisant référence aux principales thématiques évoquées par les étudiants.

Développement des compétences techniques et scientifiques attendues

TABLEAU 9.3 Nombre de réponses mentionnant les compétences techniques (A).

(A) Compétences techniques attendues pour n répondants	Bilans de fin d'année (enquête de satisfaction et entretiens) n/47	Questionnaire post-diplomation n/17
Approfondissement	n = 34	n = 10
Rigueur	n = 15	n = 2

L'acquisition de compétences techniques, quelle que soit l'option, est mise en avant par les étudiants au travers de deux sous-catégories, l'approfondissement (A1), et la rigueur (A2). En effet, les étudiants relèvent que

L'option projet laisse le temps et même encourage cet approfondissement. Du simple modèle physique vu en cours, on passe à son implémentation numérique puis à l'interprétation de ses résultats pour savoir si l'implémentation était bonne.

L'acquisition de compétences techniques en option projet est beaucoup plus efficace puisqu'elle est réalisée dans un but précis : aboutir à la réalisation du projet grâce à tous les membres de l'équipe.

Une option projet offre certainement un spectre moins large de contenus scientifiques par rapport à celui d'une option disciplinaire classique au travers des différents cours : « nous développons un panel de compétences techniques moins large que dans une option classique, puisque les compétences que nous développons sont destinées à servir le projet », et il faut bien s'assurer que les objectifs du projet nécessitent d'explorer suffisamment de champs scientifiques et techniques. Cette potentielle déficience peut être avantageusement compensée par la formation personnalisée dans laquelle les étudiants ont « la possibilité de choisir et de suivre quelques cours de master [ou d'option disciplinaire] en parallèle, ce qui permet d'approfondir des sujets ou de combler des lacunes si besoin ».

Cependant, il ressort aussi des réponses que ce qui est abordé est beaucoup mieux intégré et maîtrisé :

Les connaissances et méthodes acquises sont moins « scolaires ».

Les compétences techniques acquises en option projet sont choisies et appliquées en fonction du projet. Il y a aussi une focalisation sur le temps passé/l'efficacité, surtout pour les élèves motivés par les résultats. Elles sont donc explorées plus en profondeur et bien retenues. Elles tiennent parfois carrément lieu d'expériences professionnelles ou peuvent être valorisées telles quelles.

Les compétences techniques acquises sont directement liées à leur utilité et application immédiate. Cela permet de les ancrer à quelque chose de concret et donc rend l'apprentissage efficace.

De ce fait, certains la considèrent « de loin, comme l'expérience la plus formatrice de leur cursus ».

Développement de compétences transversales

TABEAU 9.4 Nombre de réponses mentionnant les compétences transversales (B).

(B) Compétences transversales pour n répondants	Bilans de fin d'année (enquête de satisfaction et entretiens) n/47	Questionnaire post-diplomation n/17
Communication	n = 19	n = 13
Autonomie	n = 14	n = 10
Recherche d'informations	n = 17	n = 8
Gestion de projet	n = 31	n = 11
Travail en équipe	n = 35	n = 7

L'acquisition de compétences transversales (B) se divise en cinq sous-catégories : communication (B1), autonomie (B2), recherche d'informations (B3), méthodes de gestion de projet (B4) et travail en équipe (B5). Une première analyse montre que ces sous-catégories sont interdépendantes, a minima deux à deux. Ainsi, lorsqu'un étudiant indique que le projet a permis de « prendre conscience des difficultés liées à la communication entre les parties prenantes d'un projet et au travail en équipe » (B1 interagit avec B4 + B5), ou un autre que « le management de projet et la communication font partie intégrante de l'option puisqu'ils permettent de définir les tâches à réaliser, de les attribuer aux différents membres de l'équipe et d'évaluer l'avancement de chacune ainsi que du projet global ».

Les répondants font une large place à l'expérience de gestion de projet comme axe structurant de la formation en décrivant les « nouvelles méthodes de travail et de gestion (méthode agile) » tout en identifiant les phases et les rôles de chaque membre de l'équipe :

L'organisation du projet et les attentes qui lui étaient attachées étaient elles-mêmes transversales. Le rôle de chaque étudiant était plutôt défini, du moins les grands axes de travail, mais chacun a eu l'occasion de passer par des phases de recherche, documentation, expérimentation et validation. Donc le format en lui-même, mener un projet depuis l'étude d'opportunité jusqu'à une maquette fonctionnelle, impliquait de passer par les phases classiques de construction de projet. (B4 + B5).

Ces mêmes modalités de projet permettent aux étudiants de gagner en autonomie : « J'ai appris à trouver moi-même les questions auxquelles il faut répondre pour avancer au projet. » (B4+ B2).

Modalités pédagogiques

TABLEAU 9.5 Nombre de réponses mentionnant les modalités pédagogiques (C).

(C) Modalités pédagogiques pour n répondants	Bilans de fin d'année (enquête de satisfaction et entretiens) n/47	Questionnaire post-diplomation n/17
Valeur de la tâche	n = 25	n = 6
Perception de compétence	n = 14	n = 5
Contrôle	n = 26	n = 6

Parallèlement à ces attendus, les modalités pédagogiques permettant des choix dans le projet, des choix de formations, avec de forts enjeux, font émerger trois sous-catégories : l'enjeu ou la valeur de la tâche (C1), la perception de sa compétence (C2) et le contrôle (C3). Couplées à celle de l'autonomie (B2), elles laissent apparaître des sources de motivation telles que décrites dans le modèle de dynamique motivationnelle (Viau, 2009). Elles révèlent des situations auxquelles les étudiants ont pu être confrontés et témoignent de la difficulté de trouver sa place vis-à-vis d'un groupe poursuivant un but commun : « En cherchant à se faire une place et à apporter sa pierre à l'édifice, on en vient tout simplement à monter en compétence (quelles qu'elles

soient)» et de l'engagement qu'il implique compte tenu de sa durée : «Ce format oblige à s'intégrer au projet : on ne peut pas faire le minimum syndical car il représente la majorité du temps d'étude.» (C1).

L'analyse structurale des premières catégories nous amène ainsi à mieux décoder dans les discours des étudiants l'impact motivationnel de l'insertion de leur production personnelle dans le cadre plus global du projet, en soulignant «la satisfaction de voir le projet avancer, ainsi que la responsabilité (C1) qu'on peut ressentir par rapport à notre travail nous ont poussés à nous dépasser.» Du fait de la dépendance mutuelle des tâches et de l'investissement de chaque étudiant, les apprenants prennent conscience de leur responsabilité individuelle dans la réussite collective du projet. Pour certains, cette responsabilité est liée à une forme d'obligation morale vis-à-vis du groupe, pour d'autres, il s'agit plutôt d'une recherche de satisfaction personnelle dans l'accomplissement de leur travail. La complémentarité des compétences nécessaires (déjà accessibles dans le groupe ou à développer par des actions spécifiques) est considérée par certains anciens étudiants comme un déclencheur dans une appropriation active de leur parcours de formation, dans le sens où il s'agit de se mettre à disposition du groupe tout en identifiant les approches nécessaires au développement de nouvelles compétences : «J'ai eu un déclic (au bout d'un mois) qui m'a permis de comprendre que j'étais l'acteur de ma formation et que je pouvais en tirer le maximum. À partir de ce moment-là, je me suis engagé à fond dans le projet et, au moment de chercher un stage, je pouvais parler avec passion de ce que j'avais fait dans l'option.»

Du point de vue des étudiants, le format des options projets s'éloigne des schémas pédagogiques classiques marqués par des séances d'enseignement rythmés par des évaluations intermédiaires et une évaluation finale. De fait, si l'insertion de son travail individuel dans un tout global est vectrice de motivation, la place que prend l'auto-évaluation dans ce processus est alors critique : «Le fait de travailler en équipe dans un but commun, ainsi que la visibilité de l'avancement des livrables nous confrontent à nos résultats et nous imposent de nous autoévaluer.» (B5 + C2) Mais pour être véritablement significative, l'auto-évaluation doit être pertinente eu égard aux tâches effectivement assurées. Sur ce point, plusieurs retours illustrent la difficulté de cette adéquation entre l'auto-évaluation menée et la réalité du terrain :

De mon point de vue, l'auto-évaluation a été un élément central dans le ressenti global du projet par les étudiants. Soit parce que des étudiants investis et productifs ont sous-évalué leur contribution et leur apport au projet et se sont démotivés, soit parce qu'à l'inverse certains ont eu une contribution quasi nulle et ne se sont jamais remis en question. (C1 + C2)

Cette analyse doit être ramenée au regard de la durée de l'option projet – sept mois – qui excède la temporalité habituelle des enseignements classiques habituellement donnés sur deux mois et/ou des projets intégrés aux autres types d'option (trois mois). Cette temporalité longue concourt à l'engagement des étudiants et, de fait, à leur apprentissage. Les répondants mettent justement en avant ce temps long dans leur dynamique d'apprentissage : « La nécessité d'atteindre un objectif technique nous oblige à développer les compétences nécessaires, contrairement à des partiels qu'il est toujours possible de bachoter et d'oublier six mois plus tard. » On note toutefois pour certains une difficulté persistante à s'autoévaluer : « Pour la capacité à s'autoévaluer, je ne pense pas avoir progressé, [...] j'avais du mal à situer mon travail avec certains camarades, vu que je n'avais pas travaillé avec tout le monde. » En creux se dessine la difficulté de faire émerger une auto-évaluation individuelle pertinente en complément de l'évaluation du projet dans sa globalité : « il était facile d'avoir un retour sur le projet en général, mais je trouvais l'auto-évaluation assez compliquée (du moins plus compliquée que lorsque l'on a des examens et des notes). » L'équipe d'encadrement est alors le repère auquel se réfèrent les apprenants pour mieux cadrer leur apprentissage et leurs actions :

pour la capacité à s'autoévaluer, cela nous donne un peu de recul par rapport au système d'évaluation « classique » et donc, cela nous permet de mieux cerner nos capacités, de savoir ce qui va ou non. C'est une bonne façon de faire, mais la discussion avec les encadrants reste primordiale pour avoir un retour objectif sur les qualités de chacun.

L'équipe d'encadrement a ainsi un rôle crucial à jouer pour valoriser l'apprentissage individuel de la démarche projet et la perception du développement des compétences associées par rapport à la seule efficacité des résultats obtenus pour le projet.

L'analyse des questionnaires post-diplomation conforte ces premiers éléments :

Le travail en équipe dans le cadre de l'option projet est bien différent de ce qu'on fait habituellement à Centrale. On parle ici d'une équipe d'une dizaine d'étudiants qui doivent travailler ensemble autour d'un projet ambitieux pendant cinq-six mois.

L'autonomie et la latitude qui nous ont été laissées en termes d'organisation de projet [...] nous ont responsabilisés également et nous ont confrontés à la réalité et aux limites des organisations d'équipes/du management. Cela a été une magnifique école de la communication.

Mais sur les 17 répondants, tous ont mis en avant la démarche professionnalisante accélérée de l'option projet :

Ce que je dis aux gens avec qui je travaille (encore aujourd'hui, dans un entretien), c'est qu'il n'est pas important d'arriver avec un bagage technique énorme dans la mesure où on souhaite l'acquérir. Je prends souvent mon expérience avec l'informatique à Centrale comme exemple pour illustrer mon propos. Avec deux rattrapages d'informatique en première année, je n'étais pas dans les meilleures conditions possibles pour intégrer l'option projet et pourtant, avec le recul, je trouve que cela s'est plutôt bien passé.

Et ce qu'ils en retiennent :

Dans mes activités professionnelles actuelles (développement informatique), la débrouillardise que j'ai développée au cours de l'option m'est toujours très utile et me permet de m'adapter à beaucoup de situations.

Ce format semble aussi correspondre aux étudiants ayant déjà été davantage immergés dans un milieu professionnel :

Au retour de mon année de césure, je ne me voyais pas retourner à l'école et suivre un enseignement classique, et j'ai pu retrouver ça avec l'option projet.

Discussion

Il convient d'admettre que les données recueillies n'avaient pas pour premier objectif d'alimenter une recherche, mais bien d'évaluer un développement individuel, puis collectif de compétences. Ainsi, l'ensemble des données n'ont pas toutes été soumises au même format

de questions initiales (en fonction des options), ni au même degré de maturation du dispositif pédagogique, à l'exception du questionnaire post-diplomation.

La modalité option projet est un terrain fertile pour développer les nombreuses compétences que l'on attend d'un ingénieur. S'il est certain que l'acquisition de connaissances techniques et scientifiques est facilitée par leur mise en œuvre immédiate, l'organisation de la formation autorise l'étudiant à explorer différemment le fonctionnement d'une équipe devant une problématique réelle. L'étudiant se construit en même temps que le projet, développant autant de rigueur scientifique que de créativité. Plusieurs éléments participent à la préparation des étudiants à une transition sereine vers le monde professionnel. Tout d'abord, le fait d'avoir un « client » demande une réelle implication dans chaque élément d'échange, oral ou écrit. La montée en compétences en communication professionnelle, que ce soit en termes de discours, de supports de présentation, de soin à l'image donnée, par exemple sur les réseaux sociaux, est indéniable. Il s'agit donc de faire, mais également de transmettre ce que l'on fait, de manière juste, ce qui est un challenge important dans une société où l'information circule très vite. Il faut cependant veiller à une bonne répartition des rôles au sein du groupe afin que chacun puisse être à un moment en situation d'expérimenter ces postures professionnelles.

Ensuite, il nous semble nécessaire d'insister sur les apports du travail de groupe, qui fait appel à des compétences transversales de gestion de projet, de management et de communication au sein de l'équipe. Le temps assez long permet à l'étudiant d'être confronté à quelques « épisodes » de vie professionnelle enrichissants. En effet, le projet est ponctué de moments de grande motivation, mais aussi parfois de doutes, de périodes de production tangible alternant avec des temps de réflexion parfois déstabilisants, de moments conviviaux mais parfois conflictuels, à désamorcer. L'encadrement doit être subtilement dosé pour accompagner les élèves dans la découverte progressive de ces différentes situations. La mise en place de jalons intermédiaires par rapport aux objectifs globaux du projet permet de proposer des premiers défis atteignables rapidement, ce qui est aussi une source de motivation (Leroyer *et al.*, 2019, sect. 5.2).

L'évaluation est également un élément majeur de cette option projet. Très propre au système français, les notes entre zéro et vingt constituent la culture d'évaluation des étudiants, avec la connotation

positive ou négative associée qui peut suggérer, par raccourci, une interprétation erronée. L'évaluation par compétences pratiquée ici est bien plus proche de situations de la vie professionnelle. Le fait même de provoquer une analyse réflexive grâce à l'auto-évaluation et aux entretiens individuels peut s'apparenter à un entretien professionnel annuel. L'exercice n'est, au début, pas très confortable pour certains. Une fois levée la confusion inquiétante entre l'évaluation et le jugement, les élèves prennent conscience de leur valeur, et de celle des autres élèves. Ils travaillent moins pour avoir une « bonne note » que pour progresser personnellement et collectivement. C'est un changement de paradigme de leur positionnement par rapport à l'apprentissage. Enfin, il est indispensable de nourrir chez les étudiants la compétence d'innovation, c'est-à-dire la capacité à inventer des solutions créatives, ingénieuses et originales en mobilisant une culture scientifique et technique (en respectant ainsi la définition des compétences 1.1 et 1.6 du référentiel des compétences de l'ingénieur centralien figurant au tableau 9.1). Si le cadre est posé et les objectifs à atteindre coconstruits, les élèves doivent penser autrement et développer leur curiosité (scientifique, sociale, d'actualité...). Ils ont l'opportunité de donner le sens qu'ils souhaitent au projet, et même de décider de la façon dont ils seront évalués, ce qui est extrêmement motivant pour eux. Tout en étant dans un cadre professionnalisant, ils gardent la possibilité de tester, de prototyper, de se tromper et de corriger, de réagir. L'important est d'avoir le courage de faire les choses, d'assumer ses décisions au sein du groupe et devant le « client », et d'être capable de se remettre en question à bon escient.

Conseils

La nouveauté que représente le format d'option projet met en exergue l'importance d'une note de cadrage rédigée par l'établissement. Ce cadrage définit en détail le format des options projets, en particulier le volume d'encadrement par rapport au travail effectif assuré par les enseignants et aussi le périmètre budgétaire (pour les achats éventuels nécessaires à la bonne marche du projet). Dans le semestre précédant le lancement d'une nouvelle option projet, il est crucial de bien définir le socle commun de formations, constitué d'enseignements spécifiques dispensés dans l'option projet et d'enseignements provenant des autres parcours de formation. Il convient dès lors de vérifier

l'adéquation entre les compétences et les connaissances cibles et les cours envisagés, et d'en discuter avec les porteurs de cours au sein de l'établissement. Cette adéquation doit également être vérifiée lors de la construction, en cours d'année, du complément de parcours de formation individuelle des étudiants.

Lors de la campagne de recrutement des étudiants souhaitant rejoindre l'option projet, il convient de bien veiller à la constitution d'un groupe d'élèves intéressés par le sujet ou a minima, par une des thématiques traitées. Dans le même temps, un travail de sensibilisation du client du projet doit être mené concernant le rythme d'avancée globale du projet : le client, non habitué au calendrier classique d'enseignement, peut en effet être surpris quand, en septembre, arrive une nouvelle promotion qui «repart de zéro» alors qu'il vient de quitter une promotion montée en compétences durant l'année précédente. Ce différentiel entre les étudiants est nécessairement à intégrer dans le plan de charge. Tout au long de l'option projet, un encadrement graduel et un suivi régulier sont indispensables. Cela passe par un encadrement très fort lors du lancement du projet (construction du groupe, cohésion, planification des jalons intermédiaires, compréhension du sujet), mais également pendant son déroulement, avec des points d'avancement du projet réguliers.

Enfin, il est essentiel de garantir une disponibilité agile tout au long de l'année, l'option projet étant plus sujette à des imprévus dans les événements qu'une modalité d'option classique. En effet, l'avancée du projet peut être impactée par un contretemps (par exemple, une longue absence du côté du groupe projet ou de l'équipe du client), ce qui nécessite alors un réajustement rapide, «à la volée», en interactions entre les équipes d'encadrement et le groupe étudiant.

Détails de l'option projet « maison connectée pour la santé »

Constitution du cœur de l'équipe d'encadrement

Dans le cadre des options projets menées avec le CHU de Nantes, l'encadrement a été assuré de la manière suivante.

- Du côté de Centrale Nantes :
 - Deux enseignants-chercheurs avec leurs spécialités : (1) conception universelle de produits, perception et usage, gestion de projets pour l'une ; (2) informatique et transformation pédagogique pour l'autre.

- Un expert industriel, précédemment *chief technology officer* chez un grand manufacturier automobile, pour apporter recul et synthèse sur l'organisation du projet.
- Du côté du CHU : le responsable de la maîtrise d'œuvre sur le passage du CHU au numérique avec, à ses côtés, un ingénieur expert dans la gestion de projets numériques pour l'accompagnement au quotidien des étudiants.

Mode de fonctionnement au quotidien

Au sein de l'option projet « maison connectée pour la santé », les semaines sont ponctuées par une rencontre le lundi avec l'équipe encadrante du CHU et le vendredi avec l'équipe pédagogique de Centrale Nantes. Les réunions avec le CHU de Nantes sont orientées sur la conduite du projet, tandis que les échanges avec l'équipe enseignante visent à accompagner plus spécifiquement le développement professionnel des étudiants par rapport aux objectifs du projet. Une réunion mensuelle rassemblant l'ensemble des étudiants, l'équipe encadrante du CHU de Nantes et l'équipe pédagogique de Centrale Nantes sert de point de synchronisation, ainsi qu'à vérifier la bonne circulation d'information et à converger sur les prochains objectifs du projet et sa mise en œuvre pédagogique.

Par ailleurs, pour valoriser le travail effectué et susciter des interactions avec la sphère extérieure au projet (tant au sein de la communauté de Centrale Nantes et du CHU que des personnes intéressées par ces sujets), les étudiants produisent, chaque semaine, un article de blog décrivant le projet (le sujet est au libre choix des étudiants) et, chaque mois, une vidéo. L'ensemble des productions est ainsi accessible en ligne (<https://smarthealth.ec-nantes.fr>, pour l'option projet conduite pendant les années 2017-2018 et 2018-2019).

Évolution de l'option-projet au fil du temps

L'option projet menée avec le CHU de Nantes s'est déclinée selon trois itérations successives à destination des élèves-ingénieurs en deuxième et troisième année à l'École centrale de Nantes. Le périmètre de l'option projet a évolué chaque année, en fonction des bilans en fin d'année réalisés entre l'équipe pédagogique de Centrale Nantes et l'équipe d'encadrement du CHU. Le changement d'intitulé n'est pas que cosmétique,

il relève d'une modification de la nature du projet au cœur du programme pédagogique.

- La première option projet, en 2016-2017, a été baptisée « Hôpital numérique », et regroupait onze élèves-ingénieurs. Le but était alors de prendre part au déploiement du nouveau système d'information du CHU de Nantes, en mettant en œuvre la bascule (tant d'un point de vue technique qu'en termes d'accompagnement des professionnels de santé) du suivi papier des dossiers patients vers un dossier numérique patient unique, partagé et sécurisé.
- La seconde itération de l'option projet, en 2017-2018, nommée « Maison connectée pour la santé » (avec des objectifs très différents), était composée de quatorze élèves-ingénieurs. L'objectif était de produire un démonstrateur de maison connectée pour la santé (une maison largement équipée en objets connectés pour permettre le suivi post-opération de patients) en concevant et réalisant la mise en œuvre du nouveau dispositif et en accompagnant ce changement.
- La troisième option projet, en 2018-2019, approfondissait le concept de « Maison connectée pour la santé », et était suivie par neuf élèves-ingénieurs. L'objectif était d'approfondir les résultats obtenus l'année précédente en développant plus spécifiquement la conception et l'installation de dispositifs connectés pour le suivi médical afin d'améliorer le soin des patients. Il s'agissait pour le groupe d'étudiants de former comme une start-up dans le domaine des services, ayant sa propre organisation.

Détails de l'option projet « Paris scientifique 2024 »

Contexte

La création de l'option-projet « PariSci2024 » fait suite à une collaboration de longue date entre le laboratoire de recherche en hydrodynamique, énergétique et environnement atmosphérique (LHEEA) de Centrale Nantes, le centre de ressources, d'expertise et de performance sportive (CREPS) Pays de la Loire et la Fédération française d'aviron, au cours de laquelle différents projets de recherche se sont succédé, impliquant des étudiants en master et des doctorants. Sur le plan scientifique, ces travaux ont permis de valider la pertinence du code de calcul fluide développé dans l'équipe METHRIC (modélisation des écoulements turbulents à hauts reynolds incompressibles

et couplages) du LHEEA pour reproduire la physique des écoulements complexes autour de la coque et des palettes sur la base d'essais en bassins spécifiques développés initialement pour les caractériser expérimentalement et construire des modèles simplifiés. Les progrès dans les méthodes numériques et l'évolution croissante de la puissance des machines de calcul ont en effet changé la donne et un glissement de l'expérimental vers le numérique s'est opéré progressivement. Si l'objectif d'un simulateur du système complet bateau-avirons-rameur(s) était déjà pensé dès le début, la confiance dans les simulations et l'expérience acquise au cours de différentes tentatives de simulateurs nous ont finalement conduit à définir un projet ambitieux, complexe, pluridisciplinaire, dont la méthode à mettre en place et les moyens pour y parvenir étaient désormais clairement définis. De ce fait, le projet devenait non plus uniquement un programme de recherche, mais un projet d'ingénierie pluridisciplinaire avec un concept à valider qui remplissait parfaitement les exigences d'un apprentissage par projet pour des élèves-ingénieurs de l'école. La création de l'option projet «PariSci2024» en 2018 s'est ainsi effectuée dans la continuité de ces projets de recherche plus en amont, avec un double objectif: former des étudiants sur une thématique attractive et porteuse et aboutir à des résultats concrets vis-à-vis du milieu sportif. Dans cette organisation tripartite, le CREPS, agissant comme interface entre le monde scientifique et le monde sportif, est un partenaire essentiel pour mener à bien ce type d'action dans la durée et de manière efficace.

Constitution du cœur de l'équipe d'encadrement

Cette option projet s'appuie sur un projet d'ingénierie ambitieux issu de travaux de recherche en amont. Celui-ci a pour objectif le développement d'un simulateur haute-fidélité du système bateau-avirons-rameur(s) afin de disposer *in fine* d'un outil d'aide à la performance qui permettra d'analyser les performances et de mieux comprendre toutes les interactions internes au système. Il pourra ainsi contribuer à établir des critères objectifs pour répondre à des questions qui n'ont été abordées jusqu'à présent qu'empiriquement.

