



HAL
open science

Pédagogies de l'innovation dans les formations d'ingénieurs : les conditions d'une problématisation sociotechnique

Denis Lemaître

► **To cite this version:**

Denis Lemaître. Pédagogies de l'innovation dans les formations d'ingénieurs : les conditions d'une problématisation sociotechnique. In-Situ 2019, Université de Lyon, Nov 2019, Lyon, France. hal-02414814

HAL Id: hal-02414814

<https://ensta-bretagne.hal.science/hal-02414814>

Submitted on 16 Dec 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Pédagogies de l'innovation dans les formations d'ingénieurs : les conditions d'une problématisation sociotechnique

Denis LEMAITRE¹

¹ ENSTA Bretagne, laboratoire Formation et Apprentissages Professionnels

Résumé • L'injonction à l'innovation traverse les écoles d'ingénieurs comme le reste de la société, mais les conceptions de l'innovation évoluent. On passe peu à peu d'une logique productiviste (approche réductionniste et applicationniste de l'innovation visant le développement de produits pour le marché) à la logique du développement durable (approche plus globale et intégrée visant la réponse à des besoins issus de la société). En termes éducatifs, cette évolution conduit à une transformation des pratiques pédagogiques. Dans les écoles d'ingénieurs on invite de plus en plus les étudiants à sortir du cadre académique classique (cours, TD, TP) pour aller vers des tiers-lieux curriculaires, comme les *labs*. Au-delà des effets de mode, il faut s'interroger sur les finalités éducatives et les contenus des apprentissages qui sont en jeu. L'innovation durable suppose en effet une approche holistique des problèmes, allant au-delà du plaisir immédiat de la manipulation technique et de la spontanéité des relations humaines dans les collectifs. Dans les formations d'ingénieurs, l'attention est davantage portée sur les dispositifs, avec un goût prononcé pour la standardisation (comme les méthodes agiles, les *fablabs*), plutôt que sur les liens entre les objectifs d'apprentissage et les finalités éducatives. Entre les principes du développement durable et les pratiques pédagogiques dédiées à l'innovation demeure un ensemble d'impensés, en ce qui concerne les intentions éducatives et leur traduction dans les dispositifs. Dressant un tableau des conceptions de l'innovation en vigueur dans les écoles d'ingénieurs, cette contribution s'appuie ensuite sur une étude de cas, le *living lab* Experiment'HAAL, pour étudier les conditions pédagogiques d'une formation à l'innovation de type holistique, correspondant à l'esprit du développement durable. L'idée de problématisation sociotechnique est ici mobilisée pour définir, à l'appui de différentes théories, les conditions pédagogiques d'une formation à l'innovation.

Mots-clefs • Pédagogie, innovation, formation d'ingénieurs, problématisation sociotechnique

Introduction

La figure sociale de l'ingénieur, dès son apparition à l'époque moderne, a partie liée avec l'invention, la création d'artefacts, la mise en place de techniques nouvelles, ce que recouvre peu ou prou le terme « innovation » qui s'impose aujourd'hui dans les usages. Pour autant ce terme demeure un mot-valise, désignant tout à la fois un idéal politique, une injonction, une forme d'activité, un processus, un produit, une transformation sociale, ou encore une démarche intellectuelle. Il véhicule tout un ensemble de valeurs implicites propres à notre époque. Par rapport à l'idée de progrès notamment, aux fondements de la modernité, l'innovation raccourcit le temps et l'espace et relativise les contenus de l'invention et de la nouveauté autour de la performance immédiate (Martuccelli, 2016).