L'encadrement est réalisé par un enseignant-chercheur en mécanique des fluides numériques et en interaction fluide-structure, qui sont deux thématiques scientifiques fondamentales du projet. Cet enseignant est appuyé par un autre enseignant plus spécialisé en gestion de projet et

par une personne du CREPS pour assurer la bonne conduite du projet et l'interface avec le monde sportif.

Formation

Pour l'option «PariSci2024», la centaine d'heures de formation et d'évaluation «classique» est réalisée en début d'année. Parmi quatre modules de cours, un est dédié au management et à la gestion de projet afin que les étudiants acquièrent des bases solides avant de se lancer dans cette aventure humaine. Les trois autres modules se concentrent sur la maîtrise des outils informatiques pour le développement logiciel et le calcul scientifique haute-performance (HPC), la modélisation et la simulation numérique avec un focus sur la mécanique des fluides, et la modélisation 3D des objets.

Le challenge fixé par l'objectif même du projet permet aux étudiants de gagner efficacement en compétences sur ces sujets, par une formation initiale courte suivie d'une mise en pratique sur le projet qui s'accompagne naturellement d'une autoformation au fur et à mesure de l'avancée du projet et des problèmes rencontrés.

L'évaluation de ces formations classiques est similaire à celle que l'on retrouve dans les options disciplinaires classiques (en général, sur la base d'un devoir surveillé et de comptes rendus de travaux pratiques ou projets courts). Dans le cas de l'appropriation des outils informatiques, des séances de classes inversées ont été mises en place afin que les étudiants prennent leur place rapidement dans le projet en étant actifs pour leur formation et en initiant le partage de connaissances au sein du groupe.

Mode de fonctionnement au quotidien

Depuis sa création, l'équipe-projet de «PariSci2024» a pu être accueillie dans une salle informatique du LHEEA, essentiellement occupée par les étudiants de master entre mars et août. Cette salle, partagée quelquefois avec des stagiaires du laboratoire, a pu être mise à disposition pendant la période creuse de septembre à mars. Des comptes spécifiques sur les machines ont donc été créés pour les étudiants. Selon les rôles de chacun et les ressources informatiques requises, des ordinateurs portables personnels sont venus compléter l'équipement. Dans tous les cas, une machine virtuelle dédiée, sous Linux, contenant

l'ensemble des outils préconfigurés, est installée sur chacun des ordinateurs personnels des étudiants afin qu'ils puissent poursuivre facilement le travail à distance. Cette organisation a notamment permis d'assurer une continuité dans le travail du projet au cours de l'année 2020-2021, où une longue période de travail à distance a été imposée par les conditions sanitaires.

Pour ce qui est des échanges avec l'encadrement, le comité de pilotage hebdomadaire est organisé par le chef de projet et regroupe l'ensemble des parties prenantes. Sa durée n'excède en général pas une heure. Son objectif principal est de faire un point d'avancement, d'aborder les sujets divers, mais aussi de définir les axes prioritaires et stratégiques.

À côté de cela, de nombreux points techniques avec le responsable de l'option sont discutés au gré des problèmes et difficultés rencontrés, afin d'orienter rapidement les pistes de travail les plus pertinentes pour avancer efficacement.

La communication externe se fait généralement au travers de vidéos courtes (environ deux par saison), de la mise à jour du site du projet (<https://plateforme.creps-pdl.fr/workspaces/101/open/tool/home#/tab/-1>) et de l'organisation d'un événement de présentation en fin d'année.

Évolution de l'option-projet au fil du temps

L'option projet « PariSci2024 » arrive au terme de sa troisième saison. Le mode de fonctionnement n'a que peu changé durant ces trois années. C'est principalement le contenu qui a évolué avec l'avancement du projet. Ainsi, la première année a été consacrée à la « genèse du projet », avec le développement d'une première version du simulateur prototype, qui a permis de valider les choix techniques et de démontrer la faisabilité. La deuxième année a permis d'améliorer les fonctionnalités du simulateur, et la troisième année s'est davantage focalisée sur l'automatisation de la chaîne de calcul complète pour rendre le simulateur utilisable en production.

Anouk Desjardins, Patrice Farand, Daniel Spooner, Catherine Carré & Lina Forest

Une culture de projets intégrateurs en formation 10 | d'ingénieurs

Résumé

En réformant ses programmes de formation en ingénierie au début des années 2000 (Lafleur *et al.*, 2008), Polytechnique Montréal a adopté une approche-programme et intégré des cours-projets, incluant un processus de prototypage ou projet intégrateur, qui vise à consolider les acquis par leur application à une situation authentique pour laquelle il n'y a pas de solution unique, tout en développant des compétences en travail d'équipe, gestion de projet et communication. Dans ce chapitre, nous présentons trois cours-projets. Le premier s'adresse aux étudiants de première année en génie mécanique afin de les initier à la pratique professionnelle de la conception en ingénierie. Le deuxième implique les étudiants de troisième année en génie chimique dans la réalisation d'un projet d'opérations unitaires s'inscrivant dans un trimestre dédié à ce thème. Le dernier cours-projet décrit un projet d'ingénierie civile permettant aux étudiants de quatrième année de mettre en pratique leurs compétences professionnelles.

Ces cours-projets visent l'engagement des étudiants et exigent une organisation pédagogique et un encadrement particulier. L'enseignant joue un rôle clé, il ne dirige pas l'expérience, mais l'accompagne sous la forme d'une écoute active, tout en dispensant une rétroaction fréquente. Ces cours-projets mobilisent des ressources humaines et matérielles importantes, mais constituent des expériences marquantes, qui

sont de puissants leviers pour le développement des compétences et la professionnalisation des étudiants (Dehaene, 2018).

Introduction

Polytechnique Montréal, établissement d'enseignement supérieur canadien d'ingénierie, accueille près de 10 000 étudiants dans les trois cycles universitaires, dont plus de 5000 dans ses programmes de baccalauréat en ingénierie (obtenu après quatre années d'études supérieures), répartis dans douze spécialités. Depuis la révision de ses programmes, entreprise en 2003, l'école propose systématiquement un cours-projet, incluant un processus de prototypage – appelé ci-après projet intégrateur (PI) – à tous ses étudiants, et ce, pour chaque année de formation menant au diplôme d'ingénieur. Dans leurs cours, les étudiants ont ainsi l'occasion, à partir d'une tâche semblable à une situation authentique d'ingénierie (Passow et Passow, 2017), d'appliquer, de tester et de renforcer les compétences acquises et ainsi de s'interroger sur leurs pratiques. Actuellement, une cinquantaine de cours-projets sont donnés annuellement. Après une présentation des aspects qui leur sont communs, ce chapitre en décrira trois.

Contexte et problématique

À Polytechnique Montréal, les programmes de formation d'ingénieur octroyant 120 crédits universitaires se déroulent en quatre ans. Un crédit représente 45 heures consacrées aux cours théoriques, aux travaux pratiques et au travail personnel d'un étudiant. La réforme de ses programmes qui a eu lieu en 2003 découle de plusieurs constats. D'abord, les étudiants ne saisissent pas les enjeux de la profession et en interprètent difficilement la définition. Quant à leur motivation, elle décroît au fil de leur cheminement (Viau *et al.*, 2004, p. 29). De plus, le taux de persévérance et de réussite est insatisfaisant et les demandes d'admission « piquent du nez ». Pour finir, le milieu professionnel recherche des compétences clés qu'il faut développer chez les futurs ingénieurs : résolution de problèmes, innovation, communication, travail en équipe, gestion des ressources humaines et matérielles, apprentissage continu, etc.

La réforme implique un changement de paradigme : passer d'une approche-cours, où les professeurs préparent leurs cours de façon isolée et avec une certaine méconnaissance des autres cours du programme, à

une approche-programme, où l'ensemble des cours s'articule autour de la création d'un projet de formation commun élaboré en synergie par l'équipe enseignante (Prégent *et al.*, 2009). Polytechnique (Direction de l'enseignement et de la formation, 2004) impose certaines contraintes: «accorder une place plus importante dans les programmes à la formation et à l'expérience de la conception en ingénierie» et «accentuer dans le curriculum la formation aux habiletés personnelles et relationnelles». Pour y répondre, les approches suivantes sont prescrites: la création d'un cours-projet par année, par programme, dont un qui propose en fin de formation un PI de conception d'envergure (au moins six crédits) et l'attribution de deux crédits à la formation au travail en équipe.

Pour la création des cours-projets, le défi est de concevoir le projet permettant d'intégrer les contenus disciplinaires enseignés et les apprentissages réalisés dans l'ensemble des cours. Celui-ci doit permettre de rendre les notions théoriques plus concrètes et miser sur l'apprentissage par l'action. Les programmes présentent cependant des réalités fort différentes quant au nombre d'étudiants à prendre en charge, soit des cohortes de 40 à 250, et aux situations professionnelles authentiques envisageables.

Projet intégrateur

Prégent *et al.* (2009, p. 107) définissent le projet intégrateur (PI) comme «un défi représenté par une situation problématique authentique complexe, un décloisonnement des apprentissages réalisés dans des cadres différents, un travail d'équipe, une durée précise, une démarche rigoureuse, une solution et la production de divers extrants». Cette définition correspond aux différents PI implantés dans les cours-projets. Au cours de la formation des étudiants, les enseignants leur soumettent des PI sous forme de tâches signifiantes propres à la profession d'ingénieur permettant l'assimilation et la consolidation des apprentissages réalisés ainsi que le développement de plusieurs compétences importantes, dont le travail en équipe.

Éléments communs des dispositifs réalisés

Depuis l'implantation des nouveaux programmes en 2005, près d'une cinquantaine de cours-projets ont été développés, testés et évalués par les enseignants. Selon les spécialités et les années de formation, ils valent

de deux à six crédits universitaires et se déroulent sur un trimestre, sauf certains, dont les PI sont de plus grande envergure, qui en demandent deux. Chaque programme offre quatre cours-projets obligatoires, soit un par année. Plus les étudiants progressent dans la formation, plus les PI soumis sont complexes. Ces derniers présentent des problématiques dites ouvertes, car il n'y a pas de solution unique. Ils sont proposés par l'équipe enseignante, des membres de la communauté de Polytechnique ou des partenaires industriels et communautaires de la région. Dans les prochaines sections, nous illustrons trois cours-projets implantés dans trois programmes pour trois années de formation différentes.

En plus d'offrir un espace où les différentes étapes de conception, dont le prototypage, sont expérimentées et renforcées, les cours-projets servent aussi à développer plusieurs compétences professionnelles, dont la gestion de projet, la communication écrite et orale, la compréhension des rôles et responsabilités de l'ingénieur et la capacité de collaborer efficacement. Pour cette dernière, un dispositif de formation veille à introduire et à approfondir les connaissances liées au développement d'habiletés relationnelles nécessaires à la collaboration lors du travail en équipe. C'est dans le contexte des PI que les étudiants les mettent en pratique. Un accompagnement des équipes, notamment pour la gestion de conflits, est assuré par les experts chargés de la formation initiale. Cet accompagnement est procuré indépendamment des enseignants chargés de l'encadrement et de l'évaluation des PI. Cette double guidance permet aux équipes d'étudiants d'avoir accès à un intervenant neutre, non impliqué dans l'évaluation des apprentissages, pour les aider à résoudre leurs problèmes de fonctionnement.

Lors de l'implantation des nouveaux programmes, un suivi systématique par questionnaire a été réalisé, de 2005 à 2009, auprès des étudiants des deux premières cohortes qui y ont été admises, vers la fin de chacun des six premiers trimestres. L'objectif était de sonder leur perception sur divers aspects du déroulement des programmes : charge de travail, liens entre les cours, projets-intégrateurs, références à des exemples de la profession, encadrement, etc. Un des énoncés portait spécifiquement sur les PI : « Le premier (deuxième ou troisième) projet intégrateur vous donne un aperçu concret de la spécialité dans laquelle vous êtes inscrits et des défis de conception (à une échelle réduite) auxquels les ingénieurs de votre discipline sont confrontés. » Les résultats de ces enquêtes ont fourni de précieuses données pour l'amélioration des cours-projets, tout comme les résultats de l'évaluation de

l'enseignement par les étudiants, obligatoire dans tous les cours. Dans les trois cours-projets présentés, nous revenons sur ces résultats et les améliorations qui en ont découlé.

Trois cas de prototypage

Prototypage en génie mécanique (première année de formation)

Contexte du cours-projet

En génie mécanique, le cours-projet de trois crédits en première année a pour objectif d'initier les étudiants à la pratique professionnelle de la conception dès le début de leur parcours. Il se veut une expérience d'exploration et une chance de développer leur intérêt pour le travail de conception. Se déroulant sur un trimestre (treize semaines), il touche environ 280 étudiants, répartis en cinq groupes-classes par an. En équipes de six, les étudiants suivent toutes les étapes d'un cycle de conception, de la recherche des besoins du client jusqu'à la fabrication d'un prototype préliminaire, pour valider l'atteinte (ou non) des objectifs initiaux des mandats de projet.

Philosophie d'enseignement

Les enseignants cherchent à proposer une tâche d'apprentissage aussi conforme que possible à la pratique professionnelle du génie en conception. Un projet de conception est par définition une cible floue et chaotique qui exige de cerner les bons objectifs à atteindre. Les enseignants, dans leur rôle de mentor, aident les étudiants à apprivoiser ce flou et à en gérer les risques. Ceci est très différent des modèles d'enseignement traditionnels, mieux connus des étudiants. L'enseignant ne contrôle pas les activités, il y réagit dans un cadre structuré. Les étudiants tracent leur propre chemin, mais ils ont droit à l'erreur. En classe, ce droit à l'erreur signifie que les étudiants trouvent leurs réponses eux-mêmes et tentent de les valider sans l'aide directe de leur professeur. Ils doivent apprendre à se faire confiance comme équipe et comme individus, tout en étant critiques de leur travail et de celui des autres.

Une autre différence importante avec le modèle d'enseignement plus traditionnel est le souci d'apporter un contexte authentique au projet qui privilégie davantage le « pourquoi » que le « comment ». Livrer un produit qui répond aux besoins et aux attentes d'un client réel prime ici en effet sur la démarche exacte utilisée pour parvenir aux

résultats. La séquence d'activités prévue pour y arriver reste structurée, mais sera contextuelle et pourra varier chaque trimestre ou même d'une équipe à l'autre dans la même session.

Objectifs

Ce cours-projet veut créer des situations qui demandent aux étudiants de reconnaître les limites de leur savoir et d'apprendre à les faire évoluer. Cette progression couvre plusieurs dimensions, dont le développement de l'autonomie et de la pensée critique en contexte de projet, appuyé par la capacité à travailler efficacement en équipe. Le cours vise aussi à mettre en place un contexte de résolution de problème qui adopte les étapes d'un cycle de conception complet, adaptées des multiples travaux sur l'expertise en conception de Cross (2004); Dym *et al.* (2005); Lawson et Dorst (2009); Ulrich et Eppinger (2004). Finalement, il souhaite intégrer des dimensions de la pratique du génie : la conception dans l'action et la rédaction de la documentation technique qui viennent soutenir le cycle de conception.

Description

Pour ce cours-projet, chaque étudiant doit investir chaque semaine cinq heures en classe et quatre heures de travail personnel. Pour favoriser un contexte de travail authentique, les cinq heures passées en classe sont continues, mais découpées en activités. Le contenu magistral est plus important au début du trimestre, mais laisse ensuite entièrement place au travail en équipe autonome accompagné par les enseignants.

Un groupe-classe est constitué de 60 étudiants, divisés en dix équipes, formées sur la base d'un sondage d'identification des préférences personnelles pour la communication, la gestion, les connaissances scientifiques et les habiletés pratiques. Les enseignants veillent à ce que chaque équipe soit constituée d'étudiants qui, ensemble, auront un intérêt pour chacune des préférences sondées, afin d'assurer une équipe diversifiée et robuste. Un tandem d'enseignants accompagne chaque groupe-classe, ce sont soit des ingénieurs de l'industrie, soit des enseignants qui ont une expérience industrielle en conception.

Les espaces sont conçus pour faciliter le travail actif en équipe et la fabrication de matériel. Deux salles de projet, avec dix îlots où les équipes se rencontrent, sont adjacentes à un atelier de fabrication avec quelques équipements de base (perceuses à colonne, scies à ruban, plieuse, outils manuels, etc.).

Le cours-projet prévoit deux cycles de conception pour maximiser les apprentissages. Un premier PI formatif (non noté, mais avec rétroaction des enseignants) de courte durée (trois semaines) permet de mettre en pratique les réflexes spontanés de l'équipe pour résoudre un problème de conception. Pour augmenter la motivation, le sujet imposé demande la résolution d'un problème de société simple et d'actualité. Les étudiants sont accompagnés lors du cycle de conception, mais pas dans les détails. L'objectif est de les rendre responsables de leur démarche et de leurs choix. Le rôle de l'enseignant est de poser des questions, celui des étudiants, de trouver les réponses. Un retour détaillé sur la solution proposée par l'équipe sous forme de croquis et d'évaluations techniques est fourni, mais aucune note n'est attribuée. Ce cadre donne droit à l'erreur et permet de souder rapidement les équipes et de détecter tôt les problèmes entre leurs membres.

Le deuxième PI, plus complexe, est de plus longue durée (dix semaines). Le sujet est défini par chaque équipe selon ses intérêts. Cette fois, les étudiants suivent un cycle de conception complet. Chaque projet demande une structure de livrables en étapes, typique des projets de conception : recherche des besoins, idéation, design final. À chaque étape, les équipes rédigent un court rapport écrit où la note individuelle est pondérée par une évaluation des pairs, une présentation orale et un cahier de projet individuel.

Un cours-projet de cette nature demande un investissement important en temps et en ressources. Miser sur ce type d'activité est un choix qui se base sur la conviction que développer des compétences en conception passe par des situations authentiques. La nature des projets cherche à explorer l'impact du génie sur la société, lorsqu'il s'agit par exemple d'équipement d'aide à la mobilité des personnes âgées, d'équipement de sécurité pour les cyclistes, d'équipement de compostage domestique ou de protection anti-véhicule-bélier pour les lieux publics.

Encadrement, rétroaction et évaluation

Des livrables à visée formative (non notée) sont prévus pour stimuler des discussions efficaces entre les étudiants et les enseignants chaque semaine. L'évaluation des travaux se fonde sur le respect d'une démarche structurée et non sur les résultats obtenus. Un excellent produit qui n'a pas suivi une démarche bien documentée est sanctionné, car en pratique professionnelle, la documentation est essentielle pour justifier et appuyer ses choix.

Un prototype pour démontrer le fonctionnement du produit complet ou d'une de ses parties est livré à la fin du projet et sert à la présentation finale devant un jury externe composé d'ingénieurs de l'industrie. Un prix du jury est offert aux équipes ayant le mieux satisfait les besoins du client.

Aligner des outils d'évaluation avec les objectifs du cours, et ce, sans dénaturer le travail de conception authentique, est un défi. Plusieurs itérations sont requises pour donner une rétroaction efficace orientant la progression des étudiants sur le plan des compétences visées, sans pour autant donner un chemin tracé d'avance qui réduit l'indépendance de leur démarche et leur engagement.

Ce processus d'évaluation des apprentissages augmente la rétroaction informelle et formelle entre : les enseignants et les étudiants, les pairs dans une équipe et entre les équipes. Celle-ci se structure par l'utilisation de grilles critériées des éléments attendus dans les rapports. De plus, les enseignants annotent généreusement les rapports pour compléter ces dernières. Les présentations orales des équipes sont évaluées par les pairs pour que tous participent à une réflexion critique sur les livrables. La rétroaction va également des étudiants aux enseignants ; en tout temps, les étudiants sont libres de commenter le contenu ou l'évolution du cours. Un processus formel de rétroaction critique des étudiants sur les processus du cours permet de réajuster les outils et techniques chaque trimestre.

Résultats obtenus et évolution

Depuis 2005, le cours-projet a été suivi par plus de 3000 étudiants et demeure en constante évolution. Les modifications du contenu et de la forme reposent d'abord sur les observations et suggestions des étudiants, mais aussi sur celles des équipes enseignantes impliquées.

En 2006, après la mise en place du premier cours-projet en génie mécanique, l'évaluation de l'enseignement des étudiants révélait que près de 50 % étaient insatisfaits des aspects concrets proposés. De plus, près de 50 % ne sentaient pas d'effort d'intégration des matières ni de références suffisantes à la pratique professionnelle du génie et critiquaient la charge de travail excessive. En 2008, après des rectifications constantes, seule la charge de travail demeurait problématique.

Depuis, le cours-projet de première année est très bien évalué par les étudiants sur toutes les dimensions sondées. La charge de travail reste élevée malgré les efforts pour améliorer la situation. Une des causes

serait la nature ouverte des problèmes proposés et l'énergie déployée par les étudiants pour les résoudre de façon optimale en dépit de l'aspect incrémental à long terme de ce type de projets.

Une des plus grandes sources de progression dans l'efficacité du cours-projet est le souci constant d'améliorer l'authenticité de la pratique professionnelle du génie dans le cadre pédagogique proposé, ce qui se fait selon quatre axes : une démarche plus efficace, des sujets réalistes et près des intérêts des étudiants, des livrables dont la forme s'inspire de livrables industriels et des modes d'évaluation cherchant à ne pas dénaturer l'authenticité du projet.

Au début et à la fin du cours-projet, les étudiants doivent rédiger un bref texte réflexif. Voici un extrait recueilli à la sortie :

Nous avons eu la chance de développer nos capacités de débrouillardise et de *leadership* pour pouvoir arriver à une solution qui, malgré le fait d'être incomplète, pourrait devenir viable dans le futur. En plus, pour mener à terme notre projet, il fallait qu'on se familiarise avec certains aspects techniques, fonctionnels, théoriques et réglementaires, ce qui s'est révélé être fort intéressant ainsi qu'enrichissant pour notre culture générale en tant que futurs ingénieurs.

On note une grande évolution entre les perceptions initiales et finales des étudiants sur la nature d'un cours-projet. L'expérience du travail d'équipe, d'un livrable réel et d'une démarche floue, mais qui doit malgré tout rester balisée, les transforme. Certains se découvrent une nouvelle passion ou trouvent en eux des ressources insoupçonnées leur permettant de surmonter les défis du projet.

Prototypage en génie chimique, troisième année de formation

Contexte du cours-projet

En génie chimique, dans le cadre du cours « Opérations unitaires », se déroule le troisième PI intitulé « Projet d'opérations unitaires ». Auparavant, ses contenus s'enseignaient, comme de nombreux programmes de génie chimique à travers le monde, grâce à quatre cours indépendants : « Mécanique des fluides appliquée », « Procédés de séparation », « Transfert thermique », « Commande de procédés ». Cependant, nous avons remarqué que les étudiants rencontraient des difficultés lorsqu'il fallait faire des liens entre ces cours. Dans l'optique

de favoriser une approche-programme, on a décidé de les fusionner et de revoir la façon de les enseigner.

Depuis 2005, le cours «Opérations unitaires» vise le développement de compétences liées à la conception des principaux équipements, appelés opérations unitaires, qui forment les procédés chimiques et constituent l'épine dorsale du programme. Il totalise treize crédits en deux volets : l'apprentissage de la théorie en conception des opérations unitaires (sept crédits) et la réalisation d'un PI (six crédits). Ce PI fait suite à celui de deuxième année sur la modélisation numérique des procédés et prépare les étudiants au projet final de conception de la quatrième année.

Chaque trimestre, près de 50 étudiants suivent le cours et doivent réaliser le prototype d'un procédé de transformation chimique en produisant des rapports d'ingénierie préliminaires. Ils sont accompagnés par une équipe de sept enseignants et sept assistants.

Philosophie d'enseignement

En proposant ce cours, les enseignants souhaitent offrir un défi technique, mais aussi un défi en matière de gestion. Pour y arriver, on traite des notions théoriques propres aux sciences du génie ainsi qu'à la conception des procédés, en demandant aux étudiants de réaliser plusieurs travaux d'équipe. Une fois ce contexte créé, un seul cours à suivre pour tout un trimestre permet de mettre en place diverses stratégies d'apprentissage pour développer des compétences multiples et les évaluer de façon plus authentique (Prégent *et al.*, 2009; Scallon, 2004; Tardif, 2006).

Un autre objectif du cours est de favoriser la professionnalisation des étudiants, leur métamorphose en ingénieurs, à travers la réalisation de tâches similaires à celles d'un contexte industriel. Pour évaluer leur professionnalisme, une cote de savoir-être est intégrée aux stratégies d'évaluation des apprentissages.

Enfin, la collaboration des membres de l'équipe enseignante est très bénéfique pour les étudiants. Chaque thématique abordée peut être enrichie par la création de liens avec celles explorées par d'autres collègues. L'expertise de chacun contribue à bonifier la rétroaction en direction des étudiants et leur encadrement.

Objectifs

Le cours veut favoriser l'intégration des apprentissages des étudiants dans des matières distinctes, à l'intérieur d'une même activité pédagogique. De plus, il permet de leur proposer des tâches similaires à

celles d'un contexte d'ingénierie en leur demandant de créer des prototypes de procédés réalistes, tout en développant des compétences disciplinaires, professionnelles, organisationnelles, communicationnelles, réflexives, relationnelles, etc. Finalement, il intègre des stratégies d'apprentissage pour développer ces compétences et les évaluer de façon authentique.

Description

Le cours «Opérations unitaires» demande aux étudiants d'investir hebdomadairement 39 heures de travail. Depuis 2020, on favorise une approche de classe inversée pour l'enseignement des notions théoriques. Chaque semaine, les étudiants regardent des vidéos avant de rencontrer les enseignants des quatre thématiques du cours pour une séance de trois heures permettant de revenir sur les vidéos et de résoudre des problèmes.

Le second volet, le PI, est réalisé en équipe de huit. Les étudiants forment d'abord des dyades, puis l'enseignant jumèle quatre équipes. Pour assurer une rotation constante entre les deux volets du cours, un local a été aménagé pour passer facilement et rapidement d'une configuration «travail d'équipe» à une configuration «classe inversée». Quand les étudiants travaillent sur le PI, chaque équipe dispose d'un îlot pour tenir des réunions.

La réalisation du PI se divise en trois parties. Au début, chaque équipe reçoit un cahier des charges, incluant un contexte et des objectifs à atteindre fixés par un client industriel fictif (représenté par l'équipe enseignante), à partir duquel elle doit produire un premier livrable, un prototype du procédé proposé sous forme de plan d'ingénierie, et le présenter au client. Ensuite, les équipes se voient attribuer un cahier des charges plus détaillé à partir duquel elles doivent concevoir de façon préliminaire certaines opérations unitaires du procédé global. Le second livrable est la rédaction d'une offre de service présentée au client qui inclut la planification de l'équipe pour atteindre les objectifs fixés. Finalement, les équipes procèdent à la conception préliminaire des opérations unitaires et soumettent un rapport final. Au terme du processus, une soutenance orale individuelle de 20 minutes a lieu devant le client.

À titre d'exemple, voici trois PI réalisés lors des dernières années: dimensionnement préliminaire d'une usine de biométhanisation pour la conversion de matières organiques résiduelles; dimensionnement

préliminaire d'une unité de distillation de l'air pour la production d'oxygène, d'azote et d'argon; dimensionnement préliminaire d'une unité de production de biocarburant liquide par conversion de la biomasse lignocellulosique.

Encadrement, rétroaction et évaluation

Hebdomadairement, un enseignant et son assistant font le point avec les étudiants sur l'avancement des travaux, répondent aux questions et fournissent une rétroaction constructive qui peut porter sur la clarification des consignes du PI, l'éclaircissement de notions théoriques ou encore sur la dynamique observée dans l'équipe. Chaque équipe prépare un ordre du jour pour ces rencontres et délègue à un membre le rôle d'animer les discussions avec l'équipe enseignante. Les équipes peuvent aussi rencontrer les enseignants responsables des thématiques en cas de besoin. L'équipe enseignante s'assure de fournir une rétroaction constante aux étudiants.

Une formation de 14 heures est prévue pour favoriser le développement des compétences en gestion de projets. Les étudiants réalisent ensuite la planification d'un projet sous la forme d'un devoir. Ces habiletés sont réinvesties dans l'offre de service du PI. Un enseignant spécialiste en gestion de projets guide les étudiants dans leur planification.

La réalisation du PI en équipe de huit amène souvent des défis inhérents au travail en équipe et à la communication. Un spécialiste du travail en équipe rencontre les étudiants au début du trimestre pour les conseiller. À la mi-trimestre, ce même spécialiste rencontre chacune des équipes pour évaluer leur dynamique et fournir de la rétroaction. Au terme du PI, les étudiants soumettent une réflexion sur le travail en équipe en se basant sur les trois PI vécus depuis le début de leur cursus. Cette réflexion individuelle dresse un bilan des compétences développées et cible les améliorations requises.

Pour favoriser l'apprentissage continu et l'autonomie, chaque étudiant doit trouver une innovation dans la littérature scientifique reliée à son PI, en faire un résumé, puis une critique. Pour amener les étudiants à rechercher efficacement de l'information à partir de sources fiables, trois formations documentaires sont données par des spécialistes pendant les trois premières années du baccalauréat. Au terme de ce PI, leurs compétences en recherche documentaire sont évaluées via un examen en ligne.

Finalement, le développement du professionnalisme des étudiants est un élément central de la formation des ingénieurs. Pour en attester, une cote de savoir-être basée sur douze critères (par exemple, l'étudiant participe de façon constructive aux rencontres avec l'équipe d'enseignement) est attribuée à chaque étudiant. Cette cote (A, B, C ou F) est établie par consensus avec toute l'équipe d'enseignement au terme du trimestre.

Tous ces mécanismes utilisent des grilles d'évaluation descriptives avec une échelle à quatre niveaux (Stevens et Levi, 2005), lesquelles permettent de donner de la rétroaction précise et de fournir des pistes d'amélioration pour la suite du projet (Huba et Freed, 2000).

Résultats obtenus et évolution

Depuis sa création, le cours a été donné à trente reprises à plus de 1200 étudiants. Chaque édition est unique puisque des ajustements y sont sans cesse apportés. Au terme de chaque édition, la satisfaction des étudiants est toujours sondée pour cibler les améliorations nécessaires. Les résultats obtenus de 2005 à 2007 montrent que le PI est stimulant, avec un taux d'approbation (plutôt et tout à fait d'accord) moyen de 96%. De plus, 94% des étudiants ont confirmé se sentir désormais à l'aise pour appliquer les principes fondamentaux du génie à la conception des opérations unitaires de procédés industriels. Finalement, 97% des étudiants sont satisfaits des apprentissages réalisés. Ces évaluations ont aussi fait ressortir les préoccupations des étudiants quant à la charge de travail : 42% d'entre eux ont déclaré qu'elle était trop grande. Un suivi quotidien des heures investies par les étudiants dans leurs différentes activités nous a permis d'étudier la problématique. Des mesures ont été mises en place afin de réduire l'envergure de certaines activités trop chronophages.

Initialement, le cours « Opérations unitaires » permettait l'obtention de treize crédits. Après quelques itérations, pour des raisons administratives, il a été divisé en deux volets, décrits précédemment, de façon à bien distinguer l'évaluation des apprentissages individuels de l'évaluation du PI en équipe. Récemment, il a été transformé en passant d'un enseignement magistral des notions théoriques à une modalité de classe inversée. Nous cherchions depuis plusieurs années une façon d'optimiser le temps de contact entre les étudiants et l'équipe d'enseignement. En dernier lieu, nous avons retiré des séances de travaux pratiques sur une opération unitaire pour les intégrer dans un nouveau

cours de quatrième année, car nous avons observé que les étudiants avaient des difficultés à étudier ces opérations unitaires en ayant peu de recul par rapport aux notions théoriques qui les sous-tendent.

Bien que le cours «Opérations unitaires» continue d'évoluer, nous croyons avoir atteint nos objectifs : favoriser l'intégration des apprentissages, proposer des tâches authentiques et développer des compétences variées utiles à la profession.

Prototypage en génie civil, quatrième année de formation

Contexte du cours-projet

Le cours-projet final de six crédits se tient au dernier trimestre de la quatrième année et consolide presque tous les apprentissages liés au domaine du génie civil. La charge de travail de l'étudiant est de 18 heures par semaine, dont 6 pour le travail personnel. En moyenne, 180 étudiants suivent ce cours chaque année. Les prototypes réalisés dans ce cours-projet sont des rapports d'avant-projet destinés à un client, des plans de conception et des estimations de coûts.

Philosophie d'enseignement

La philosophie de ce cours-projet repose sur quatre grands principes. Premièrement, créer un climat de confiance, basé sur le respect entre les apprenants et les mentors qui les encadrent. Pour cheminer, les étudiants doivent réfléchir, se remettre en question, trouver des solutions de manière autonome et ouvrir un dialogue sur leur démarche et leurs réflexions avec ceux qui les accompagnent, ce qui n'est possible que lorsqu'un tel climat existe. Les étudiants peuvent alors faire de leur mieux sans craindre les erreurs parce qu'elles font partie du processus d'apprentissage. Cette relation de confiance leur permet de dépasser leurs limites. Deuxièmement, puisqu'ils sont à la fin de leurs études, nous les plaçons dans une situation professionnelle, soit un rapport ingénieur/directeur de l'ingénierie ou ingénieur/client proche de celui qu'ils expérimentent dans leur future profession. Troisièmement, les étudiants sont encadrés sur une base hebdomadaire pendant tout le projet. L'équipe enseignante remplace en quelque sorte les ingénieurs d'expérience qui les accompagneraient dans un contexte réel. Ils leur fournissent une rétroaction rapide, ciblée, fréquente et constructive, un outil puissant pour les faire progresser. Cette tâche est sans aucun doute la plus difficile pour l'encadrant : il faut savoir souligner

les erreurs, mais aussi mettre en valeur les points positifs et donner la motivation de continuer à se dépasser.

Objectifs

Le cours-projet final en génie civil a trois objectifs. Premièrement, les étudiants consolident les notions techniques de tous les axes du génie civil : génie de l'environnement, structures, géotechnique, hydraulique et transport. Deuxièmement, ils développent des compétences pour le travail en équipe, la gestion de projet, l'estimation des coûts et la communication, en plus des compétences techniques. Finalement, nous accordons une attention particulière à leur professionnalisation en les plaçant dans une situation authentique, construite à partir du processus classique d'un projet de génie civil : appels d'offres, offre de services, avant-projet préliminaire et avant-projet définitif.

Description

Le processus classique d'un projet de génie civil constitue le squelette de l'organisation du cours. Les activités d'apprentissage, d'encadrement et de rétroaction sont planifiées en fonction de celui-ci. La grille horaire prévoit douze heures : six heures sur une journée réservée aux activités d'apprentissage et d'encadrement formelles, puis six autres pour le travail en équipe, avec le soutien d'un mentor au besoin.

Certaines notions liées aux plans de conception, aux notes de calcul et à l'estimation des coûts sont présentées par des vidéos à voir avant les séances. Cette approche permet de maximiser le temps de classe avec les mentors pour l'application de ces notions au projet. D'autres contenus sont aussi transmis en classe.

En équipe de six, les étudiants produisent quatre livrables. Le premier est une offre de services en réponse à un appel d'offres et un cahier des charges. Le deuxième livrable, l'avant-projet préliminaire, est une étape de conception d'aide à la décision. Les équipes doivent proposer deux solutions, les comparer et recommander la plus avantageuse d'un point de vue technique, social, environnemental et économique. La notion de gestion du budget d'heures fait aussi partie du processus : il faut éviter de le dépenser entièrement pour une solution qui sera abandonnée et il faut le gérer en gardant en tête l'objectif de chacune des phases du projet. Le troisième livrable, l'avant-projet définitif, cible une infrastructure de la solution retenue pour laquelle la conception est détaillée. L'avancement de cette dernière permet de lever certaines incertitudes

économiques et techniques. Pour le dernier livrable, en adéquation avec la vision du client, les équipes doivent proposer à l'oral un mandat complémentaire au projet qui représente une réelle plus-value et mettre en évidence les impacts attendus. Pour assurer une rétroaction ciblée constante pendant tout le trimestre et valider des apprentissages essentiels au projet, de courtes évaluations complémentaires sont prévues : questionnaires individuels à correction automatique, rétroaction sur le plan servant de base pour la conception et validation à intervalle régulier de l'avancement de la conception par les notes de calcul, etc.

Le choix des projets se fait de manière à couvrir la plupart des domaines du génie civil, mais il est aussi guidé par les opportunités de collaboration qui se présentent. Voici quelques exemples :

- Projet d'approvisionnement et traitement de l'eau potable pour la municipalité de Rougemont, incluant génie de l'environnement, conception hydraulique, conception structurale et des fondations, géotechnique et hydrogéologie.
- Projet d'aménagement hydroélectrique sur la rivière Saint-Maurice, requérant conception hydraulique, conception structurale et des fondations, géotechnique, conception de route et étude de stabilité du barrage.
- Corridor écologique Darlington pour améliorer le transport actif, le verdissement et la gestion des eaux pluviales, incluant : planification des transports, gestion optimale des eaux pluviales par des infrastructures vertes, hydrologie, hydraulique, structure et fondation.

Encadrement, rétroaction et évaluation

Toutes les activités d'apprentissage et d'encadrement formel prévues durant la plage de six heures commencent par une plénière magistrale pour communiquer les attentes, faire un retour sur la correction d'un livrable ou donner des notions techniques complémentaires. L'encadrement est assuré par une équipe de mentors formée d'enseignants et d'ingénieurs de l'industrie. Ensuite, les équipes se regroupent pour des séances de mentorat d'environ une heure. Celles-ci sont dirigées par les équipes d'étudiants. Les mentors sont là pour les guider dans le processus, les amener à se questionner sur les solutions proposées, les aider à enrichir leur argumentaire et les accompagner dans toutes les phases du projet. Parfois, des spécialistes aident les mentors à encadrer les étudiants. Leur rôle est de partager leur expertise en répondant à des questions techniques précises durant l'avant-projet définitif.

Ce type d'organisation nécessite l'utilisation d'une salle polyvalente permettant de passer aisément d'un mode magistral à un mode de travail en équipe, avec suffisamment de prises électriques et des panneaux mobiles pour créer des îlots et assurer une certaine tranquillité aux équipes en réduisant le bruit.

Une rétroaction fréquente est au cœur de la progression et de la motivation des étudiants dans un cours-projet. Elle est rendue possible par des rencontres hebdomadaires avec les mentors et les spécialistes ainsi que par la correction des livrables. Ce type d'encadrement demande des ressources: environ un mentor pour cinq équipes pendant toute la durée du trimestre et deux spécialistes pour environ le tiers des séances. Une coordination serrée est vitale pour encadrer équitablement les équipes. Les étudiants contribuent aussi à la rétroaction grâce à l'évaluation par les pairs d'éléments techniques, tels que des plans et des notes de calcul. Cette évaluation formative est instructive puisqu'elle leur permet de s'apercevoir de leurs propres erreurs en corrigeant celles des autres.

En adéquation avec la philosophie et les objectifs de ce dispositif, les étudiants doivent faire preuve d'autonomie, apprendre de leurs erreurs et trouver les réponses à leurs questions. Toutefois, ils doivent aussi être guidés et suivis de près. Certains pensent à tort que, pour rendre les étudiants autonomes, peu de ressources doivent être allouées à la planification du dispositif et à l'encadrement. Au contraire, pour assurer leur progression, il faut un investissement de temps important pour l'encadrement et la rétroaction, et y allouer les ressources nécessaires.

Résultats obtenus et évolution

Ce cours-projet a été donné pour la première fois en 2009. Depuis, il a été offert à vingt-cinq reprises à environ 2100 étudiants. Des ajustements sont continuellement faits à partir des bilans trimestriels de l'équipe enseignante, des échanges constructifs avec les étudiants et des évaluations formelles de l'enseignement.

Les résultats des évaluations formelles de l'enseignement sont excellents. En moyenne, 93% des étudiants se disent plutôt ou totalement d'accord avec le fait que les enseignants commentent leur travail de manière constructive; 93% affirment que les travaux sont annotés de façon utile; 95% disent que leur motivation a été stimulée et maintenue pendant tout le trimestre; 96% perçoivent une équipe enseignante

qui encourage les initiatives et fait preuve d'ouverture et 93% qu'elle s'est montrée réceptive aux suggestions d'amélioration proposées.

Bien que les évaluations de l'enseignement soient satisfaisantes depuis la création de ce cours-projet, plusieurs itérations furent nécessaires pour l'amener à maturité, en grande partie grâce aux échanges avec les étudiants qui ont permis de mettre en lumière des problématiques que les évaluations de l'enseignement ne révélaient pas.

Premièrement, mentionnons l'insatisfaction des étudiants en génie géologique qui ont suivi ce cours-projet jusqu'en 2016. La réunion des étudiants en génie civil et géologique semblait naturelle étant donné la proximité des disciplines. Les ingénieurs géologues travaillent en amont et produisent les études sur lesquelles vont s'appuyer les ingénieurs civils pour leur conception. Les étudiants en génie géologique avaient donc une grande pression au début du projet, puis étaient ensuite relégués à la rédaction. Un nouveau cours-projet sur mesure a donc été créé pour eux.

Deuxièmement, les étudiants ont soulevé un manque de cohérence dans l'encadrement offert par les mentors, certains donnant plus de soutien que d'autres. Une formation pédagogique spécifique a donc été mise sur pied pour eux et un guide écrit encadre maintenant leur travail.

Finalement, les étudiants ont soulevé la charge de travail importante dans l'avant-projet définitif. Dans les versions initiales du cours-projet, toute la solution retenue était détaillée. L'expérience a montré qu'il est préférable de viser moins large pour assurer l'apprentissage et la professionnalisation. Seulement une ou deux infrastructures sont maintenant ciblées pour l'avant-projet définitif, ce qui permet d'aller plus loin dans la conception en maintenant une charge de travail raisonnable.

Bilan et conseils de mise en pratique

Les cours-projets présentés dans ce chapitre exigent un scénario détaillé et un investissement important de ressources. C'est pourquoi l'implantation d'une culture de PI nécessite une prise de position stratégique de la direction de l'établissement (Direction de l'enseignement et de la formation, 2004). Les commentaires recueillis depuis plus de quinze ans montrent la valeur ajoutée à la formation: étudiants et enseignants conviennent que les PI offrent des expériences d'apprentissage marquantes pour le développement des compétences des étudiants et leur professionnalisation.

Les trois enseignants impliqués dans ces cours-projets cumulent près de quarante-cinq ans d'expérience dans l'encadrement de PI. Pour terminer, dans le tableau ci-dessous, se trouvent les conseils qu'ils prodiguent à ceux qui voudraient mettre en place ce type de dispositif.

TABLEAU 10.1 Conseils pour la mise en œuvre de projets intégrateurs (PI).

Dimension	Conseils
Conception	Scénariser l'expérience est essentiel. L'authenticité est fondamentale pour favoriser l'engagement des étudiants. Aligner l'évaluation des apprentissages avec les objectifs du cours-projet et le caractère authentique est un défi nécessitant plusieurs itérations. Intégrer le dispositif dans une approche-programme : indispensable pour avoir de plus grandes retombées.
Rôles de l'enseignant	Favoriser la synergie dans l'équipe et sa coordination efficace. S'entourer des bonnes personnes. Comprendre que le rôle de l'enseignant est différent, sans être moins exigeant : il accompagne l'expérience au lieu de la diriger, son travail est surtout lié à l'encadrement et à la rétroaction, ingrédients incontournables au succès d'un PI!
Accompagnement des étudiants	Porter une attention toute particulière à l'encadrement du travail en équipe. Être bienveillant et à l'écoute. Les PI sont ouverts et peuvent déstabiliser les étudiants.
Espace de travail	Se doter d'un espace adéquat pour le travail en équipe et la réalisation du PI.
Implication personnelle	Ne pas hésiter à se lancer dans l'aventure et à s'amuser avec les étudiants.

Hervé Barras & Lina Forest

Conclusion générale

D'après la vingtaine d'exemples présentés dans cet ouvrage, nous pouvons retenir que prototyper, c'est apporter un cadre à l'apprenant favorisant un apprentissage en profondeur, au travers d'activités authentiques. Nous remarquons également que le point de départ de chacun de ces exemples est une forme d'inconfort ou d'insatisfaction formulée par un enseignant, une équipe ou des étudiants. Les solutions pédagogiques développées répondent aux soucis d'hétérogénéité constatés dans les cohortes d'étudiants, mais aussi à la dynamique motivationnelle décroissante constatée chez les apprenants. Il semble que l'élément marquant ici est bien la sortie de la solitude pédagogique des enseignants, afin de ne pas rester seul face à des questions pédagogiques, des insatisfactions ou des évaluations de l'enseignant par les étudiants « dérangeantes » (Barras, 2017 ; Shulman, 1993).

Chaque dispositif de prototypage présenté dans ce livre s'interroge sur l'expérience d'apprentissage des étudiants et cherche des solutions adaptées. Ces dernières favorisent toujours la mise en action des étudiants à l'aide du prototypage, qui engage un processus cognitif conduisant les apprenants vers une réorganisation de leurs représentations et de leurs actions. Il en découle une forme de dialogue, entre la théorie et la pratique (Zask, 2015), formalisé dans le prototype. Ce dialogue appuie, voire accélère l'évolution des apprentissages souhaités. En fait, le concept de l'expérience déjà décrit par Dewey (2006) est au cœur du

prototypage. La construction du prototype rend les difficultés tangibles, créant ainsi un déséquilibre dans l'expérience de l'étudiant. Ceci l'incite à enquêter pour rétablir un nouvel équilibre et produire de nouvelles formes de connaissances (Dewey, 2006; Piaget, 1975). Cette construction passe par la formulation d'idées qui conduisent l'apprenant à la prise de nouvelles informations. Finalement, la vérification des idées et leur confirmation sur le prototype permettent de rétablir un équilibre dans la situation créée par le prototypage (Dewey, 2006; Rozier, 2010). En conséquence, l'implémentation d'un enseignement mobilisant le prototypage offre un support approprié à l'expérience d'apprentissage.

Dans ce qui suit, nous proposons d'abord un retour sur les différents chapitres en les articulant aux apports théoriques issus des gabarits d'apprentissage exposés en introduction. Dans un second temps, nous donnons quelques recommandations générales pour la mise en œuvre de ce type de dispositif en enseignement supérieur, formulées à partir des conseils des différentes équipes d'auteurs.

Gabarits d'apprentissage

Nous constatons que les six gabarits d'apprentissage proposés en introduction se retrouvent bien présents dans l'ensemble des dispositifs de formation décrits par les équipes pédagogiques. Ces gabarits offrent aux étudiants des possibilités d'être en contact avec les savoirs savants et leurs concepts lors de la conception des prototypes demandés qui s'éloignent du seul bachotage. Cette approche modifie profondément la relation entre l'enseignant, le savoir et l'apprenant en les plongeant dans le paradigme de l'apprentissage (Jouquan et Bail, 2003; Marope *et al.*, 2019). Le système didactique généralement admis dans l'enseignement supérieur où l'enseignant est le détenteur du savoir bascule au profit d'un guide. Les étudiants sont précipités dans un monde où ils manipulent le savoir directement à l'aide d'un prototype. Toutes les confirmations, les difficultés ou les incompréhensions deviennent réelles. Le processus de prototypage renvoie directement des propositions d'actions. Il crée également un environnement réaliste, propice aux conflits cognitifs. Il nécessite en outre la mobilisation des piliers de l'apprentissage tant par l'étudiant que par les enseignants. Finalement, il permet de mobiliser activement les principes de la mémoire humaine. Tous ces processus nécessitent une réflexion sur et dans l'action, permettant de formaliser une nouvelle compréhension, c'est-à-dire un

nouveau savoir. À l'aide des exemples décrits dans les dix chapitres de cet ouvrage, nous revenons plus précisément sur ces gabarits du milieu, de l'expérience d'apprentissage, de l'affordance, de la richesse de l'environnement, des piliers de l'apprentissage et de la mémoire. Il est évident que plusieurs des exemples de dispositifs auraient pu être présentés pour chaque gabarit. Par exemple, la richesse de l'environnement est travaillée et déclinée dans tous les chapitres de manière très créative par chaque équipe pédagogique. En conséquence, nous avons effectué des choix quasi arbitraires pour cette exemplification.

Le milieu

Tous les exemples présentés partent d'un constat d'insatisfaction chez les équipes enseignantes. Travailler à l'amélioration de son enseignement, c'est *de facto* repenser le système didactique dans lequel les acteurs de l'enseignement vont évoluer. Force est de constater que ce concept n'est généralement pas consciemment mobilisé par les équipes, à l'exception du chapitre 8 de Tobola *et al.* Cependant, les positions du savoir, de l'enseignant et de l'apprenant sont systématiquement retravaillées en s'assurant de proposer des activités authentiques dans un environnement riche et stimulant. Nous remarquons aussi un besoin de poser précisément la scénarisation pédagogique de l'enseignement considéré (Barras, 2020). Nous retrouvons clairement ce travail de scénarisation dans le chapitre 1 de Poinsothe *et al.* Cet exemple démontre que la scénarisation offre un guide clair pour les enseignants, tout en explicitant les attentes aux étudiants. Ici encore, on trouve la mise en relation et l'articulation des composantes du système didactique permettant l'émergence d'un milieu riche, propice aux conflits cognitifs et à l'apprentissage des étudiants. Ce phénomène est rendu encore plus saillant par les retours directs fournis par le prototypage. En effet, le prototype fonctionne, ou pas, selon les prévisions et nécessite donc des régulations de la part de l'apprenant. Comme explicité dans le chapitre 7 par Nyffeler et Capron Puozzo, le prototype offre un outil de coopération entre les étudiants, et il crée de même un milieu didactique. Il revêt une fonction cognitive, en matérialisant la pensée et les apprentissages, mais également en renforçant la créativité. Finalement, la maîtrise des fonctions du prototypage semble améliorer la qualité du produit livré.

L'expérience d'apprentissage

La force et la réussite de ces dispositifs pédagogiques proposant le prototypage sont son influence favorable sur l'apprentissage des étudiants. Ce constat est à relier avec la réflexivité. En effet, une anticipation dans l'ingénierie pédagogique déployée des activités réflexives, dans et sur l'action, permet aux étudiants de construire pleinement leur expérience d'apprentissage. Les enseignants doivent préparer, dans leur scénarisation, des activités qui placent les étudiants dans une démarche réflexive leur permettant de se rendre compte des apprentissages réalisés et du développement de leurs compétences. Cet élément revêt un caractère central dans les dispositifs exposés dans cet ouvrage. Dans le chapitre 3, proposé par Couëdel-Courteille *et al.*, il est intéressant de remarquer que la pratique réflexive est présente et demandée aux étudiants. Bien que peu modélisée, elle a un impact positif sur le développement du dispositif d'enseignement. En effet, les problèmes repérés par les étudiants en matière de communication dans les groupes sont entendus et des propositions de remédiation envisagées. Ces dernières sont centrales puisqu'elles insistent sur la scénarisation de l'enseignement, au travers de la formation des étudiants non pas seulement sur le plan des contenus, mais bien sur celui des compétences transversales dans ce cas.

Galeran *et al.* proposent aussi un travail sur la réflexivité dans le chapitre 4. Un point intéressant est qu'il ne la limite pas aux étudiants, mais ils la prolongent et l'assument au niveau de leur propre activité d'enseignement à l'aide du concept de *Scholarship of Teaching and Learning* (SoTL). Nous retrouvons ce concept à l'œuvre dans tous les autres chapitres, sans qu'il soit forcément consciemment mobilisé. Apparaît ainsi un sentiment de développement professionnel, réalisé au travers de cette démarche d'explicitation et d'écriture de son activité professionnelle accompagnée par un conseiller pédagogique. Autrement dit, c'est bien de le proposer à ses étudiants, mais c'est également bénéfique de le faire pour soi...

L'affordance

Prototyper l'apprentissage des étudiants, c'est leur proposer un cadre formel dans lequel ils exercent leurs connaissances acquises ou en voie d'acquisition, mais aussi où ils prennent conscience de celles qui sont

encore à construire. Le prototypage devient une forme d'invariant structurel stable, mobilisable directement par les apprenants pour soutenir leur apprentissage. À travers le prototypage, ils peuvent expérimenter les relations entre leur action sur le prototype et les conséquences sur celui-ci. Ce travail progressif et son analyse apportent une compétence dans la convocation des savoirs et leur opérationnalisation sur un objet réel. Autrement dit, face à une question ou un problème, la démarche du prototypage devient une « invite » que les étudiants mobilisent.

Dans le chapitre 2, Dequene *et al.* plongent leurs étudiants dans un jeu de rôle en recherchant à favoriser l'authenticité dans la scénarisation du cours. En proposant ce type d'activité, les enseignants mettent leurs étudiants dans une réalité où ils peuvent expérimenter leurs savoirs de manière très directe, en fonction de la situation. Dans ce sens, nous sommes dans une forme de perception directe et des solutions apparaissent aux étudiants en lien avec la situation. Nous retrouvons cette forme d'authenticité aussi dans l'articulation de l'alternance présentée par Tobola *et al.* dans le chapitre 8, qui permet aux étudiants d'expérimenter des possibilités d'actions directement dans le milieu pratique et non plus seulement dans un milieu artificiellement construit par l'enseignant, soit celui de la formation. Nous voyons aussi le prototypage comme moyen de sortir les étudiants de leur zone de confort. Lomba *et al.*, dans le chapitre 5, développent une vision du prototypage permettant aux étudiants de se familiariser avec l'erreur. Cette dernière est vécue comme un moyen d'exploration de l'environnement à travers le prototype. Nous retrouvons même cette idée chez Foliard *et al.*, dans le chapitre 6, qui utilisent le prototypage comme un support à la réflexion pour les étudiants et lèvent ainsi leurs inhibitions à l'action. Ce faisant, ils découvrent de nouvelles possibilités et intègrent de nouvelles affordances, en expérimentant avec l'outil qui leur est proposé.

La richesse de l'environnement

Les activités de prototypage proposées dans l'enseignement offrent aux apprenants un environnement complexe, propice aux conflits cognitifs et à l'application des savoirs développés ou à développer. Nous le voyons très clairement dans l'exemple du chapitre 9 de Poirson *et al.*, où les enseignants plongent leurs étudiants dans la réalité d'un environnement professionnel. Leurs résultats démontrent bien la réalisation d'une véritable expérience d'apprentissage pour les étudiants.

Cependant, il faut remarquer qu'une des clés de la réussite de ce dispositif est l'encadrement en continu des étudiants. Nous notons aussi que la richesse de cet environnement est soutenue par un dispositif réflexif. Ce dernier s'appuie sur des démarches professionnelles, par exemple l'entretien RH, mais aussi d'outils plus habituels dans l'enseignement supérieur, tels que les discussions sur les difficultés et les évaluations formatives entre pairs.

Dans le chapitre 6, de Foliard *et al.*, l'activité de prototypage crée un milieu qui est vecteur d'interactions entre les participants. Il en découle un environnement où les connaissances et les compétences peuvent s'exercer. Ils nous rendent de plus très attentifs à la nécessité de prise de recul pour les étudiants face à cette activité, qui doit donc être soutenue à l'aide des outils de la pratique réflexive.

Tobola *et al.*, au chapitre 8, proposent une modélisation de cette richesse de l'environnement en s'appuyant sur le concept de l'alter-nance qui revêt plusieurs formes marquées par l'existence plus ou moins nette d'une frontière entre le milieu universitaire et le milieu pratique. Le chapitre 10, de Desjardins *et al.* proposent également ce type d'environnement pour consolider les acquis de la formation. En outre, l'encadrement par l'équipe enseignante, fondamental et bien dosé, est central dans les trois dispositifs qui y sont décrits.

Les piliers de l'apprentissage

Les piliers de l'apprentissage sont presque implicitement compris dans le prototypage. C'est très clairement le cas de l'engagement actif et du retour sur les erreurs qui sont systématiquement décrits dans les exemples présentés dans ce livre, soit au travers de la motivation des étudiants, ou des rétroactions fournies par les enseignants. Le chapitre 8, de Tobola *et al.*, nous donne une idée, de manière détournée, de la consolidation effectuée par les étudiants à travers leur charge de travail déclarée dans les différents dispositifs de formations. Les phénomènes attentionnels, qui jouent un rôle majeur dans l'apprentissage, ne sont pas clairement identifiés dans les exemples présentés. Cela ne veut pas dire qu'ils ne sont pas à l'œuvre dans le travail des apprenants, mais les enseignants pourraient les mobiliser plus distinctement dans leur scénarisation pédagogique. En conséquence, les piliers d'apprentissage devraient être plus explicités auprès des étudiants et scénarisés dans les enseignements afin qu'ils puissent déployer pleinement leurs effets.

La mémoire

Nous ne retrouvons pas spécifiquement une mobilisation des concepts décrits dans le gabarit de la mémoire humaine. Cependant, ils sont certainement liés à la richesse de l'environnement qui permet de créer des indices propices aux apprentissages en lien avec les situations vécues. Dans ce cas, les indices associés à l'activité de prototypage permettent de reconstruire plus facilement les savoirs mobilisés à ce moment. La consolidation de la mémoire est par ailleurs déployée lors de toutes les activités réflexives proposées. Ces activités favorisent l'ancrage des apprentissages dans la mémoire à long terme par une réactivation et par la création de sens et de liens. Néanmoins, un effort de formation des étudiants sur les concepts qui prévalent, lors des activités de mémorisation nécessaire à leurs apprentissages, serait certainement une voie à développer dans la scénarisation pédagogique.

Toutes les activités mises en œuvre par les étudiants, leur permettant une mémorisation efficace et un apprentissage en profondeur, nécessitent un investissement temporel conséquent. Ce point est souligné par Galeran *et al.* au chapitre 4 ainsi que par Tobola *et al.* au chapitre 8. Il semble qu'il soit également à prendre en compte lors de la scénarisation d'un enseignement et qu'il doit être communiqué aux étudiants.

En définitive, les gabarits d'apprentissage offrent une clé de lecture riche pour les dispositifs de prototypage exemplifiés dans cet ouvrage. Ils soutiennent la réflexion pédagogique des équipes enseignantes, en les guidant et en proposant des pistes d'actions. De plus, ils assurent aux étudiants une véritable expérience d'apprentissage dans leur formation.

Recommandations et mises en garde

Chacun des chapitres de l'ouvrage se conclut par des conseils, des mises en garde ou des limites concernant l'implantation du dispositif présenté. Nous proposons ici l'essentiel de ces recommandations, enrichies par notre propre expérience, à l'intention d'enseignants qui souhaiteraient concevoir et instaurer un dispositif où le prototypage tient une place centrale pour renforcer l'expérience d'apprentissage.

Changement de posture de l'enseignant. Plusieurs auteurs font référence à la modification du rôle de l'enseignant. Comme la mise en

action des étudiants est au cœur du type de dispositif exploré dans ce livre, l'enseignant n'est plus tant celui qui transmet les connaissances, que celui qui guide les étudiants pour qu'ils les sélectionnent, les structurent et établissent les liens entre elles. En conséquence, l'enseignant doit quitter son seul rôle de sachant au profit de celui de guide. Ceci est bien la résultante d'un changement de paradigme de l'enseignement qui place l'étudiant au centre de l'apprentissage.

Planification rigoureuse. S'assurer d'une bonne planification des diverses activités du dispositif ou d'un scénario détaillé est aussi un des conseils partagés dans plusieurs chapitres, de même que se préoccuper de la clarté des consignes, écrites de préférence. Ne pas attendre la perfection toutefois avant de se lancer et s'appuyer sur une amélioration en continu. Le travail de l'enseignant est moins visible pour l'étudiant, car il se déroule en amont des rencontres.

Authenticité de la tâche. Aussi mis en évidence par plusieurs des auteurs, il importe de proposer une activité d'apprentissage le plus près possible d'une tâche authentique. Autrement dit, l'enseignant doit proposer une situation que les étudiants pourraient être appelés à vivre ou à réutiliser en contexte professionnel.

Complexité de la tâche. Bien réfléchir au degré de complexité des tâches à faire réaliser par les étudiants. Les activités de prototypage proposées, par exemple, doivent constituer un défi raisonnable ou à la hauteur des compétences des étudiants, c'est-à-dire un défi ni trop simple ni trop difficile, afin de favoriser l'engagement des étudiants et les apprentissages. Les étudiants doivent disposer de connaissances suffisantes pour réaliser le travail, sans quoi le risque de surcharge serait nuisible à l'apprentissage. Arriver à bien doser la complexité de la tâche peut demander plusieurs itérations du dispositif.

Encadrement progressif et continu. Soulevée à plusieurs reprises, l'importance d'un accompagnement planifié, progressif et continu des étudiants est un gage de succès dans ce type de dispositif. Il s'agit ici de proposer de la rétroaction régulière aux étudiants sur la progression de leurs apprentissages. Il faut veiller à ce que les étudiants ne puissent pas ancrer leurs erreurs et ainsi développer de mauvaises habitudes. Dans plusieurs des dispositifs présentés, d'autres intervenants ou encadrants que l'enseignant gravitent autour des étudiants. Si c'est le cas, il faut bien préciser le rôle de chacun.

Enjeux du travail en équipe. Dans la majorité des dispositifs élaborés, les concepteurs ont prévu de regrouper les étudiants en équipe.

Certains considèrent que la qualité des échanges est un des gages de succès. De ce fait, il ne faut pas sous-estimer les difficultés et les enjeux liés au travail d'équipe. L'enseignant restera attentif à la gestion du travail dans le groupe des étudiants. Il est judicieux de préciser aux étudiants comment travailler en groupe, comment réguler les conflits et quelle aide ils peuvent recevoir de l'enseignant.

Outils réflexifs. Encourager la réflexivité des étudiants. Cette pratique n'est pas naturelle. Il est nécessaire d'appuyer le dispositif par des outils réflexifs. Ils devraient être variés afin que les étudiants puissent en découvrir plusieurs. En prolongement de ces activités réflexives, les étudiants devraient pouvoir se les attribuer et les utiliser dans d'autres situations.

Documentation de sa pratique. Garder des traces de la conception, de l'implantation et idéalement de l'évaluation de son dispositif. Colliger des documents produits par les étudiants. Demander à des collègues de venir observer son dispositif et de fournir une appréciation. Collectionner les diverses évaluations de l'enseignement produites par l'établissement ou personnellement. La somme de ces documents permettra dans un deuxième temps de documenter et d'analyser sa pratique dans une logique d'amélioration en continu, mais aussi de mieux juger de son impact sur les apprentissages de ses étudiants.

Centres de pédagogie universitaire. Ne pas hésiter à aller chercher de l'aide pour se faire conseiller. C'est en observant d'autres dispositifs, d'autres collègues que des idées peuvent apparaître. De plus, dans une logique d'innovation, il est utile de ne pas rester seul et de trouver un support large que les centres de pédagogie universitaire offrent.

Nous espérons que les exemples proposés dans cet ouvrage mettent bien en lumière l'apport du prototypage dans l'expérience d'apprentissage des étudiants et donneront envie au lecteur de plonger à son tour dans cette aventure. Les travaux exposés offrent des exemples inspirants pour les enseignants qui voudraient basculer leur enseignement dans le paradigme de l'apprentissage.

Finalement, nous retenons la richesse des collaborations entre les équipes pédagogiques qui ont su développer des solutions appropriées aux problèmes identifiés et aux besoins des étudiants, afin de leur offrir un environnement de travail propice au développement de leurs compétences. Il nous semble important de souligner les compétences que tous les auteurs de ce livre ont démontrées au travers

de leurs expériences. Nous espérons aussi que ce travail a offert aux auteurs un espace propice à leurs réflexions et à leur développement professionnel, dans la logique du *Scholarship of Teaching and Learning* (SoTL). Nous souhaitons, comme point final à cet ouvrage, que ce partage donne envie aux lecteurs de débiter ou poursuivre sur cette voie du SoTL.

Bibliographie

- Acheson, K. A. & Gall, M. (1993). *La supervision pédagogique. Méthodes et secrets d'un superviseur clinicien*. Traduction par J. Heynmand & D. Gagnon, Montréal: Éditions Logiques.
- Akkary, A. & Heer, S. (2006). *La pédagogie de l'alternance dans la formation des enseignants: perspectives de recherche comparative*. Porrentruy: HEP-BEJUNE.
- Alava, S. & Romainville, M. (2001). Note de synthèse. Les pratiques d'étude, entre socialisation et cognition. *Revue française de pédagogie*, 136(1), 159-180. <https://doi.org/10.3406/rfp.2001.2836> (consulté le 13.11.2023).
- Albarello, L. (2012). *Apprendre à chercher*. Bruxelles: De Boeck.
- Allal, L. K. (2000). Acquisition et évaluation des compétences en situation scolaire. Dans J. Dolz & E. Ollagnier, *L'énigme de la compétence en éducation* (p. 77-94). Bruxelles: De Boeck Supérieur.
- Amabile, T. M. (1996). *Creativity in context: Update to the social psychology of creativity*. Boulder: Westview Press.
- Amadiou, F. & Tricot, A. (2015). Les facteurs psychologiques qui ont un effet sur la réussite des étudiants. *Recherche et pratiques pédagogiques en langues de spécialité. Cahiers de l'Aplut*, XXXIV(2). <https://doi.org/10.4000/apliut.5155> (consulté le 13.11.2023).
- Anderson, N., Potočnik, K. & Zhou, J. (2014). Innovation and creativity in organizations: A state-of-the-science review, prospective commentary, and guiding framework. *Journal of Management*, 40(5), 1297-1333. <https://doi.org/10.1177/0149206314527128> (consulté le 13.11.2023).
- Arguedas, M., Daradoumis, T. & Xhafa, F. (2016). Analyzing how emotion awareness influences students' motivation, engagement, self-regulation and learning outcome. *Educational Technology & Society*, 19(2), 87-103.
- Argyris, C. (2002). Double-loop learning, teaching, and research. *Academy of Management Learning & Education*, 1(2), 206-218.
- Avry, S., Chanel, G., Bétrancourt, M., Pun, T. & Molinari, G. (2018). Effet des antécédents émotionnels de contrôle et de valeur sur la résolution de problème dans un jeu vidéo collaboratif. *Sciences et technologies de l'information et de la communication pour l'éducation et la formation*, 25(1), 195-220. <https://doi.org/10.3406/stice.2018.1761> (consulté le 13.11.2023).
- Barbier, R. (1996). *La recherche action*. Paris: Anthropos.
- Barras, H. (2017). Impact émotionnel de l'évaluation de l'enseignement par les étudiants (EEE) chez les enseignants d'une haute école en Suisse. *Éducation & Formation*, 307, 73-90.
- Barras, H. (2020). Évaluer dans l'urgence: en repensant sa planification à l'aide des principes issus de la gestion de crises. *Évaluer. Journal international de recherche en éducation et formation*, numéro hors-série, 17-24.
- Barras, H. & Ghiringhelli, M. « Ghiri ». (2022). Impact de la culture juste sur l'apprentissage chez des pilotes militaires d'hélicoptères. *Stratos*, 2(22), 55-69. <https://doi.org/10.48593/nzxt-r730> (consulté le 04.01.2024).
- Barras, H. & Mauron, N. (2019). L'apprentissage chez le pilote de chasse, réflexions sur une culture de développement professionnel. *Revue militaire suisse*, 2, 56-61.
- Barras, H. & Mudry, A. (2016). Modèle de l'accompagnement des étudiants enseignants du secondaire à la Haute École Pédagogique du Valais (HEPVS). Communication présentée au 29^e colloque de l'Association internationale de pédagogie universitaire, Lausanne.
- Barras, H., Niquille, M. & Suppan, L. (2020). Apprendre de son expérience, l'exemple de la médecine préhospitalière genevoise. *Revue militaire suisse*, 4, 54-57.
- Barron, F. (1988). Putting creativity to work. Dans R. J. Sternberg, *The nature of creativity* (p. 76-98). New York: Cambridge University Press.

- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: A study in experimental and social psychology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Baudrit, A. (2007). *L'apprentissage collaboratif*. Bruxelles: De Boeck Supérieur. <https://doi.org/10.3917/dbu.baudr.2007.01> (consulté le 13.11.2023).
- Bear, M. F., Connors, B. W. & Paradiso, M. A. (2002a). Apprentissage et mémoire. Dans *Neurosciences, à la découverte du cerveau* (2^e éd., p. 780-818). Traduction par A. Nieoullon, Rueil-Malmaison: Éditions Pradel.
- Bear, M. F., Connors, B. W. & Paradiso, M. A. (2002b). Mécanismes moléculaires de l'apprentissage et de la mémoire. Dans *Neurosciences, à la découverte du cerveau* (2^e éd., p. 820-853). Traduction par A. Nieoullon, Rueil-Malmaison: Éditions Pradel.
- Beard, C. (2018). Dewey in the world of experiential education. *New Directions for Adult and Continuing Education*, 2018(158), 27-37. <https://doi.org/10.1002/ace.20276> (consulté le 13.11.2023).
- Bedard, B. (2006). Quelle formation? Dans B. Raucent & C. Vander Borgh, *Être enseignant, magister? Metteur en scène?* (p. 354-360). Louvain-la-Neuve: De Boeck.
- Bélanger, C. (2010). Une perspective SoTL au développement professionnel des enseignants au supérieur. Qu'est-ce que cela signifie pour le conseil pédagogique? *The Canadian Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 1(2).
- Belbin, R. M. (2011). *Management teams: Why they succeed or fail* (3^e éd.). Londres: Routledge Taylor & Francis Group.
- Benoit, V. & Angelucci, V. (2016). Le coenseignement en contexte scolaire à visée inclusive. Quoi, pourquoi et comment. *Revue suisse de pédagogie spécialisée*, 3, 48-53.
- Berthiaume, D., Lanarès, J., Jacqmot, C., Winer, L. & Rochat, J.-M. (2011). L'évaluation des enseignements par les étudiants (EEE). Une stratégie de soutien au développement pédagogique des enseignants? *Recherche et formation*, 67, 53-72. <https://doi.org/10.4000/rechercheformation.1387> (consulté le 13.11.2023).
- Bertran, F., Harand, C., Doidy, F. & Rauchs, G. (2013). Rôle du sommeil dans la consolidation des souvenirs. *Revue de neuropsychologie*, 5(4), 273-280.
- Besançon, M. & Lubart, T. (2015). *La créativité de l'enfant. Évaluation et développement*. Bruxelles: Éditions Mardaga.
- Biémar, S., Daele, A., Malengrez, D. & Oger, L. (2015). Le « Scholarship of Teaching and Learning » (SoTL). Proposition d'un cadre pour l'accompagnement des enseignants par les conseillers pédagogiques. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 31(2). <http://journals.openedition.org/ripes/966> (consulté le 13.11.2023).
- Blank, S. (2011). Embrace failure to start up success. *Nature*, 477, 133. <https://doi.org/10.1038/477133a> (consulté le 13.11.2023).
- Boden, M. A. (2005). *The creative mind. Myths and mechanisms* (2^e éd.). New York: Routledge.
- Bonnardel, N. (2002). Entrée: Créativité. Dans G. Tiberghien (éd.), *Dictionnaire des sciences cognitives* (p. 95-97). Paris: Armand Colin/VUEF.
- Bonnardel, N. (2006). *Créativité et conception. Approches cognitives et ergonomiques*. Marseille: Solal éditions.
- Bonnardel, N. (2009). Activités de conception et créativité: de l'analyse des facteurs cognitifs à l'assistance aux activités de conception créatives. *Le travail humain*, 72(1), 5-22.
- Bonnardel, N. (2016). Propositions de méthodes d'analyse et de modalités d'assistances pédagogique et informatique aux activités créatives. Illustrations dans le domaine du design. Dans I. Capron Puozzo, *La créativité en éducation et formation: perspectives théoriques et pratiques* (p. 167-180). Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur.
- Borges, C. (2005). La formation des enseignants. Entre la pratique et la formation à la pratique. Dans A. Akkary & S. Herr (dir.), *La pédagogie de l'alternance dans la formation des enseignants: perspectives de recherche en Suisse et au Canada* (p. 7-22). Porrentruy: HEP-BEJUNE.
- Bornard, F. & Briest-Breda, C.-N. (2014). Développer l'esprit d'entreprendre, une question d'agilité. *Revue de l'Entrepreneuriat*, 13(2), 29-53. <https://doi.org/10.3917/entre.132.0029> (consulté le 13.11.2023).

- Botella, M., Nelson, J. & Zenasni, F. (2016). Les macro et microprocessus créatifs. Dans I. Capron Puozzo, *La créativité en éducation et formation. Perspectives théoriques et pratiques* (p. 33-46). Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur.
- Bourassa, B., Serre, F. & Ross, D. (1999). *Apprendre de son expérience. L'expérience comme source d'apprentissage et de découvertes*. Québec : Presses universitaires du Québec.
- Bourgeois, E. & Nizet, J. (1997). *Apprentissage et formation des adultes*. Paris : Presses universitaires de France.
- Bourgeois, E. & Piret, A. (2006). L'analyse structurale de contenu, une démarche pour l'analyse des représentations. Dans L. Paquay, M. Crahay & J.-M. De Ketele, *L'analyse qualitative en éducation, des pratiques de recherche aux critères de qualité* (p. 179-191). Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur. <https://www.cairn.info/l-analyse-qualitative-en-education--9782804150518-page-179.htm> (consulté le 13.11.2023).
- Bouvy, T., Cadji, A.-L., Cartiaux, O., D'Aspremont, Q., De Bellefroid, E., Gaujard, C., ... Raucent, B. (2015). Expérimentation d'une classe d'innovation. Dans *Actes du colloque Questions de pédagogie dans l'enseignement supérieur* (p. 32-41). Brest.
- Bouziane, A. (2019). L'escape game pédagogique : une activité d'apprentissage créative. Dans E. Leberet & C. Quesne, *L'escape game, une pratique pédagogique innovante* (p. 30-32). Poitiers : Réseau Canopé.
- Breton, E., Hily-Blant, A.-L. & Verroust, V. (2020). *Escape game – Accusé de plagiat*. Paris : SCD, Université de Paris. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3702411> (consulté le 13.11.2023).
- Brousseau, G. (1988). Le contrat didactique : le milieu. *Recherches en didactique des mathématiques*, 9(3), 309-336.
- Brousseau, G. (2010). *Glossaire de quelques concepts de la théorie des situations didactiques en mathématiques (1998)*. <http://guy-brousseau.com/> (consulté le 13.11.2023).
- Brown, T. (2008). Design thinking. *Harvard business review. Harvard Business Review*, 86(6), 84.
- Brown, T. (2010). Creativity. What are we to measure? Dans J. A. Glower, R. R. Ronning & C. R. Reynolds, *Handbook of creativity* (p. 3-32). New York : Plenum Press.
- Buchanan, R. (1992). Wicked problems in design thinking. *Design Issues*, 8(2), 5-21. <https://doi.org/10.2307/1511637> (consulté le 13.11.2023).
- Bushnell, T., Steber, S., Matta, A., Cutkosky, M. & Leiffer, L. (2013). Using a "dark horse" prototype to manage innovative teams. Dans *3rd International Conference on Integration of Design, Engineering & Management for Innovation*. Porto.
- Butera, F. (2011). La menace des notes. Dans F. Butera, C. Buchs & C. Darnon, *L'évaluation, une menace ?* (p. 45-53). Paris : Presses universitaires de France.
- Butera, F., Darnon, C. & Mugny, G. (2011). Learning from conflict. Dans J. Jetten & M. J. Hornsey, *Rebels in groups: Dissent, deviance, difference and defiance* (p. 36-53). Chichester : Wiley-Blackwell.
- Buysse, A. (2011). Une modélisation des régulations et de la médiation dans la construction des savoirs professionnels des enseignants. Dans P. Maubant & S. Martineau, *Fondements des pratiques professionnelles des enseignants* (p. 243-284). Ottawa : Les Presses de l'Université d'Ottawa.
- Buysse, A. (2018). Intervenir auprès des enseignants en formation pour favoriser un développement global. *Phronesis*, 7(4), 20-35. <https://doi.org/10.7202/1056317ar> (consulté le 13.11.2023).
- Buysse, A. & Renaulaud, C. (2014). Évolution des médiations dans les écrits réflexifs des étudiants en formation à l'enseignement primaire. Dans L. Portelance, S. Martineau & J. Mukamurera, *Développement et persévérance professionnels dans l'enseignement. Oui, mais comment ?* (p. 55-74). Québec : Presses de l'Université du Québec.
- Buysse, A. & Vanhulle, S. (2009). Écriture réflexive et développement professionnel : quels indicateurs ? *Questions Vives. Recherches en éducation*, 5(11), 225-242. <https://doi.org/10.4000/questionsvives.603> (consulté le 13.11.2023).
- Caillez, J.-C. (2020, 11 février). Comment détecter les passagers clandestins dans un travail collectif? – De la créativité à l'innovation [Blog]. [Blog.educpros.fr/jean-charles-cailliez](http://blog.educpros.fr/jean-charles-cailliez).

- <https://blog.educpros.fr/jean-charles-cailliez/?s=comment+d%C3%A9tecter&searchsubmit.x=0&searchsubmit.y=0> (consulté le 13.11.2023).
- Camburn, B., Viswanathan, V., Linsey, J., Anderson, D., Jensen, D., Crawford, R., ... Wood, K. (2017). Design prototyping methods: State of the art in strategies, techniques, and guidelines. *Design Science*, 3(E13). <https://doi.org/10.1017/dsj.2017.10> (consulté le 13.11.2023).
- Capron Puozzo, I. (2016a). Alice au pays des merveilles ou la course folle à l'innovation pédagogique. *Formation et pratiques d'enseignement en questions, la revue des HEP de Suisse romande et du Tessin, Hors série*(1), 137-157.
- Capron Puozzo, I. (2016b). Créativité et apprentissage : un mariage prometteur. *Pedagogia PIU' didattica Teorie e pratica educativa*, 2(1), 1-12.
- Capron Puozzo, I. (2016c). Du concept de créativité à une pédagogie de la créativité. Dans I. Capron Puozzo, *La créativité en éducation et en formation. Perspectives théoriques et pratiques* (p. 13-29). Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur.
- Castelan, J. & Bard, R. D. (2018). Promoting PBL through an active learning model and the use of rapid prototyping resources. *International Journal of Engineering Pedagogy (ijEP)*, 8(4), 131-142. <https://online-journals.org/index.php/i-jep/article/view/8281> (consulté le 04.01.2024)
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8(4), 293-332. https://doi.org/10.1207/s1532690xcio804_2 (consulté le 13.11.2023).
- Chartier, D. (2003). Les styles d'apprentissage : entre flou conceptuel et intérêt pratique. *Savoirs*, 2(2), 7-28.
- Chauvigné, C. & Coulet, J.-C. (2010). L'approche par compétences : un nouveau paradigme pour la pédagogie universitaire ? *Revue française de pédagogie*, 172, 15-18.
- Chevalier, A., Anceaux, F. & Tijus, C. (2009). Les activités de conception. Créativité, coopération, assistance. *Le travail humain*, 72(1), 1-4.
- Chevallard, Y. (1999). Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques : l'approche anthropologique. Dans R. Noirfalise, *Analyse des pratiques enseignantes et didactique des mathématiques* (p. 91-120), Institut de recherche sur l'enseignement des mathématiques (IREM) de Clermont-Ferrand. http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/IMG/pdf/Analyse_des_pratiques_enseignantes.pdf (consulté le 13.11.2023).
- Chi, M. T. H. & Wylie, R. (2014). The ICAP framework : linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219-243. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823> (consulté le 13.11.2023).
- Christensen, C. M., Raynor, M. E. & McDonald, R. (2015). What is disruptive innovation ? *Harvard Business Review*, 2(93), 44-53.
- Cohen-Scali, V. (2000). *Alternance et identité professionnelle*. Paris : Presses universitaires de France. <https://doi.org/10.3917/puf.cohen.2000.01> (consulté le 13.11.2023).
- Commission européenne. (2016). *Améliorer et moderniser l'enseignement* (Rapport No. COM(2016) 941 final). Bruxelles : Commission européenne, Secrétariat général. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/ALL/?uri=COM%3A2016%3A941%3AFIN> (consulté le 13.11.2023).
- Concevoir un jeu sur la biologie*. (2020, 9 janvier). Université de Paris. https://www.youtube.com/watch?v=8HDW_ntjWTo&t=8s (consulté le 13.11.2023).
- Corbin, J. M. & Strauss, A. (1990). Grounded theory research : Procedures, canons, and evaluative criteria. *Qualitative Sociology*, 13(1), 3-21. <https://doi.org/10.1007/BF00988593> (consulté le 13.11.2023).
- Corley, K. G. & Gioia, D. A. (2004). Identity ambiguity and change in the wake of a corporate spin-off. *Administrative Science Quarterly*, 49(2), 173-208. <https://doi.org/10.2307/4131471> (consulté le 13.11.2023).
- Cosnefroy, L. & Jézégou, A. (2013). Les processus d'autorégulation collective et individuelle au cours d'un apprentissage par projet. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 29(2). <https://doi.org/10.4000/ripes.744> (consulté le 13.11.2023).
- Coulon, A. (1997). *Le métier d'étudiant : l'entrée dans la vie universitaire* (1^{re} éd). Paris : Presses universitaires de France.

- Cowan, J. (2017). Linking reflective activities for self-managed development of higher-level abilities. *Journal of Perspectives in Applied Academic Practice*, 5(1). <https://doi.org/10.14297/jpaap.v5i1.242> (consulté le 13.11.2023).
- Cowan, N. (2010). The magical mystery four : How is working memory capacity limited, and why? *Current Directions in Psychological Science*, 19(1), 51-57. <https://doi.org/10.1177/0963721409359277> (consulté le 13.11.2023).
- Craft, A. (2005). *Creativity in schools : Tensions and dilemmas*. Abingdon/New York : Routledge.
- Crawford, M. B. (2016). *Contact : pourquoi avons-nous perdu le monde, et comment le retrouver*. Traduction par M. Saint-Upéry & C. Jacquet, Paris : La Découverte.
- Creswell, J. W., Plano Clark, V. L., Gutmann, M., Hanson, W., Tashakkori, A. & Teddlie, C. (2003). Advanced mixed methods research designs. Dans A. Taschakkory & C. Teddlie, *Handbook of mixed methods in social and behavioral research* (p. 209-240). Thousand Oaks : Sage.
- Croisile, B. (2009). Approche neurocognitive de la mémoire. *Gérontologie et société*, 130, 11-29.
- Cros, F. (2002). L'innovation en éducation et en formation : topiques et enjeux. Dans N. Alter, *Les logiques de l'innovation : approches pluridisciplinaires* (p. 211-240). Paris : La Découverte.
- Cross, N. (2004). Expertise in design : An overview. *Design Studies*, 25(5), 427-441. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2004.06.002> (consulté le 13.11.2023).
- CTI. (2022). Critères et procédures – Ingénieur. *Commission des titres d'ingénieurs*. [site web]. <https://www.cti-commission.fr/fonds-documentaire> (consulté le 13.11.2023).
- Curtis, D. D. & Lawson, M. J. (2001). Exploring collaborative online learning. *Online Learning*, 5(1). <https://doi.org/10.24059/olj.v5i1.1885> (consulté le 13.11.2023).
- Daele, A. & Sylvestre, E. (2016). *Comment développer le conseil pédagogique dans l'enseignement supérieur?* Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur.
- Danan, J. L., Pelaccia, T. & Kanny, G. (2018). Mieux connaître les étudiants que vous supervisez. Dans T. Pelaccia, *Comment [mieux] superviser les étudiants en sciences de la santé dans leurs stages et dans leurs activités de recherche* (p. 21-40). Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur.
- Darses, F. (2009). Résolution collective des problèmes de conception. *Le travail humain*, 72(1), 43-59.
- De Clercq, M. (2020). *Les cahiers du LLL – N°13 : Oser la pédagogie active, quatre clefs pour accompagner les étudiant.es dans leur activation pédagogique*. Louvain-la-Neuve : Presses universitaires de Louvain. <https://oer.uclouvain.be/jspui/handle/20.500.12279/791> (consulté le 13.11.2023).
- Dehaene, S. (2018). *Apprendre ! Les talents du cerveau, le défi des machines*. Paris : Odile Jacob.
- Delaloye, C., Ludwig, C., Borella, E., Chicherio, C. & de Ribaupierre, A. (2008). L'empan de lecture comme épreuve mesurant la capacité de mémoire de travail : normes basées sur une population francophone de 775 adultes jeunes et âgés. *European Review of Applied Psychology*, 58(2), 89-103. <https://doi.org/10.1016/j.erap.2006.12.004> (consulté le 13.11.2023).
- Delanoë-Gueguen, S. (2015). Les étudiants : Un accompagnement particulier pour des entrepreneurs particuliers. *Entreprendre Innover*, 26(3), 18-26.
- Demailly, A. & Le Moigne, J. L. (1986). Théories de la conception. Dans A. Demailly & J. L. Le Moigne, *Sciences de l'intelligence, sciences de l'artificiel* (p. 435-446). Lyon, France : Presses universitaires de Lyon.
- De Sousa, F. C. (2008). Still the elusive definition of creativity. *International Journal of Psychology : A biopsychosocial Approach*, 2, 55-82.
- Dewey, J. (1938). *Experience and education*. New York : Touchstone.
- Dewey, J. (2006). *Logique : La théorie de l'enquête*. Traduction par G. Deledalle, Paris : Presses universitaires de France.
- Diez, M., Picavet, P., Ricci, R., Dequenne, M., Renard, M., Bongartz, A. & Farnir, F. (2015). Health screening to identify opportunities to improve preventive medicine in cats and dogs. *Journal of Small Animal Practice*, 56(7), 463-469. <https://doi.org/10.1111/jsap.12365> (consulté le 13.11.2023).

- Direction de l'enseignement et de la formation. (2004). *Projet de formation pour le baccalauréat en ingénierie à l'École Polytechnique de Montréal – Cahier des charges pour la rédaction du projet éducatif de chacun des programmes d'études*. Montréal: École polytechnique de Montréal.
- Djaouti, D., Rampnoux, O. & Alvarez, J. (2017). *Apprendre avec les serious games?* Poitiers: Canopé.
- Dubosson, M., Pasquier, M. & Probst, G. (2017). Pourquoi et comment faire appel à une étude de cas « locale » pour évaluer la mise en pratique des connaissances théoriques par les étudiants. Dans V. Roulin, A.-C. Allin-Pfister & D. Berthiaume, *Comment évaluer les apprentissages dans l'enseignement supérieur professionnalisant* (p. 153-170). Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur.
- Duguet, A. & Morlaix, S. (2012). Les pratiques pédagogiques des enseignants universitaires: quelle variété pour quelle efficacité? *Questions vives. Recherches en éducation*, 6(18), 93-110. <https://doi.org/10.4000/questionsvives.1178> (consulté le 13.11.2023).
- Dupriez, V. & Draelants, H. (2004). Classes homogènes versus classes hétérogènes: les apports de la recherche à l'analyse de la problématique. *Revue française de pédagogie*, 148(1), 145-165. <https://doi.org/10.3406/rfp.2004.3258> (consulté le 13.11.2023).
- Durão, L. F. C., Kelly, K., Nakano, D. N., Zancul, E. & McGinn, C. L. (2018). Divergent prototyping effect on the final design solution: The role of "Dark Horse" prototype in innovation projects. Dans *28th CIRP Design Conference* (vol. 70, p. 265-271). Nantes: Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.278> (consulté le 13.11.2023).
- Dweck, C. (2008). *Mindset: The new psychology of success*. New York: Ballantine Books.
- Dym, C. L., Agogino, A. M., Eris, O., Frey, D. D. & Leifer, L. J. (2005). Engineering design thinking, teaching, and learning. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 103-120. <https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2005.tb00832.x> (consulté le 13.11.2023).
- Fayol, M. (2011). Un esprit pour apprendre. Dans E. Bourgeois & G. Chapelle, *Apprendre et faire apprendre* (p. 59-74). Paris: Presses universitaires de France.
- Fenaert, M., Nadam, P. & Petit, A. (2019). *S'capade pédagogique avec les jeux d'évasion, apprendre grâce aux escape games*. Paris: Ellipse.
- Floc'h, B. & de Tricornot, A. (2015, 16 septembre). Les universités confrontées à l'explosion du nombre d'étudiants. *Le Monde*. https://www.lemonde.fr/education/article/2015/09/16/les-universites-confrontees-a-l-explosion-du-nombre-d-etudiants_4758835_1473685.html (consulté le 13.11.2023).
- Foliard, S. & Le Pontois, S. (2017). Équipes entrepreneuriales étudiantes: comprendre pour agir. *Entreprendre Innover*, 33(2), 44-54.
- Foliard, S., Le Pontois, S. & Bourachnikova, O. (2021). Accompagner des étudiants entrepreneurs. Dans B. Rausent, C. Van Nieuwenhoven & C. Jacqmot, *Accompagner les étudiants* (2^e éd.). Louvain-la-Neuve: De Boeck.
- Freeman, L., Becvarova, I., Cave, N., MacKay, C., Nguyen, P., Rama, B., ... van Beukelen, P. (2011). WSAVA Nutritional Assessment Guidelines. *Journal of Small Animal Practice*, 52(7), 385-396. <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2011.01079.x> (consulté le 13.11.2023).
- Frenay, M., Galand, B. & Laloux, A. (2009). L'approche par problèmes et par projets dans la formation des ingénieurs à l'UCL: une formation professionnalisante. Dans R. Étienne, M. Altet, C. Lessard, L. Paquay & P. Perrenoud, *L'université peut-elle vraiment former les enseignants? Quelles tensions? Quelles modalités? Quelles conditions?* (p. 161-179). Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur. <https://www.cairn.info/l-universite-peut-elle-vraiment-former-les-enseigner--9782804107512-page-161.htm> (consulté le 13.11.2023).
- Frese, M. (2009). *Toward a psychology of entrepreneurship: An action theory perspective. Toward a psychology of entrepreneurship an action theory perspective*. Boston: Now Publishers.
- Furr, N. & Dyer, J. (2014). Choose the right innovation method at the right time. *Harvard Business Review*, 12.
- Gardner, D. H. & Parkinson, T. J. (2011). Optimism, self-esteem, and social support as mediators of the relationships among workload, stress, and well-being in veterinary students. *Journal of Veterinary Medical Education*, 38(1), 60-66. <https://doi.org/10.3138/jvme.38.1.60> (consulté le 13.11.2023).

- Gartner, W. B. (1990). What are we talking about when we talk about entrepreneurship? *Journal of Business Venturing*, 5(1), 15-28. [https://doi.org/10.1016/0883-9026\(90\)90023-M](https://doi.org/10.1016/0883-9026(90)90023-M) (consulté le 13.11.2023).
- Gero, J. S. & Mahler, M.-L. (1993). Introduction. Dans J. S. Gero & M.-L. Mahler, *Modeling creativity and knowledge-based design* (p. 1-6). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Gibson, J. J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton Mifflin.
- Gioia, D. A., Corley, K. G. & Hamilton, A. L. (2013). Seeking qualitative rigor in inductive research: Notes on the gioia methodology. *Organizational Research Methods*, 16(1), 15-31. <https://doi.org/10.1177/1094428112452151> (consulté le 13.11.2023).
- Giordan, A. (n.d.). L'agir et le faire. *André Giordan*. [Blog]. <https://www.andregiordan.com/articles/apprendre/agirrfaire.html> (consulté le 13.11.2023).
- Glasser, B. & Strauss, A. (1967). *The discovery of grounded theory*. Londres: Weidenfeld & Nicolson.
- Glen, R., Suci, C. & Baughn, C. (2014). The need for design thinking in business schools. *Academy of Management Learning & Education*, 13(4), 653-667.
- Grimaldi, L., Démonet, J.-F. & Birochi Guevara, A. (2015). *La mémoire et ses troubles*. Chêne-Bourg: Médecine & Hygiène.
- Hägg, G., Kurczewska, A., McCracken, M. & Matlay, H. (2016). Connecting the dots: A discussion on key concepts in contemporary entrepreneurship education. *Education + Training*, 58(7/8), 700-714. <https://doi.org/10.1108/ET-12-2015-0115> (consulté le 13.11.2023).
- Held, R. & Hein, A. (1963). Movement-produced stimulation in the development of visually guided behavior. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 56(5), 872-876. <https://doi.org/10.1037/h0040546> (consulté le 13.11.2023).
- Helmoltz von, H. (1925). *Treatise on physiological optics* (vol. 3). Traduction par J. P. C. Southall, New-York: Dover.
- Herrington, T. & Herrington, J. (2006). *Authentic learning environments in higher education*. Information science publishing. (S.l.)
- Heuzé, J.-P. & Lévêque, M. (1998). Préparation psychologique et/ou préparation mentale: une analyse comparative. *Cahiers de l'INSEP*, 22(1), 41-68. <https://doi.org/10.3406/insep.1998.1396> (consulté le 13.11.2023).
- Hogg, G. & Miller, D. (2016). The effects of an enhanced simulation programme on medical students' confidence responding to clinical deterioration. *BMC Medical Education*, 16(1), 161. <https://doi.org/10.1186/s12909-016-0685-2> (consulté le 13.11.2023).
- Holst von, E. & Mittelstaedt, H. (1950). Das Reafferenzprinzip. *Die Naturwissenschaften*, 37, 464-476.
- Hoppe, M., Westerberg, M. & Leffler, E. (2017). Educational approaches to entrepreneurship in higher education: A view from the Swedish horizon. *Education + Training*, 59(7/8), 751-767. <https://doi.org/10.1108/ET-12-2016-0177> (consulté le 13.11.2023).
- Houdé, O. (2019). *L'intelligence humaine n'est pas un algorithme*. Paris: Odile Jacob.
- Huba, M. E. & Freed, J. E. (2000). *Learner-centered assessment on college campuses: Shifting the focus from teaching to learning*. Needham Heights: Allyn & Bacon.
- Hubel, D. H. & Wiesel, T. N. (1964). Effects of monocular deprivation in kittens. *Naunyn-Schmiedeberg's Archiv für experimentelle Pathologie und Pharmakologie*, 248(6), 492-497. <https://doi.org/10.1007/BF00348878> (consulté le 13.11.2023).
- Jonnaert, P. (2017). La notion de compétence: une réflexion toujours inachevée. *Éthique publique. Revue internationale d'éthique sociétale et gouvernementale*, 19(1). <https://doi.org/10.4000/ethiquepublique.2932> (consulté le 13.11.2023).
- Jonnaert, P. & Vander Borgh, C. (2008). *Créer des conditions d'apprentissage: un cadre de référence socioconstructiviste pour une formation didactique des enseignants* (3^e éd.). Louvain-la-Neuve: De Boeck.
- Jorro, A. (2007). L'alternance recherche – formation – terrain professionnel. *Recherche et formation*, (54), 101-114. <https://doi.org/10.4000/rechercheformation.938> (consulté le 13.11.2023).
- Jouquan, J. & Bail, P. (2003). À quoi s'engage-t-on en basculant du paradigme d'enseignement vers le paradigme d'apprentissage? *Pédagogie médicale*, 4(3), 163-175. <https://doi.org/10.1051/pmed:2003006> (consulté le 13.11.2023).

- Karpicke, J. D. & Roediger, H. L. (2008). The critical importance of retrieval for learning. *Science*, 319(5865), 966-968. <https://doi.org/10.1126/science.1152408> (consulté le 13.11.2023).
- Kember, D. (1997). A reconceptualisation of the research into university academics' conceptions of teaching. *Learning and Instruction*, 7(3), 255-275. [https://doi.org/10.1016/S0959-4752\(96\)00028-X](https://doi.org/10.1016/S0959-4752(96)00028-X) (consulté le 13.11.2023).
- Kier, A. S. & McMullen, J. S. (2018). Entrepreneurial imaginativeness in new venture ideation. *Academy of Management Journal*, 61(6), 2265-2295. <https://doi.org/10.5465/amj.2017.0395> (consulté le 13.11.2023).
- Kirkpatrick, D. L. (1967). Evaluation of training. Dans R. L. Craig & L. R. Bittel, *Training and development handbook* (p. 82-112). New York: McGraw-Hill.
- Kirsh, D. (1995). The intelligent use of space. *Artificial Intelligence*, 73(1), 31-68. [https://doi.org/10.1016/0004-3702\(94\)00017-U](https://doi.org/10.1016/0004-3702(94)00017-U) (consulté le 13.11.2023).
- Knight, F. H. (1921). *Risk, uncertainty and profit*. Boston et New York: Houghton Mifflin Company.
- Köhler, W. (1964). *Psychologie de la forme. Introduction à de nouveaux concepts en psychologie*. Traduction par S. Bricianer, Paris: Gallimard.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential learning: Experience as the source of learning and development*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Krathwohl, D. R. (2002). A Revision of Bloom's taxonomy: An overview. *Theory Into Practice*, 41(4), 212-218. https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_2 (consulté le 13.11.2023).
- Kuckertz, A. (2019). Let's take the entrepreneurial ecosystem metaphor seriously! *Journal of Business Venturing Insights*, 11, e00124. <https://doi.org/10.1016/j.jbvi.2019.e00124> (consulté le 13.11.2023).
- Lackéus, M. (2015). *Entrepreneurship in education. What, why, when, how*. Paris: OCDE.
- Lackéus, M. (2020). Comparing the impact of three different experiential approaches to entrepreneurship in education. *International Journal of Entrepreneurial Behavior & Research*, 26(5), 937-971. <https://doi.org/10.1108/IJEBR-04-2018-0236> (consulté le 13.11.2023).
- Lafleur, P., Boudreault, Y. & Prégent, R. (2008). Meeting the challenge of reviewing eleven engineering programs (p. 13.885.1-13.885.13). Communication présentée au 2008 Annual Conference & Exposition, Pittsburgh. <https://peer.asee.org/meeting-the-challenge-of-reviewing-eleven-engineering-programs> (consulté le 13.11.2023).
- Lalle, P. & Bonnafous, S. (2019). La révolution pédagogique de l'enseignement supérieur, une universalité géographique et paradigmatique. Introduction. *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, (80), 49-60. <https://doi.org/10.4000/ries.8142> (consulté le 13.11.2023).
- lamap. (n.d.). Fondation La main à la pâte. *La fondation la main à la pâte*. [site web]. <https://fondation-lamap.org/> (consulté le 13.11.2023).
- Lamri, J. (2018). *Les compétences du 21e siècle*. Malakoff: Dunod.
- Lanarès, J. & Poteaux, N. (2013). Comment répondre aux défis actuels de l'enseignement supérieur? Dans D. Berthiaume & N. Rege Colet, *La pédagogie de l'enseignement supérieur: repères théories et applications pratiques* (vol. 1: Enseigner au supérieur, p. 9-24). Berne: Peter Lang.
- Lans, T., Hulsink, W., Baert, H. & Mulder, M. (2008). Entrepreneurship education and training in a small business context: Insights from the competence-based approach. *Journal of Enterprising Culture*, 16(4), 363-383. <https://doi.org/10.1142/S0218495808000193> (consulté le 13.11.2023).
- Larochelle, M. & Bednarz, N. (1994). À propos du constructivisme et de l'éducation. *Revue des sciences de l'éducation*, 20(1), 5. <https://doi.org/10.7202/031697ar> (consulté le 13.11.2023).
- Lawson, B. & Dorst, K. (2009). *Design expertise*. Oxford: Architectural Press.
- Le Boterf, G. (2008). *Repenser la compétence. Pour dépasser les idées reçues: quinze propositions*. Paris: Éditions d'Organisation.
- Le Boterf, G. & Meignant, A. (2020). Qualité de la formation ou qualité du processus de production de compétences individuelles et collectives? *Éducation permanente*, 223, 23-32.
- Le Pontois, S. & Foliard, S. (2018). Une vision à 360° de l'accompagnement des équipes étudiantes. *Entreprendre Innover*, 36(1), 55-66.

- Lebaume, J. (2000). *L'éducation technologique. Pratiques et enjeux pédagogiques*. Paris: ESF éditeur.
- Leclercq, D. & Poumay, M. (2008). *Le modèle des événements d'apprentissage – Enseignement*. Liège: LabSET, IFRES, Université de Liège.
- Lee, V. S. (2012). What is inquiry-guided learning? *New directions for teaching and learning*, 2012(129), 5-14.
- Lemaître, D. (2018). L'innovation pédagogique en question: analyse des discours de praticiens. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 34(1). <https://doi.org/10.4000/ripes.1262> (consulté le 13.11.2023).
- Leroyer, A., Barré, S. & Poirson, E. (2019). L'option projet PariSci2024: un pari scientifique et pédagogique. Communication présentée au 24^e Congrès français de mécanique, Brest.
- Li, J., Pega, F., Ujita, Y., Brisson, C., Clays, E., Descatha, A.,... Siegrist, J. (2020). The effect of exposure to long working hours on ischaemic heart disease: A systematic review and meta-analysis from the WHO/ILO Joint Estimates of the Work-related Burden of Disease and Injury. *Environment International*, 142, 105739. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105739> (consulté le 13.11.2023).
- Lofstedt, J. (2003). Confidence and competence of recent veterinary graduates – Is there a problem? *The Canadian Veterinary Journal*, 44(5), 359-360.
- Lombardi, M. M. (2007). Authentic learning for the 21st century: An overview. *Educause learning initiative*, 1, 1-12.
- Lubart, T. (1994). Creativity. Dans R. J. Sternberg, *Thinking and problem solving* (p. 289-332). New York: Academic Press.
- Lubart, T. (2001). Models of the creative process: Past, present and future. *Creativity Research Journal*, 13(3-4), 295-308.
- Lubart, T., Besançon, M. & Bardot, B. (2011). *Évaluation du potentiel créatif (EPoC)*. Paris: Éditions Hogrefe.
- Lubart, T., Mouchiroud, C., Tordjman, S. & Zenasni, F. (2015). *Psychologie de la créativité* (2^e éd.). Paris: Armand Colin.
- Lubart, T., Zenasni, F. & Bardot, B. (2016). Le potentiel créatif: de la mesure à son développement. Dans I. Capron Puozzo, *La créativité en éducation et formation. Perspectives théoriques et pratiques* (p. 65-76). Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur.
- MacKinnon, D. W. (1962). The nature and nurture of creative talent. *American Psychologist*, 17(7), 484-495. <https://doi.org/10.1037/h0046541> (consulté le 13.11.2023).
- Macq, B., Raskin, J.-P. & Raucant, B. (2014). Innovation classes [Cours]. Louvain-la-Neuve. <https://sites.uclouvain.be/archives-portail/cdc2020/cours-2020-lfsa2212> (consulté le 13.11.2023).
- Makilab ASBL. (2020). Makilab. We are all makers ! [site web]. <https://makilab.org/> (consulté le 13.11.2023).
- Marope, M., Griffin, P. & Gallagher, C. (2019). *Transforming teaching, learning and assessment. A global paradigm shift*. Le Grand-Saconnex: International Bureau of Education.
- Martin, P. & Padula, P. (2018). Innovation pédagogique à l'université: comparaison entre apprentissage par problèmes et cours traditionnel. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 34(3). <https://doi.org/10.4000/ripes.1574> (consulté le 13.11.2023).
- Masson, S. (2020). *Activer ses neurones pour mieux apprendre et enseigner: les 7 principes neuroéducatifs*. Paris: Odile Jacob.
- Maubant, P. (2007). Sens et usages de l'analyse des pratiques d'enseignement: entre conseil et accompagnement réflexif des enseignants en formation. *Les dossiers des sciences de l'éducation*, 18, 39-48. <https://doi.org/10.3406/dsedu.2007.1110> (consulté le 13.11.2023).
- Maurice, D. (2001). Réussir la première année à l'université. La transition Secondaire-Université: Le projet Boussole. *Revue française de pédagogie*, 136(1), 77-86. <https://doi.org/10.3406/rfp.2001.2827> (consulté le 13.11.2023).
- Mayo, A. T. & Woolley, A. W. (2016). Teamwork in health care: Maximizing collective intelligence via inclusive collaboration and open communication. *AMA Journal of Ethics*, 18(9), 933-940. <https://doi.org/10.1001/journalofethics.2016.18.9.stas2-1609> (consulté le 13.11.2023).

- Meirieu, P. (1994). Le transfert de connaissances: éléments pour un travail en formation. Lyon. <https://www.meirieu.com/OUTILSDEFORMATION/transferttexte.pdf> (consulté le 13.11.2023).
- Ménard, L. (2012). Apprentissage en classe et persévérance au premier cycle universitaire. Dans M. Romainville & C. Michaud, *Réussite, échec et abandon dans l'enseignement supérieur* (p. 177-198). Bruxelles: De Boeck.
- Ménard, L. & St-Pierre, L. (2014). *Se former à la pédagogie de l'enseignement supérieur*. Montréal: Chenelière Éducation.
- Mialaret, G. (1996). Savoirs théoriques, savoirs scientifiques et savoirs d'action en éducation. Dans J.-M. Barbier, *Savoirs théoriques et savoirs d'action* (p. 161-187). Paris: Presses universitaires de France.
- Michael, D. R. & Chen, S. L. (2005). *Serious games: Games that educate, train, and inform*. Mason: Muska & Lipman/Premier-Trade.
- Michaut, C. & Romainville, M. (2012). *Réussite, échec et abandon dans l'enseignement supérieur*. Louvain-la-Neuve: De Boeck.
- Milgrom, E., Raucent, B., Wouters, P., De Clercq, M. & Jacquet, C. (2021). Le tuteur comme accompagnateur de l'apprentissage actif. Dans B. Raucent, C. Verzat, C. Van Nieuwenhoven & C. Jacqmot, *Accompagner les étudiants* (2^e éd.). Louvain-la-Neuve: De Boeck.
- Miller, R., Mavis, B. E., Lloyd, J. W., Grabill, C. M., Henry, R. C. & Patterson, C. C. (2015). Monitoring the veterinary medical student experience: An institutional pilot study. *Journal of Veterinary Medical Education*, 42(4), 353-363. <https://doi.org/10.3138/jvme.0914-092R1> (consulté le 13.11.2023).
- Miras, G. & Burrows, A. (2021). Pédagogie à l'université française et crise sanitaire: pratiques (pas si) exceptionnelles ou transformations durables? *Revue internationale des technologies en pédagogie universitaire*, 18(1), 194-211. <https://doi.org/10.18162/ritpu-2021-v18n1-17> (consulté le 13.11.2023).
- MIT. (2012). The Fab Charter. [site web]. <http://fab.cba.mit.edu/about/charter/> (consulté le 13.11.2023).
- Montagne-Macaire, D. (2007). Didactique des langues et recherche-action. *Recherches en didactique des langues et des cultures, Les cahiers de l'Acedle*, 4, 93-119. <https://doi.org/10.4000/rdlc.5071> (consulté le 13.11.2023).
- Montangero, J. & Maurice-Naville, D. (2019). *Piaget ou l'intelligence en marche, les fondements de la psychologie du développement* (3^e éd.). Bruxelles: Mardaga.
- Morlaix, S. & Lambert-Le Mener, M. (2015). La motivation des étudiants à l'entrée à l'université: quels effets directs ou indirects sur la réussite? *Recherches en éducation*, 22. <https://doi.org/10.4000/ree.7204> (consulté le 13.11.2023).
- Moulin, M. & Couëdel-Courteille, A. (2020, 24 décembre). Escape game pédagogique – Expériences aBiominales. *Zenodo*. [Open Record Repository] <https://doi.org/10.5281/zenodo.4392914> (consulté le 13.11.2023).
- Mukamurera, J. & Tardif, M. (2016). Épanouissement professionnel: entre développement professionnel, satisfaction au travail et intention de persévérance durant les premières années d'enseignement. Dans L. Ria, *Former les enseignants au XXI^e siècle. 2. Professionnalité des enseignants et de leurs formateurs* (p. 113-134). Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur.
- Nabi, G., Liñán, F., Fayolle, A., Krueger, N. & Walmsley, A. (2017). The impact of entrepreneurship education in higher education: A systematic review and research agenda. *Academy of Management Learning & Education*, 16(2), 277-299. <https://doi.org/10.5465/amle.2015.0026> (consulté le 13.11.2023).
- Neck, H. M. & Corbett, A. C. (2018). The scholarship of teaching and learning entrepreneurship. *Entrepreneurship Education and Pedagogy*, 1(1), 8-41. <https://doi.org/10.1177/2515127417737286> (consulté le 13.11.2023).
- Neck, H. M. & Greene, P. G. (2011). Entrepreneurship education: Known worlds and new frontiers. *Journal of Small Business Management*, 49(1), 55-70. <https://doi.org/10.1111/j.1540-627X.2010.00314.x> (consulté le 13.11.2023).

- Nonaka, I. & Takeuchi, H. (1995). *The knowledge-creating company: How Japanese companies create the dynamics of innovation*. New York: Oxford University Press.
- Nonnon, É. (2010). La notion de progression au cœur des tensions de l'activité d'enseignement. *Repères. Recherches en didactique du français langue maternelle*, 41, 5-34.
- Núñez-Regueiro, F. & Leroy, N. (2022). Motivations professionnelles et engagement dans la formation enseignante: la vocation pour le métier nourrit-elle le « décrochage » chez les étudiants? Dans *Trajectoires et carrières contemporaines: Nouvelles perspectives méthodologiques* (Céreq échanges, 18, p. 111-123). (S.l.): (s.n.). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03747110> (consulté le 13.11.2023).
- Ochse, R. (1990). *Before the gates of excellence: The determinants of creative genius*. New York: Cambridge University Press.
- Otto, K. & Wood, K. (2001). *Product design: Techniques in reverse engineering and new product development*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Pageau, D. & Bujold, J. (2000). Dis-moi ce que tu veux et je te dirai jusqu'où tu iras. Les caractéristiques des étudiantes et des étudiants à la rescousse de la compréhension de la persévérance aux études: analyse des données des enquêtes ICOPE. 1er volet: les programmes de baccalauréat. Montréal: Université du Québec. <https://educ.info/xmlui/handle/11515/18786> (consulté le 13.11.2023).
- Parmentier, J.-F. & Vicens, Q. (2019). *Enseigner dans le supérieur, méthodologie et pédagogies actives*. Malakoff: Dunod.
- Passow, H. J. & Passow, C. H. (2017). What competencies should undergraduate engineering programs emphasize? A systematic review. *Journal of Engineering Education*, 106(3), 475-526. <https://doi.org/10.1002/jee.20171> (consulté le 13.11.2023).
- Pastré, P. (2013). Le travail de l'expérience. Dans L. Albarello, J.-M. Barbier, E. Bourgeois & M. Durand, *Expérience, activité, apprentissage* (p. 93-101). Paris: Presses universitaires de France.
- Pekrun, R. (2006). The control-value theory of achievement emotions: Assumptions, corollaries, and implications for educational research and practice. *Educational Psychology Review*, 18(4), 315-341. <https://doi.org/10.1007/s10648-006-9029-9> (consulté le 13.11.2023).
- Pelaccia, T. & Viau, R. (2016). La motivation en formation des professionnels de la santé. *Pédagogie médicale*, 17(4), 243-253.
- Pélissier, C. & Lédé, S. (2019). Intentions des enseignants lors de coenseignements universitaires: retour d'expérience en licence. Dans O. Reynet, *Actes du colloque Questions de pédagogie dans l'enseignement supérieur, (Faire) coopérer pour (faire) apprendre*. (p. 1470-1480). Brest. <https://qpes2019.sciencesconf.org/> (consulté le 13.11.2023)
- Pellon, G., Raucent, B., Philippette, T., Mathelart, C., Alvarez, J., Kervyn de Meerandré, N., ... Renson, V. (2020). *Jouer pour apprendre dans l'enseignement supérieur? Play-t-il?* Louvain-la-Neuve: Presses universitaires de Louvain.
- Périsset, D., Andrey, M., Steiner, E. & Ruppen, P. (2006). L'alternance intégratrice, une dynamique multiple: les propositions de la HEP-VS. Dans A. Akkary & S. Heer (dir.), *La pédagogie de l'alternance dans la formation des enseignants: perspectives de recherche comparative* (p. 7-22). Porrentruy. http://edudoc.ch/record/1060/files/DC_ActesRecherche_5_V1.pdf (consulté le 13.11.2023).
- Périsset, D., Vuillet, Y., Luy, M.-M. & Barras, H. (2015). *Éléments pour une vision d'ensemble du plan d'études à la formation à l'enseignement secondaire de la HEP-VS*. Haute école pédagogique du Valais, Filière de l'enseignement secondaire.
- Perrenoud, P. (1999). Apprendre à l'école à travers des projets: pourquoi? comment? *Laboratoire de recherche LIFE Innovatin-Formation-Education*. [site web]. http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_1999/1999_17.html (consulté le 13.11.2023).
- Perrenoud, P. (2005). Développer des compétences, mission centrale ou marginale de l'université? *Laboratoire de recherche LIFE Innovation-Formation-Education*. [site web]. http://www.unige.ch/fapse/SSE/teachers/perrenoud/php_main/php_2005/2005_15.html (consulté le 13.11.2023).

- Philippe, M.-C., Romainville, M. & Willocq, B. (1997). Comment les étudiants anticipent-ils leur apprentissage à l'université? *Revue des sciences de l'éducation*, 23(2), 309-325.
- Piaget, J. (1924). *Le jugement et le raisonnement chez l'enfant*. Neuchâtel: Delachaux et Niestlé.
- Piaget, J. (1947). *La psychologie de l'intelligence*. Paris: Armand Colin.
- Piaget, J. (1975). *L'équilibration des structures cognitives. Problème central du développement*. Paris: Presses universitaires de France.
- Piccardo, E. (2016). Créativité et complexité: quels modèles, quelles conditions, quels enjeux? Dans I. Capron Puozzo, *La créativité en éducation et en formation. Perspectives théoriques et pratiques* (p. 47-64). Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur.
- Pittaway, L. & Cope, J. (2007). Entrepreneurship education: A systematic review of the evidence. *International Small Business Journal*, 25(5), 479-510.
- Plomp, T. (2013). Educational design research: An introduction. Dans T. Plomp & N. Nieveen, *Educational design research* (p. 10-51). Enschede: SLO/Netherlands institute for curriculum development.
- Prégent, R., Bernard, H. & Kozanitis, A. (2009). *Enseigner à l'université dans une approche-programme: guide à l'intention des nouveaux professeurs et chargés de cours*. Montréal: Presses internationales polytechniques.
- Prud'Homme, R. & Leclerc, M. (2014). *Données d'observation et gestion de l'apprentissage: guide à l'intention des communautés d'apprentissage professionnelles*. Québec: Presses universitaires du Québec.
- Puma, S. & Tricot, A. (2021). Prendre en compte la mémoire de travail lors de la conception de situations d'apprentissage scolaire. *A.N.A.E.*, 171, 1-9.
- Quesne, C. (2019). Comment créer un jeu d'évasion. *Escapegame*. [Blog]. <https://www.cquesne-escapegame.com/comment-creer-un-jeu-d-evasion> (consulté le 13.11.2023).
- Quintin, J.-J. (2008). *Accompagnement tutoral d'une formation collective via Internet—Analyse des effets de cinq modalités d'intervention tutorale sur l'apprentissage en groupes restreints* (thèse de doctorat). Université de Mons Hainaut, Université Stendhal Grenoble, Mons et Grenoble.
- Raimbault, N. & Pion, J. (2004). *La préparation mentale en sports collectifs. L'ABC pour le sportif, l'entraîneur et l'équipe*. Paris: Chiron éditeur.
- Ramagge, M.-J., Bournaud, I. & Mathias, H. (2020). Identifier les pratiques d'étude des étudiants de première année de licence scientifique pour mieux les accompagner. *Évaluer. Journal international de recherche en éducation et formation*, 6(2), 107-140.
- Raucent, B. (2022). Apprentissage Actif Par Projet: Le modèle C-D-R. Dans E. Sylvestre, *Actes du colloque Questions de pédagogie dans l'enseignement supérieur*. (p. 592-603). La Rochelle. <https://qpes2021.sciencesconf.org/program> (consulté le 13.11.2023).
- Raucent, B., Bosschaert, V., Bouvy, T., Delhay, C., Docq, F., Hamonic, E., ... Wouters, P. (2016). *Les Cahiers du LLL: carnet de l'enseignant*. Louvain: Université catholique de Louvain. <https://oer.uclouvain.be/jspui/handle/20.500.12279/344> (consulté le 13.11.2023).
- Raucent, B., Braibant, J. M., Milgrom, E. & Mauffette. (2013). Créer un bon problème en APP? On n'a jamais dit que c'était facile. Les caractéristiques d'une bonne situation problème pour un APP (p. 641-649). Dans *Actes du colloque Questions de pédagogie dans l'enseignement supérieur*. Sherbrooke.
- Raucent, B., Milgrom, E. & Romano, C. (2011). *Guide pratique pour une pédagogie active: les APP, apprentissage par problèmes et par projet* (2^e éd.). Toulouse/Louvain: INSA de Toulouse/École polytechnique de Louvain.
- Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Reeve, J. (2002). Self-determination theory applied to educational settings. Dans E. L. Deci & R. M. Ryan (dir.), *Handbook of Self-Determination Research* (p. 183-203). (S.I.). Rochester: University of Rochester Press.
- Rege Colet, N. & Berthiaume, D. (2015). *La pédagogie de l'enseignement supérieur: repères théoriques et applications pratiques* (vol. 2: *Se développer au titre d'enseignant*). Berne: Peter Lang SA.
- Reverdy, C. (2013). L'apprentissage par projet: de la recherche. *Technologie*, 186, 46-55.
- Rey, B. (1998). *Faire la classe à l'école*. Paris: ESF éditeur.

- Ric, F. (1996). L'impuissance acquise (learned helplessness) chez l'être humain : une présentation théorique. *L'année psychologique*, 96(4), 677-702. <https://doi.org/10.3406/psy.1996.28925> (consulté le 13.11.2023).
- Rimé, B. (2005). *Le partage social des émotions*. Paris : Presses universitaires de France.
- Romano, G. (1991). Étudier... en surface ou en profondeur ? *Pédagogie collégiale*, 5(2), 6-11.
- Rozier, E. (2010). John Dewey, une pédagogie de l'expérience. *La lettre de l'enfance et de l'adolescence*, 80-81(2), 23-30. <https://doi.org/10.3917/lett.080.0023> (consulté le 13.11.2023).
- Rumelhart, D. E., Smolensky, P., McClelland, J. L. & Hinton, G. E. (1987). Schemata and sequential thought process in parallel distributed processing models. Dans J. L. McClelland, D. E. Rumelhart, *Parallel distributed processing. Explorations in this microstructure of cognition : Psychological and biological models*. (p. 7-57). Cambridge : MIT Press.
- Runco, M. A. & Jaeger, G. J. (2012). The standard definition of creativity. *Creativity Research Journal*, 24(1), 92-96. <https://doi.org/10.1080/10400419.2012.650092> (consulté le 13.11.2023).
- Ruuska, J. & Krawczyk, P. (2013). Team academy as learning living lab. European phenomena of entrepreneurship education and development. Communication présentée à la University Industry Conference, Amsterdam.
- Ryan, R. M. & Deci, E. L. (2000). Intrinsic and extrinsic motivations : Classic definitions and new directions. *Contemporary educational psychology*, 25(1), 54-67.
- Sagal, N. (2020). La co-intervention en pratique. Académie de Versailles, Centre de ressources en économie-gestion. [site web]. <https://creg.ac-versailles.fr/la-co-intervention-en-pratique>
- Samwel Mwasalwiba, E. (2010). Entrepreneurship education : A review of its objectives, teaching methods, and impact indicators. *Education + Training*, 52(1), 20-47. <https://doi.org/10.1108/00400911011017663> (consulté le 13.11.2023).
- Sander, D. & Scherer, K. R. (2009). *Traité de psychologie des émotions*. Paris : Dunod.
- Sarasvathy, S. D. (2001). Causation and effectuation : Toward a theoretical shift from economic inevitability to entrepreneurial contingency. *The Academy of Management Review*, 26(2), 243-263.
- Savoia, A. (2011). *Pretotype it. Make sure you are building the right it before you build it right*. Chez l'auteur.
- Scallon, G. (2004). *L'évaluation des apprentissages dans une approche par compétences*. Bruxelles : De Boeck Université.
- S'CAPE. (2017). Escape games ou jeux d'évasion pédagogiques. *Scape*. [plateforme pédagogique]. <https://scape.enepe.fr/> (consulté le 13.11.2023).
- Scheinrock, J. & Richter-Sand, M. (2013). *The Agile start-up : Quick and dirty lessons every entrepreneur should know*. New York : John Wiley & Sons.
- Schmidt, R. A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82(4), 225-260. <https://doi.org/10.1037/h0076770> (consulté le 13.11.2023).
- Schneuwly, B. (2015). À quoi réfléchit le praticien réflexif ? Objets et outils d'enseignement comme points aveugles. *Le français aujourd'hui*, 188, 29-38. <https://doi.org/10.3917/lfa.188.0029> (consulté le 13.11.2023).
- Schön, D. A. (1983). *The reflective practitioner : How professionals think in action*. New York : Basic Books.
- Schubauer-Leoni, M.-L., Leutenegger, F., Ligozat, F. & Flückiger, A. (2007). Un modèle de l'action conjointe professeur-élèves : les phénomènes didactiques qu'il peut/doit traiter. Dans G. Sensevy & A. Mercier, *Agir ensemble. L'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (p. 51-91). Rennes : Presses universitaires de Rennes.
- Sefelin, R., Tscheligi, M. & Giller, V. (2003). Paper prototyping – what is it good for ? A comparison of paper- and computer-based low-fidelity prototyping. Dans Association for Computing Machinery (éd.), *CHI « 03 extended abstracts on Human factors in computing systems—CHI '03* (p. 778-779). Ft. Lauderdale : ACM Press. <https://doi.org/10.1145/765891.765986> (consulté le 13.11.2023).
- Seligman, M. E. & Maier, S. F. (1967). Failure to escape traumatic shock. *Journal of Experimental Psychology*, 74(1), 1-9. <https://doi.org/10.1037/h0024514> (consulté le 13.11.2023).

- Shulman, L. S. (1993). Teaching as community property: putting an end to pedagogical solitude. *Change: The Magazine of Higher Learning*, 25(6), 24-26.
- Simon, H. A. (1967). The business school a problem in organisational design. *Journal of Management Studies*, 4(1), 1-16. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.1967.tb00569.x> (consulté le 13.11.2023).
- Simon, H. A. (1969). *The science of the artefact*. Cambridge: MIT Press.
- Simons, D. J. & Chabris, C. F. (1999). Gorillas in our midst: Sustained inattention blindness for dynamic events. *Perception*, 28(9), 1059-1074. <https://doi.org/10.1068/p281059> (consulté le 13.11.2023).
- Sternberg, R. J. & Lubart, T. (1995). *Defying the crowd: Cultivating creativity in a culture of conformity*. New York: Free Press.
- Stevens, D. D. & Levi, A. J. (2005). *Introduction to rubrics: An assessment tool to save grading time, convey effective feedback and promote student learning*. Sterling: Stylus Publishing.
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18(6), 643-662.
- Tardif, J. (2006). *L'évaluation des compétences: documenter le parcours de développement*. Montréal: Chenelière Éducation.
- Tardif, J. (2017). Des repères conceptuels à propos de la notion de compétence, de son développement et de son évaluation. Dans M. Poumay, J. Tardif & F. Georges, *Organiser la formation à partir des compétences* (p. 15-37). Louvain-la-Neuve: De Boeck Supérieur. <https://www.cairn.info/organiser-la-formation-a-partir-des-competences--9782807307858-page-15.htm> (consulté le 13.11.2023).
- Tardif, J. & Dubois, B. (2013). De la nature des compétences transversales jusqu'à leur évaluation: une course à obstacles, souvent infranchissables. *Revue française de linguistique appliquée*, XVIII(1), 29-45.
- Thievenaz, J. (2019). La théorie de l'enquête de John Dewey: réexplorations pour la recherche en sciences de l'éducation et de la formation. *Recherche & formation*, 92, 19-38. <https://doi.org/10.4000/rechercheformation.5626> (consulté le 13.11.2023).
- Tobola Couchepin C. & Barras, H. (2020). Évaluation des compétences dans une formation à l'enseignement, photographie et propositions d'améliorations. Dans *6^e colloque du GEVAPP – Évaluation des pratiques et construction identitaire dans les formations professionnalisantes en alternance*. Fribourg.
- Tobola Couchepin, C. & Périsset, D. (2021). L'évaluation des compétences professionnelles sur le terrain: de la formation à la certification, une progressivité à interroger. *Formation et pratiques d'enseignement en question, la revue des HEP et insitutions assimilées de Suisse romande et du Tessin*, 27, 15-33.
- Tosey, P., Dhaliwal, S. & Hassinen, J. (2015). The Finnish Team Academy model: Implications for management education. *Management Learning*, 46(2), 175-194. <https://doi.org/10.1177/1350507613498334> (consulté le 13.11.2023).
- Toutain, O. (2010). *Apprentissage expérientiel et métacognition dans l'éducation à l'entrepreneuriat* (thèse de doctorat). Université de Lyon 3, Lyon.
- Toutain, O., Mueller, S. & Bornard, F. (2019). Decoding Entrepreneurship Education Ecosystems (EEE): A cross-European study in primary, secondary schools and vocational training. *Management International/International Management/Gestión Internacional*, 23(5), 47-65. <https://doi.org/10.7202/1066711ar> (consulté le 13.11.2023).
- Tricot, A. (1998). Charge cognitive et apprentissage. Une présentation des travaux de John Sweller. *Revue de psychologie de l'éducation*, 1, 37-64.
- Truffer, I. (2006). Le journal de bord de formation à la HEP-VS. *Résonances*, 6, 32-33.
- UCLouvain. (2014). *OpenHub*. <https://www.openhub.be> (consulté le 13.11.2023).
- Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. (2004). *Product design and development* (3^e éd.). Boston: McGraw-Hill.
- Ulrich, K. T. & Eppinger, S. D. (2016). *Product design and development* (6^e éd.). New York: McGraw-Hill Education.

- Université de Paris. (n.d.). FabLab Paris Diderot. *Script.u-paris.fr*. [site web]. <https://u-paris.fr/sciences/fablab/> (consulté le 04.01.2024).
- Van Maanen, J. (1979). Reclaiming qualitative methods for organizational research : A preface. *Administrative Science Quarterly*, 24(4), 520-526. <https://doi.org/10.2307/2392358> (consulté le 13.11.2023).
- Vangrunderbeck, P. & Motte, I. (n.d.). Guide ludification par agencezrisque sur Genially. *Genial.ly*. [site web]. <https://view.genial.ly/5bb11712304be1592037aa24/interactive-content-guide-ludification> (consulté le 13.11.2023).
- Van Merriënboer, J. J. G., Kirschner, P. A. & Kester, L. (2003). Taking the load off a learner's mind: Instructional design for complex learning. *Educational Psychologist*, 38(1), 5-13. https://doi.org/10.1207/S15326985EP3801_2 (consulté le 13.11.2023).
- Vanpee, D., Frenay, M., Godin, V. & Bédard, D. (2010). Ce que la perspective de l'apprentissage et de l'enseignement contextualisés authentiques peut apporter pour optimiser la qualité pédagogique des stages d'externat. *Pédagogie médicale*, 10(4), 253-266.
- Verzat, C. (2014). Engagement, agilité cognitive, coopération et réflexivité des apprenants... Et des enseignants en entrepreneuriat. *Revue de l'entrepreneuriat*, 13(2), 7-13. <https://doi.org/10.3917/entre.132.0007> (consulté le 13.11.2023).
- Verzat, C. & Lecoq, J. (2021). Les émotions au cœur de l'accompagnement. Dans B. Raucent, C. Verzat, C. Van Nieuwenhoven & C. Jacqmot, *Accompagner les étudiants* (2^e éd.). Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur.
- Viau, R. (2004). La motivation : condition au plaisir d'apprendre et d'enseigner en contexte scolaire. Dans *Actes du 3e congrès des chercheurs en éducation. (Re)trouver le plaisir d'enseigner et d'apprendre. Construire savoirs et compétences*. Lausanne (s. é.)
- Viau, R. (2009). *La motivation en contexte scolaire* (5^e éd.). Bruxelles : De Boeck Supérieur.
- Viau, R. & Joly, J. (2001). Comprendre la motivation à réussir des étudiants universitaires pour mieux agir. Communication présentée au 69^e colloque de l'ACFAS. Sherbrooke : Université de Sherbrooke. <https://docplayer.fr/183211-Comprendre-la-motivation-a-reussir-des-etudiants-universitaires-pour-mieux-agir-rolland-viau-jacques-joly-u-de-sherbrooke.html> (consulté le 13.11.2023).
- Viau, R., Prigent, R. & Forest, L. (2004). *Les façons d'apprendre des étudiantes et des étudiants de baccalauréat à l'École polytechnique de Montréal*. Polytechnique Montréal.
- Vignes, J.-R., Rogues, A.-M. & Moreau, J.-J. (2013). L'image mentale peut-elle améliorer l'apprentissage d'un geste chirurgical ? L'exemple de la désinfection des mains. *Pédagogie médicale*, 14(2), 99-105. <https://doi.org/10.1051/pmed/2013045> (consulté le 13.11.2023).
- Visser, W. (2009). La conception : de la résolution de problèmes à la construction de représentations. *Le travail humain*, 72(1), 61-78.
- Vygotski, L. (1997). *Pensée et langage*. Paris : La Dispute.
- Wallas, G. (1926). *The art of thought*. New York : Harcourt, Brace and Company.
- Watkins, C. (2010). Learning, performance and improvement. *INSI Research Matter*, 34, 2-15.
- WEF. (2015). *New vision for education: Unlocking the potential of technology*. Cologne : World Economic Forum.
- Wiesel, T. N. & Hubel, D. H. (1963). Single-cell responses in striate cortex of kitten deprived of vision in one eye. *Journal of Neurophysiology*, 26(6), 1003-1017. <https://doi.org/10.1152/jn.1963.26.6.1003> (consulté le 13.11.2023).
- Yang, M. C. & Epstein, D. J. (2005). A study of prototypes, design activity, and design outcome. *Design Studies*, 26(6), 649-669. <https://doi.org/10.1016/j.destud.2005.04.005> (consulté le 13.11.2023).
- Zask, J. (2015). *Introduction à John Dewey*. Paris : La Découverte.
- Zask, J. (2019). L'enquête et ses obstacles. *Recherche & formation*, 92(3), 83-94. <https://doi.org/10.4000/rechercheformation.5721> (consulté le 13.11.2023).

Présentation des auteurs

Hervé Barras a obtenu une thèse de doctorat en psychologie des perceptions visuelles sur le mal des transports dans des environnements virtuels à l'Université de Genève. Depuis, il s'est orienté dans le conseil pédagogique universitaire, puis dans l'enseignement supérieur comme professeur à la Haute école pédagogique du Valais (HEP-VS). Il poursuit son activité de recherche sur la construction et le développement des compétences professionnelles, durant la formation et tout au long de la carrière. Il travaille particulièrement avec des enseignants en formation, mais il s'inspire également d'autres professionnels tels que des médecins et des pilotes d'avions et d'hélicoptères, en recherchant dans ces diverses épistémologies les constituants de l'analyse des pratiques.

Antoinette Bouziane est conseillère pédagogique au sein du Service d'accompagnement pédagogique aux pédagogies innovantes et à l'enseignement numérique (SAPIENS) de l'Alliance Sorbonne Paris Cité et de l'Université Paris Cité. Elle accompagne et forme les enseignants-chercheurs à la pédagogie universitaire. Elle s'intéresse tout particulièrement au développement professionnel des enseignants-chercheurs et à la ludification. En collaboration avec l'équipe SAPIENS et le Centre de recherche interdisciplinaire (CRI), elle a participé à la création du *Learning Scape*: escape game pédagogique ayant pour objectif la sensibilisation à la pédagogie universitaire.

Emmanuelle Brun, diplômée d'un master en sciences politiques à l'UCLouvain, est International Partnerships et Projects Coordinator à l'École polytechnique (EPL) de l'UCLouvain. Dans ce rôle, elle gère principalement les différentes initiatives menées dans le cadre de la Chaire internationale d'innovation Lhoist Berghmans ainsi que l'ensemble des partenariats internationaux pour l'EPL relatif aux échanges étudiants ou aux codiplomations.

Isabelle Capron Puozzo est responsable recherche et développement à la Haute école pédagogique du Valais (HEP-VS). Spécialiste des capacités transversales, elle a notamment étudié la créativité en classe et en formation. Elle mène à présent des recherches sur l'innovation au

niveau du management et du *leadership* par l'implémentation du *design thinking* pour construire des dispositifs institutionnels qui s'appuient sur la pensée collective.

Catherine Carré est conseillère pédagogique au Bureau d'appui et d'innovation pédagogique de Polytechnique Montréal. Après une carrière de plus de dix ans comme conceptrice pédagogique et consultante en solutions d'apprentissage dans le secteur privé, elle a rejoint le milieu universitaire, d'abord à HEC Montréal pendant cinq ans, puis à Polytechnique depuis 2015. Experte en formation en ligne et en formation hybride, elle accompagne le personnel enseignant dans ses projets pédagogiques et techno-pédagogiques. Elle coordonne également les projets de cours en ligne ouverts à tous (MOOC).

Violaine Charil, responsable du Service de pédagogie au sein de la direction des pédagogies innovantes de La Rochelle Université, est chargée de l'accompagnement des acteurs de l'université dans leur développement professionnel, prévu notamment dans le projet Open Curriculum. Issue du champ de la didactique professionnelle, formée au conseil et à la formation de formateurs, son approche repose sur le regard porté par l'enseignant sur son activité et ses expériences qui, par le truchement de questionnements, de dialogues, d'analyses de pratiques, peut engager une réflexivité sur ses actions et développer ainsi son pouvoir d'agir.

Anne Couëdel-Courteille est vétérinaire et titulaire d'un doctorat en immunologie. Elle est enseignante-chercheuse à l'Université Paris Cité depuis 1999 au sein de l'UFR sciences du vivant. Sa recherche, menée à l'Institut Cochin (Paris), vise à la compréhension des propriétés de l'Interleukine-7 comme adjuvant de vaccination par voie muqueuse. Elle enseigne l'immunologie et développe différents enseignements pluridisciplinaires. Elle suit depuis longtemps des formations à la pédagogie proposées par le Service d'accompagnement pédagogique aux pédagogies innovantes et à l'enseignement numérique (SAPIENS) de l'Alliance Sorbonne Paris Cité et s'intéresse à la médiation scientifique. Elle sera prochainement titulaire du certificat pédagogique Certifiens.

Florence Courtade est ingénieure pour l'enseignement numérique au Service universitaire de pédagogie de l'Université Jean-Monnet-Saint-Étienne. Après avoir œuvré pendant dix ans comme technicienne et

réalisatrice vidéo à la direction du numérique, elle décide d'ajouter à son master des métiers de l'image et du son, celui d'ingénieur de formation et utilisation du numérique dans les organisations. Forte de sa double compétence, elle accompagne enseignants et chercheurs dans leurs pratiques innovantes et dans leur réflexion. Elle est également professionnelle associée au laboratoire de recherche Éducation, Cultures, Politiques (Lyon 2-Saint-Étienne).

Quentin d'Aspremont est coordinateur de l'OpenHub, hub d'innovation de l'UCLouvain depuis 2016. Il y développe des programmes d'accompagnement pour les entrepreneurs, les startups et les PME. Il intervient comme coach et facilitateur créatif dans des programmes académiques tels que les classes d'innovation. Arabisant de formation (Université de Provence) avec une spécialisation en relations internationales (Saint-Cyr Coëtquidan), il est très attentif aux dynamiques multiculturelles dans les processus d'intelligence collective.

De 2008 à 2019, **Étienne Dayer** a enseigné à la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO) Valais/Wallis tant en formation de base (Bachelor of Science, Master of Science) qu'en formation continue. Parallèlement à cette activité d'enseignement, il a assuré le rôle de conseiller pédagogique pour la Haute école de santé de 2013 à 2018. Particulièrement intéressé par la pédagogie universitaire, ses recherches portent notamment sur l'évaluation de l'enseignement par les étudiants, l'utilisation de cartes conceptuelles comme outil de validation ou encore les processus réflexifs. Actuellement, il rédige une thèse de doctorat sur le processus de raisonnement clinique des physiothérapeutes et des facteurs l'influençant. Depuis février 2021, Étienne Dayer est responsable de la Chambre des Hautes écoles spécialisées de swissuniversities.

Catherine Delfosse est maître de conférences à l'Université de Liège. Dans le cadre de l'IFRES (Institut de formation et de recherche en enseignement supérieur), elle intervient dans la conception et l'animation des formations pédagogiques et accompagne les enseignants dans leur développement professionnel.

Marjorie Dequenne est docteure en médecine vétérinaire (2010) et diplômée du master de spécialisation en pédagogie de l'enseignement universitaire et supérieur (2021). Elle est assistante au sein du service de nutrition des animaux domestiques de la Faculté de médecine

vétérinaire de Liège depuis 2010. Elle exerce également en tant que vétérinaire (pratique privée – médecine et chirurgie des animaux de compagnie) et nourrit sa pratique enseignante grâce à son expérience de terrain.

Anouk Desjardins se passionne pour l'enseignement de la conception et la mise en pratique des notions d'ingénierie à des situations authentiques. Elle a obtenu son diplôme d'ingénieure civile en 1997, puis de maîtrise en sciences appliquées en environnement et ressources hydriques en 1999. Après ses études, elle a travaillé une dizaine d'années dans l'industrie en génie civil. Ensuite, elle a rejoint Polytechnique Montréal à titre de maître d'enseignement et elle est particulièrement impliquée dans la mise sur pied, l'enseignement et l'encadrement de projets intégrateurs, mettant à profit son expérience de la pratique et sa passion pour l'enseignement.

Pascal Detroz est docteur en sciences de l'éducation et professeur à l'Institut de formation et de recherche de l'enseignement supérieur de l'Université de Liège, où il est président du jury du master de spécialisation en pédagogie universitaire et de l'enseignement supérieur ainsi que du certificat d'aptitude pédagogique approprié à l'enseignement supérieur. Il est par ailleurs vice-directeur de l'unité de recherche Didactifen. Ses intérêts de recherche portent notamment sur les pratiques d'évaluation dans l'enseignement supérieur (évaluation des enseignements et évaluation des étudiants) et sur l'évaluation dans le domaine de la santé. Il est président de l'Association pour le développement des méthodes d'évaluation en éducation (Admée-Europe) et cofondateur du réseau thématique évaluation et enseignement supérieur de cette même association. Il fait également partie du comité de rédaction des revues *Évaluer. Journal international de recherche en éducation et formation* et *Mesure et évaluation en éducation*.

Marianne Diez est docteure en médecine vétérinaire (1989), PhD (1998) et diplômée Formasup (2010) de l'Université de Liège. Elle est professeure de nutrition des animaux domestiques et plus particulièrement des animaux de compagnie à la Faculté de médecine vétérinaire de Liège et responsable académique de l'activité décrite dans l'article. Elle est en charge de plusieurs enseignements, de la troisième à la cinquième année du cursus, ainsi que de l'enseignement clinique de la discipline.

Patrice Farand est maître d'enseignement à Polytechnique Montréal et responsable du programme de baccalauréat en génie chimique. Il enseigne et supervise plusieurs cours, notamment les cours-projets de première, deuxième et troisième année. En outre, il est à l'origine de plusieurs innovations pédagogiques portant sur le développement et l'évaluation des compétences des futurs diplômés en ingénierie. Il a conçu à cet effet bon nombre de cours novateurs favorisant l'apprentissage actif des étudiants. Ses initiatives pédagogiques et ses méthodes d'enseignement lui ont valu plusieurs prix d'excellence en enseignement. Patrice Farand intervient également à l'Université de Montréal dans la formation des futurs enseignants.

Aurélie Feron est accompagnatrice pédagogique à Grenoble INP depuis 2016 (et dans l'enseignement supérieur depuis 2012). Elle a eu la chance de fréquenter une école à pédagogie active, en tant qu'élève. Depuis, elle cherche à comprendre comment fonctionnent ces méthodes alternatives, ce qui améliore les apprentissages, ce qui soutient le développement intellectuel, affectif, social... Dans une perspective d'amélioration continue des enseignements, et dans une perspective de développement professionnel des enseignants, elle accompagne l'analyse de dispositifs d'enseignement, parfois jusqu'à l'écriture d'un chapitre.

Stéphane Foliard est maître de conférences. Il enseigne l'entrepreneuriat, de la sensibilisation à la préincubation, à des publics variés en français et en anglais. Il est notamment le créateur du programme pédagogique « Campus des entrepreneurs », amenant les étudiants de l'Institut universitaire de technologie de Roanne à créer réellement leur entreprise et ainsi à développer les connaissances, compétences et attitudes utiles à une future carrière d'entrepreneur. Ses recherches portent sur l'éducation en entrepreneuriat, les dynamiques d'équipes et la place des émotions ainsi que sur la légitimité de l'enseignant accompagnateur. Depuis juin 2021, il est vice-président à l'entrepreneuriat et à la formation continue à l'Université Jean-Monnet-Saint-Étienne.

Lina Forest travaille depuis près de trente ans en pédagogie universitaire. Ses principaux domaines d'expertise sont l'accompagnement pédagogique des nouveaux professeurs, l'évaluation des apprentissages et l'évaluation de l'enseignement. Directrice du Bureau d'appui et d'innovation pédagogique de Polytechnique Montréal de 2006 à 2022, elle a géré le Programme d'accompagnement pédagogique obligatoire

des nouveaux professeurs, implanté en 1984; les fonds d'innovation pédagogiques mis à la disposition des enseignants depuis 1978; le processus institutionnel d'évaluation des enseignements par les étudiants en place depuis 1989. Détentrice d'une maîtrise en éducation (MA) avec une spécialisation en mesure et évaluation, elle a également été conseillère pédagogique au sein du même bureau de 1994 à 2006.

Benjamin Galeran, doctorant en histoire du droit sous la direction du professeur Jacques Bouineau et de Philippe Sturmel (MCF-HDR), réalise une thèse à La Rochelle Université intitulée « L'Antiquité dans le développement de l'idée européenne (XIV^e-XV^e siècles) ». Cofondateur de la Société rochelaise du droit avec Kévin Henocq, il est également chargé d'enseignement à la Faculté de droit de La Rochelle et chargé de travaux dirigés à la Faculté de droit de Rouen-Normandie.

Béatrice Grijol est ingénieure pédagogique à l'Université Paris Cité. Elle accompagne et forme les enseignants-chercheurs pour favoriser l'évolution des pratiques pédagogiques. Elle s'intéresse particulièrement au développement d'innovations pédagogiques dans l'enseignement supérieur afin de permettre la mise en place de nouveaux types d'enseignements.

Stéphane Guillet, docteur et enseignant de mécanique depuis 1998, devient conseiller pédagogique en 2006, puis directeur de PerForm, l'équipe de soutien à la pédagogie de Grenoble INP en 2017. En tant que conseiller pédagogique, il a, entre autres, mis en place le programme d'accompagnement des néo-recrutés, accompagné des équipes pédagogiques dans la mise en place d'apprentissages centrés étudiants, dans les démarches compétences et dans la constitution d'e-portfolio. En tant qu'enseignant, il a développé les pédagogies actives au sein de son école d'ingénieurs. Il est désormais responsable des apprentissages par problèmes, des projets d'ingénierie ainsi que du nouveau FabLab de l'École nationale supérieure de l'énergie, l'eau et l'environnement.

Kévin Henocq, doctorant en histoire du droit sous la direction du professeur Jacques Bouineau, réalise une thèse à La Rochelle Université intitulée « L'Antiquité dans le discours contre-révolutionnaire (1789-1799) ». Cofondateur (avec Benjamin Galeran) et président de la Société rochelaise du droit, il est également chargé d'enseignement à la Faculté de droit de La Rochelle et chargé de travaux dirigés à la Faculté de droit d'Angers.

Évelyne Lefèvre est directrice de l'Institut universitaire de technologie de Roanne (France), après avoir été responsable des relations internationales et coordonnatrice du consortium européen Erasmus + «Entrepreneurship and Communication in Multicultural Teams'» (ECMT +). Son parcours professionnel, marqué par la construction de projets, les expériences à l'étranger et de nombreuses coopérations internationales, lui a permis d'enrichir ses enseignements en gestion de projet, en management international et anglais, et au-delà, de partager avec les étudiants des apprentissages de terrain. Elle s'inscrit actuellement dans une démarche de formation continue sur les thèmes du management de l'innovation et de projets complexes.

Gwénaëlle Le Mauff est chargée d'accompagnement pédagogique à l'École centrale de Nantes depuis 2018, après avoir exercé des fonctions similaires depuis 2006 à l'École centrale de Lyon. Elle a notamment été impliquée dans des projets internationaux ou nationaux en lien avec le développement de compétences dans les cursus d'ingénieurs, projets portés par l'OCDE, le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche ou le groupe des écoles Centrale. Elle est actuellement cheffe de projet pour le déploiement de l'approche par compétences à Centrale Nantes.

Sandrine Le Pontois est docteure en sciences de gestion (Université de Grenoble-Alpes, Centre d'études et de recherches appliquées à la gestion – CERAG) et enseigne l'entrepreneuriat, la psychologie sociale et la gestion de projet à l'Université Jean-Monnet-Saint-Étienne. Ses recherches qualitatives portent sur l'enseignement de l'entrepreneuriat, tels que l'évaluation de l'impact de l'enseignement de l'entrepreneuriat, l'évaluation de la performance, les stratégies d'adaptation des étudiants, la place des émotions, la légitimité des enseignants, tant aux niveaux individuel que collectif.

Alban Leroyer est maître de conférences en mécanique des fluides à l'École centrale de Nantes depuis 2005. En enseignement, il intervient dans le tronc commun et en option de la formation d'ingénieur généraliste, mais aussi dans la formation d'ingénieur par alternance de l'Institut des techniques d'ingénieur de l'industrie (ITII) et au sein du master Computational Mechanics. Ses activités de recherche au sein du Laboratoire de recherche en hydrodynamique, énergétique et environnement atmosphérique (LHEEA) portent essentiellement

sur la modélisation et la simulation numérique dans les thématiques suivantes: l'hydrodynamique navale, l'interaction fluide-structure, la bio-hydrodynamique et les sports nautiques. Ce sont les travaux menés sur cette dernière thématique qui l'ont incité à ouvrir l'option-projet PariSci2024 en 2018.

Régis Lomba est diplômé ingénieur civil électromécanicien à l'UCLouvain et cofondateur du Makilab. C'est dans le cadre de ce FabLab qu'il a soutenu les activités de prototypage des classes d'innovation depuis la première édition, d'abord en tant qu'intervenant extérieur, puis en tant que membre de l'équipe de l'Openhub, où sa mission est de développer l'approche du prototypage dans un processus d'innovation au moyen des outils FabLabs.

Benoît Macq est professeur à l'UCLouvain. Il est actif dans le domaine du traitement des images et de l'intelligence artificielle. Ses recherches s'effectuent dans un contexte international impliquant notamment l'École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL), le MIT et McGill University. Il est cofondateur de l'Institut TRAIL (TRusted AI Labs). Il est *Fellow Membre* de l'Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) et *Senior Associate Editor* de l'IEEE Transaction on Image Processing. Il a été prorecteur de l'UCLouvain et cofondateur de douze sociétés spin-offs.

Titulaire d'un doctorat en informatique soutenu en 2007 et d'une habilitation à diriger des recherches, défendue en 2016, **Morgan Magnin** est professeur des universités en informatique à l'École centrale de Nantes. Passionné par la transmission et les enjeux pédagogiques sous-jacents, il y est chargé du département TICE et pédagogie (Technologies de l'information et de la communication pour l'enseignement). Cette structure, placée sous la responsabilité de la direction de la formation, a pour objectifs l'accompagnement pédagogique des enseignants, la veille et le conseil sur les méthodes et outils associés, et enfin la valorisation des bonnes pratiques.

Maryline Moulin est titulaire d'un doctorat en biologie cellulaire et est enseignante-chercheuse à l'Université Paris Cité depuis 2015 au sein de l'UFR sciences du vivant. Ses activités de recherche se concentrent sur le rôle des phospholipides dans la physiopathologie musculaire. Elle enseigne la biologie moléculaire et participe au développement d'enseignements transdisciplinaires. Elle a suivi de nombreuses formations

sur les innovations pédagogiques, notamment celles dispensées par le Service d'accompagnement aux pédagogies innovantes et à l'enseignement numérique (SAPIENS) de l'Alliance Sorbonne Paris Cité, et les explore dans ses différents enseignements universitaires. Elle porte également un intérêt particulier à la médiation scientifique.

Nathalie Nyffeler est professeure à la Haute école d'ingénierie et de gestion du canton de Vaud (HEIG-VD). Elle est responsable de l'innovation et de l'entrepreneuriat et dirige la cellule d'innovation. Auparavant, elle a créé et dirigé le Master of Science HES-SO en Integrated Innovation for Product and Business Development. De 2011 à 2020, elle a coordonné le groupe de recherche Management de l'innovation et Développement d'affaires de l'Institut interdisciplinaire du développement de l'entreprise. Elle détient un master en sciences et pratiques de l'éducation décerné par l'Université de Lausanne et un Bachelor of Science de la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO) en Business Administration.

Professeur des hautes écoles spécialisées à la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO) Valais, **Antoine Perruchoud** a obtenu une licence bilingue en sciences économiques et sociales à l'Université de Fribourg. Il a ensuite effectué aux États-Unis un master à la Western Washington University. Depuis 2000, il intervient dans divers cursus au sein de la HES-SO Valais, dont le programme « Business eXperience » (formation à l'entrepreneuriat) et le Certificate of Advanced Studies en management de l'innovation. Depuis 2017, il est responsable de la première Team Academy en Suisse. Intégrée dans le bachelor en gestion d'entreprise, ce programme propose un modèle pédagogique basé sur l'apprentissage en équipe et par l'action : plus de grille de cours, mais des projets réels, plus d'examens, mais un portfolio de compétences, plus de professeurs, mais des coaches.

Fanny Poinotte est enseignante (agrégée de physique appliquée) à l'École nationale supérieure de physique, électronique, matériaux de l'Institut polytechnique de Grenoble (INP-Phelma) depuis 2006 et conseillère pédagogique depuis 2018. Elle enseigne principalement l'électronique et la physique. Petit à petit, elle a centré ses enseignements sur l'apprenant et sur la pratique, notamment en y introduisant diverses méthodes de pédagogie active (apprentissage par problèmes, classe inversée, projets...). Aujourd'hui, ses cours d'électronique se

divisent en séances théoriques en classe inversée et en séances pratiques (travaux pratiques, bureaux d'étude et projets). Parallèlement, elle est fortement investie dans la diffusion des sciences et dans l'initiation aux problématiques des transitions.

Émilie Poirson est professeure à l'École centrale de Nantes depuis 2018 en génie mécanique. Elle travaille particulièrement sur la prise en compte des facteurs humains en conception de produits. En parallèle, elle assure des missions pour l'établissement, notamment sept années à la direction de la formation, avec pour objectif le développement de l'accompagnement des étudiants vers la vie professionnelle, des activités liées aux *soft skills* et des modalités d'apprentissage par projet. Elle est actuellement directrice adjointe de l'École centrale de Nantes.

Jean-Pierre Raskin est professeur à l'École polytechnique (EPL) de l'UCLouvain. Son domaine de recherche concerne la modélisation, la caractérisation large bande (jusqu'aux ondes millimétriques) et la fabrication de dispositifs avancés en technologie Silicon-on-Insulator (SOI) MOSFET, ainsi que la fabrication et la caractérisation de capteurs MEMS (MicroElectroMechanical Systems) incluant des labs-on-chip pour l'exploration des propriétés physiques (mécaniques, électro- et thermo-mécaniques) intrinsèques des matériaux à l'échelle nanométrique. Depuis 2012, il est titulaire du cours « IngénieursSud » qui a été couronné par le prix European Global Education Innovation Award 2017.

Benoît Raucant est professeur à l'École polytechnique de Louvain (EPL). Il y enseigne la conception des machines. En 2000, il a coordonné la réforme des enseignements visant à introduire à l'EPL l'apprentissage par problèmes et par projets (APP). Il est l'auteur de plusieurs ouvrages et guides pratiques sur la pédagogie universitaire, et plus particulièrement sur l'APP, le projet et le nouveau rôle des enseignants. En 2013, il contribue au lancement des classes d'innovation. Depuis octobre 2014, il est président du Learning Lab de Louvain qui accompagne les enseignants de l'université.

Nicolas Ruty est enseignant (agrégé de sciences industrielles pour l'ingénieur, option ingénierie électrique) à l'École nationale supérieure de physique, électronique, matériaux de l'Institut polytechnique de Grenoble (INP-Phelma) depuis 2011. Il enseigne les sciences de l'ingénieur (électronique, informatique, physique, bricolage). Peu enclin à

dispenser ses enseignements dans des formats conventionnels, il s'est toujours tourné en priorité vers les enseignements pratiques, où l'on peut mettre la main à la pâte tout en se rapprochant de situations réelles. Les cours qu'il dispense sont en général liés à des travaux pratiques et à des projets et se déroulent en classe inversée. Par ailleurs, il a participé à la création du FabLab de Phelma.

Sabine Schär est maître d'enseignement à la Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO) et a occupé pendant plusieurs années une fonction de coach dans la Nursing Team Academy (NTA) depuis sa création. Infirmière de formation, elle est également en possession d'un doctorat en sciences de l'éducation (Université de Genève) et s'intéresse aux questions liées à l'alternance, à l'apprentissage expérientiel et à l'épistémologie dans le domaine de la santé. Elle travaille actuellement à la Haute école de la Santé La Source.

Victorien Sonnevile, diplômé d'ingénierie civile en électricité à l'UCLouvain, a participé aux classes d'innovation en tant qu'étudiant avant de devenir l'un des coaches. Il fait également partie de l'équipe de l'Openhub, où sa mission est de développer l'approche prototypage dans un processus d'innovation au moyen de technologies numériques (XR, AI, Cloud, etc.).

Daniel Spooner est maître d'enseignement à Polytechnique Montréal en génie mécanique et était titulaire d'une chaire en enseignement ayant pour thème l'apprentissage par projet. Depuis 2006, il est responsable des cours-projets de première et de quatrième année. Pendant vingt-cinq ans, il a aussi été consultant en développement de produits, en recherche et développement et en design industriel. Il est cofondateur de Polyfab, un espace de fabrication accessible au public. Il est actuellement président de l'Association canadienne de l'éducation en génie (CEEA-ACEG), ex-codirecteur de l'initiative éducative CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate) pour l'Amérique du Nord et cofondateur du Regroupement francophone pour l'enseignement et l'apprentissage du génie (ReFEAG: <https://refeag.ca/>) qui soutient la communauté des enseignants francophones en génie au Canada.

Catherine Tobola Couchepin est professeure à la Haute école pédagogique (HEP) du Valais. Docteure en sciences de l'éducation, responsable du groupe de recherche Formation et professionnalisation de son institution et ancienne responsable de filière de formation, ses activités

de recherche et d'enseignement conjuguent didactique et gestes professionnels d'évaluation et de régulation des apprentissages. Elle s'intéresse autant aux premiers degrés de la scolarité qu'au tertiaire. Elle fait partie de plusieurs groupes de recherche. Elle est également déléguée du Conseil académique des hautes écoles romandes en charge de la formation des enseignants (CAHR) au sein de la Commission pédagogique romande.

Remerciements

En tant que directeur et directrice de cet ouvrage, nous tenons à remercier chaleureusement les autrices et auteurs des chapitres. C'est grâce à leurs réflexions, leurs innovations pédagogiques et leur persévérance que ce livre a vu le jour. Merci également aux évaluateurs pour leurs critiques constructives. Nous tenons aussi à exprimer notre gratitude à la Haute école pédagogique du Valais, qui a soutenu financièrement cet ouvrage au travers de son fonds d'encouragement à l'Open Access, et aux collaboratrices et collaborateurs de la maison Épistémé des Presses polytechniques et universitaires romandes, pour la valorisation et la finalisation de cet ouvrage. Finalement, un merci particulier à nos familles de nous avoir encouragés durant ce travail.

Table des matières

Sommaire	5
-----------------	---

Introduction à l'apprentissage et au prototypage	7
---	---

Hervé Barras & Lina Forest

Gabarits d'apprentissage	8
Premier gabarit : la mémoire humaine, apports de la physiologie	9
Deuxième gabarit : les piliers de l'apprentissage, apports du cognitivisme et des neurosciences	10
Troisième gabarit : richesse de l'environnement, quelques apports ciblés du constructivisme	13
Quatrième gabarit : l'affordance, apport de la psychologie de la Forme et de la perception directe	15
Cinquième gabarit : l'expérience d'apprentissage, apports de l'analyse de l'activité	16
Sixième gabarit : le milieu, apport des didactiques	18
Prototypage	19
Le prototypage comme savoir à construire	20
Le prototypage pour apprendre	22
Structure de l'ouvrage	22

Partie I

Prototyper pour engager et faire apprendre les étudiants	27
---	----

1 Allers-retours entre théorie et pratique en électronique	29
---	----

Fanny Poinsothe, Nicolas Rutu, Stéphane Guillet & Aurélie Feron

Résumé	29
Contexte et problématique	29
Concepts	30
Apprentissages en profondeur	30
Motivation	31
Hétérogénéité	32
Dispositif pédagogique	32
Cours d'électronique	33
Travaux pratiques d'électronique	35

Bureau d'études d'électronique	36
<i>Étape 1 : préparation en amont de la première séance (4 heures)</i>	36
<i>Étape 2 : banc d'essai (huit heures)</i>	38
<i>Étape 3 : conception assistée par ordinateur (CAO, quatre heures)</i>	38
<i>Étape 4 : réalisation et vérification (huit heures)</i>	39
<i>Étape 5 : analyse et synthèse (deux heures)</i>	39
Méthode	39
Évaluation des apprentissages	40
Retours d'étudiants et d'encadrants	41
Résultats	41
Motivation	42
Hétérogénéité	42
Apprentissages en profondeur	43
Réalisation d'un prototype illustrant le cours théorique	45
Défi en autonomie	45
Temps alloué	46
Discussion	47
Conseils	50

2 Apprentissage authentique comme support à la compétence en médecine vétérinaire _____ 53

Marjorie Dequenne, Marianne Diez, Catherine Delfosse & Pascal Detroz

Résumé	53
Introduction	54
Contexte et problématique	55
Contexte	55
<i>Organisation des TP</i>	55
<i>Visées d'apprentissage</i>	55
<i>Évaluation</i>	56
Problématique rencontrée	56
Concepts théoriques mobilisés	56
Apprentissage en contexte authentique: critères d'authenticité et bénéfices attendus	57
Diversification des méthodes d'apprentissage	59
Description du dispositif réalisé	59
Méthode	61
Population	61
Variables	61
Matériels et procédures	61
Résultats	63
Perceptions	63
Participation	65
Performances	66

Discussion	66
Indicateurs de motivation	67
Leviers motivationnels: facteurs externes	68
Leviers motivationnels: facteurs internes	69
Différences entre l'enseignement en présentiel et à distance	70
Limitations	71
Conseils de mise en œuvre pratique	72
Organisation préalable aux TP	72
Matériel à prévoir	72
Organisation de l'activité: chronologie de la séquence d'apprentissage	73
Mode d'enseignement à privilégier	73
Concepts pédagogiques mobilisés dans le dispositif	73
3 Jeu d'évasion pédagogique en sciences du vivant	75
Anne Couëdel-Courteille, Maryline Moulin, Béatrice Grijol & Antoinette Bouziane	
Résumé	75
Introduction	76
Contexte et problématique	77
Concepts	78
Dynamique motivationnelle	78
Pédagogie de projet	79
Apprentissage collaboratif	80
Apprentissage par le faire	80
Apprentissage de la ludification	81
Le basculement du paradigme d'enseigner vers celui d'apprendre	82
Dispositif de l'<i>escape game</i> moléculaire	82
Première séance: contextualisation et prise en main du projet	83
Deuxième séance: réaffirmations des objectifs, cadrage du projet et installation de la dynamique de groupe	85
Quatre séances suivantes: suivi et stimulation de l'avancement du projet	85
Avant-dernière séance: le bêta-test	86
Dernière séance: le jeu	86
Méthode	86
Population	86
Variables	86
Matériels	87
Procédure	87
Résultats	88
Discussion	90
Conseils pour créer un jeu d'évasion pédagogique	92

4 Enseignement en éthique pour favoriser la réflexion critique	93
Benjamin Galeran, Kévin Henocq & Violaine Charil	
Résumé	93
Contexte et problématique	94
Développement professionnel ou comment tendre vers une démarche <i>Scholarship of Teaching and Learning</i>	95
Construire un dispositif pédagogique innovant, ou comment faire autrement ?	97
L'apprentissage par problèmes et par projet, une solution ?	98
Dispositif : du prototype conçu à sa réalisation	101
Méthode et résultats	103
Discussion	106

Partie 2

Prototyper dans un environnement riche et dans un milieu s'appuyant sur la créativité _____ 111

5 Explorer l'innovation	113
Régis Lomba, Quentin D'Aspremont Lynden, Benoît Raucent, Victorien Sonnevill, Benoit Macq, Jean-Pierre Raskin & Emmanuelle Brun	
Résumé	113
Introduction	114
Cadre théorique	115
Le design thinking	115
Le prototypage, un outil d'aide à l'innovation	116
Cas pratiques de mise en application du prototypage	118
Contexte	118
Les classes d'innovation	118
Le Makilab	119
L'Openhub	119
Méthodologie	120
Principes pédagogiques	120
Favoriser l'activation cognitive	121
<i>Le modèle ICAP d'activation cognitive</i>	121
<i>La régulation des conflits</i>	122
<i>La ligne des émotions</i>	122
<i>Le bilan réflexif</i>	123
Et le prototypage dans tout cela ?	124
<i>Prototyper pour motiver</i>	124
<i>Prototyper pour sortir de sa « zone de confort »</i>	124

<i>Prototyper pour valider ses hypothèses</i>	125
<i>Prototyper pour générer de la créativité: le Dark Horse</i>	125
<i>Déroulement des classes d'innovation: exercice de lancement</i>	126
<i>Bilan de l'exercice de lancement</i>	127
<i>Grand challenge</i>	127
Résultats et commentaires	128
Quelques exemples de prototypage	128
Un premier bilan	129
Commentaires	129
<i>Perception du rôle du prototypage</i>	130
<i>Sélection de la technique de prototypage</i>	130
<i>Accompagnement</i>	132
Conclusion	132
6 Apprendre à entreprendre: sortir « hors les murs » grâce au prototypage	135
Stéphane Foliard, Sandrine Le Pontois, Florence Courtade & Évelyne Lefèvre	
Résumé	135
Introduction	136
Contexte et problématique	138
Concepts	140
Dispositifs réalisés	142
Méthode	144
Résultats	146
Le préTOTYPE comme vecteur de communication et de partage	148
Le préTOTYPE pour présenter le projet et recueillir les avis	150
Discussion	151
Conseils	153
7 Processus de conception collectif innovant	155
Nathalie Nyffeler & Isabelle Capron Puozzo	
Résumé	155
Introduction	155
De la créativité à la conception	156
Qu'est-ce que la créativité?	156
<i>Macro- et microprocessus créatifs</i>	157
<i>Approche multivariée de la créativité et mesure de la créativité</i>	159
Activités de conception et créativité	160
Une recherche-action sur le développement de prototypes et de la créativité auprès d'étudiants d'une Haute école	162
Contexte de la recherche: description du dispositif de formation	162
Problématique et méthodologie de recherche	164
Méthodologie d'analyse du corpus de données	165

Relations entre le potentiel créatif, les productions créatives et les facteurs de créativité	166
Le potentiel créatif des groupes et leur évolution	166
Évaluation des productions créatives collectives lors de la phase d'idéation	168
Évaluation et évolution des productions créatives lors du processus Innokick	169
Éléments de discussion: le prototypage comme passerelle vers une pédagogie de la créativité	171
Conclusion	173

Partie 3

Prototyper pour développer des expériences et des affordances _____ 175

8 L'expérience d'apprentissage: évaluation de différents dispositifs _____ 177

Catherine Tobola Couchepin, Sabine Schär, Hervé Barras, Étienne Dayer & Antoine Perruchoud

Résumé	177
Introduction	177
Formations tertiaires: vous avez dit professionnalisantes?	179
Alternance: la construction d'une didactique de la formation professionnelle	180
Quatre dispositifs de formation interrogés	181
La complexité de la compétence	182
Dans la Team Academy	182
Dans la formation des enseignants	182
Dispositifs: milieux et alternance	183
Dans la Team Academy	183
Dans la Team Academy-Gestion	185
Dans la Team Academy-Soins infirmiers	186
Dans la formation des enseignants	187
<i>Dans l'enseignement primaire</i>	187
<i>Dans l'enseignement secondaire</i>	188
Comparaison des quatre formations	189
Dispositif réalisé	191
Méthode	191
Résultats	191
Motivation et charge de travail	192
Expérience d'apprentissage	194

Discussion	197
Conseils	198
9 Option projet: objectif compétences	201
Alban Leroyer, Morgan Magnin, Émilie Poirson & Gwénaëlle Le Mauff	
Résumé	201
Introduction	202
Contexte et problématique	202
Concepts	204
Dispositif réalisé	207
Principe	207
Similitudes entre les différentes options projets	209
<i>Constitution du cœur de l'équipe d'encadrement</i>	209
<i>Déroulement de l'année</i>	209
<i>Mode de fonctionnement au quotidien</i>	212
<i>Évaluation</i>	212
Évolution du dispositif des options projets	213
Méthode	214
Résultats	214
Développement des compétences techniques et scientifiques attendues	215
Développement de compétences transversales	216
Modalités pédagogiques	217
Discussion	220
Conseils	222
Détails de l'option projet « maison connectée pour la santé »	223
Constitution du cœur de l'équipe d'encadrement	223
Mode de fonctionnement au quotidien	224
Évolution de l'option-projet au fil du temps	224
Détails de l'option projet « Paris scientifique 2024 »	225
Contexte	225
Constitution du cœur de l'équipe d'encadrement	226
Formation	227
Mode de fonctionnement au quotidien	227
Évolution de l'option-projet au fil du temps	228
10 Une culture de projets intégrateurs en formation d'ingénieurs	229
Anouk Desjardins, Patrice Farand, Daniel Spooner, Catherine Carré & Lina Forest	
Résumé	229
Introduction	230

Contexte et problématique	230
Projet intégrateur	231
Éléments communs des dispositifs réalisés	231
Trois cas de prototypage	233
Prototypage en génie mécanique (première année de formation)	233
<i>Contexte du cours-projet</i>	233
<i>Philosophie d'enseignement</i>	233
<i>Objectifs</i>	234
<i>Description</i>	234
<i>Encadrement, rétroaction et évaluation</i>	235
<i>Résultats obtenus et évolution</i>	236
Prototypage en génie chimique, troisième année de formation	237
<i>Contexte du cours-projet</i>	237
<i>Philosophie d'enseignement</i>	238
<i>Objectifs</i>	238
<i>Description</i>	239
<i>Encadrement, rétroaction et évaluation</i>	240
<i>Résultats obtenus et évolution</i>	241
Prototypage en génie civil, quatrième année de formation	242
<i>Contexte du cours-projet</i>	242
<i>Philosophie d'enseignement</i>	242
<i>Objectifs</i>	243
<i>Description</i>	243
<i>Encadrement, rétroaction et évaluation</i>	244
<i>Résultats obtenus et évolution</i>	245
Bilan et conseils de mise en pratique	246
Conclusion générale	249
Hervé Barras & Lina Forest	
Gabarits d'apprentissage	250
Le milieu	251
L'expérience d'apprentissage	252
L'affordance	252
La richesse de l'environnement	253
Les piliers de l'apprentissage	254
La mémoire	255
Recommandations et mises en garde	255
Bibliographie	259
Présentation des auteurs	275
Remerciements	287

Le prototypage pédagogique permet aux étudiants de se confronter au réel en testant un apprentissage en cours par exemple, ou en intentant une action qui développe une nouvelle compétence. Nombreux sont les cursus d'enseignement supérieur qui mettent en place un tel outil dans leur dispositif didactique, tant il constitue une expérience d'apprentissage riche et complète pour la réussite et l'autonomisation des étudiants. Cependant, les enseignants se trouvent parfois démunis face aux difficultés d'accompagnement qu'il peut susciter.

Cet ouvrage a pour objectif de penser le rôle et la place du prototypage dans l'enseignement supérieur. Il propose dix exemples concrets de situations de prototypage mises en place dans des formations allant de la médecine vétérinaire à l'économie d'entreprise, en passant par l'innovation en ingénierie. Si tous les cas ne sont pas transposables directement dans un autre contexte, leur description méthodique et réflexive offrira aux enseignants et aux conseillers pédagogiques des idées et des solutions éprouvées afin d'accompagner les étudiants vers l'acquisition de stratégies d'apprentissage efficaces. Les acteurs et décideurs de l'enseignement y trouveront aussi l'inspiration pour apporter un nouveau souffle aux cursus pédagogiques.

Hervé Barras est professeur à la Haute école pédagogique du Valais. Ses intérêts de recherche portent sur l'apprentissage et le développement des compétences dans différentes professions. Il articule ses travaux entre observations, analyses de pratique et innovations afin d'améliorer l'impact de l'apprentissage auprès des étudiants et des professionnels.

Directrice du Bureau d'appui et d'innovation pédagogique de Polytechnique Montréal de 2006 à 2022, **Lina Forest** travaille depuis près de trente ans en pédagogie universitaire. Ses principaux domaines d'expertise sont l'accompagnement pédagogique des nouveaux professeurs, l'évaluation des apprentissages et l'évaluation de l'enseignement.