Les écoles d'ingénieurs, comme d'autres filières de l'enseignement supérieur, intègrent pleinement cette injonction à l'innovation et déploient tous leurs efforts pour y répondre (Lemaître, 2018). A l'origine, l'idée d'innovation chez les ingénieurs était fortement reliée aux principes du productivisme, c'est-à-dire à l'objectif premier de développer des solutions techniques nouvelles, sous la forme de biens et de services à proposer sur le marché, en vue d'un profit à court terme. Aujourd'hui, la formation des ingénieurs à l'innovation est pensée également à l'aune des principes du développement durable, notamment sous l'angle de la préservation des ressources et du bien vivre

des populations. Du point de vue pédagogique, il s'agit d'un nouveau paradigme. À côté de la formation à l'innovation conçue comme recherche de solutions dans un domaine technique de spécialité en application de modèles, se déploie une formation à l'innovation voulue comme holistique, intégrant les enjeux techniques, économiques, sociaux, environnementaux, etc., pour envisager les conséquences à long terme des innovations produites (Lemaître, 2019). Dans les curricula d'ingénieurs, mis en œuvre par les écoles et les universités, fleurissent nombre de dispositifs pédagogiques dédiés à la formation à l'innovation, souvent pris dans les tensions entre ces deux conceptions de l'innovation et les déclinant de diverses manières selon les influences du milieu. Mais de manière générale l'attention est davantage portée sur les outils pédagogiques (ex. : environnements numériques, méthodes actives) et leur dimension opérationnelle, que sur une réflexion de fond sur les finalités de la formation et les moyens à leur adapter. Manque souvent une pensée sur les dispositifs pédagogiques déployés au regard des contextes socio-économiques et des enjeux éducatifs, ce que nécessite pourtant une approche durable de l'ingénierie.

L'objectif de la présente contribution est de fournir quelques outils de cadrage pour aider à penser les pédagogies de l'innovation avec une approche des problèmes orientée par les principes du développement durable, entendu au sens large. Elle commence par envisager ce que sont les conceptions de l'innovation dans les formations d'ingénieurs et leurs traductions pédagogiques. Elle propose ensuite l'étude d'un cas réel de création d'un *living lab* dans une école d'ingénieurs, pour décrire les modalités d'apprentissage d'une formation à l'innovation partant des besoins de la société et abordant les problèmes dans leur complexité technique, économique, éthique et sociale. Sur cette base, elle propose ensuite les principes d'une problématisation sociotechnique, comme démarche pour former les ingénieurs à l'approche holistique des problèmes. L'hypothèse est que développer des capacités à innover, surtout au sens d'une innovation holistique, s'appuie sur une authentique démarche de problématisation du réel.

1. Conceptions de l'innovation dans les formations d'ingénieurs

Les conceptions de l'innovation, sur lesquelles reposent les dispositifs pédagogiques déployés par les écoles d'ingénieurs, reflètent le flou sémantique qui règne dans l'usage de la notion. À travers les contradictions entre les conceptions de l'innovation et les finalités des formations proposées, on peut néanmoins distinguer trois types d'approches (Lemaître et Morace, 2018). De manière dominante dans les curricula d'ingénieurs, l'innovation se présente tout d'abord comme l'optimisation de systèmes et le développement de solutions et de produits à mettre en œuvre dans les industries et à proposer sur le marché. Le plus souvent, comme l'illustrent par exemple les recommandations de la Commission des Titres d'Ingénieurs (CTI), la conception dominante de l'innovation est proche de celle de l'entrepreneuriat, comme objectif et modalité de la formation, par exemple à travers les concours entre écoles ou les dispositifs internes de création de start-ups. À côté de cette approche pragmatique (au sens de la performance réalisée) demeure dans les écoles une innovation de concepts, à travers les problèmes de modélisation, les méthodes de design et de calculs. Cette innovation a partie liée avec la recherche, et mobilise concrètement les ressources des laboratoires dans la formation des ingénieurs et des ingénieurs-docteurs. Souvent les étudiants sont associés aux recherches menées par leurs enseignants-chercheurs. Existe également une approche holistique de l'innovation, plus récente, qui consiste à partir des besoins de la société pour apporter des solutions pratiques, en ne cherchant pas systématiquement la surenchère technologique mais en adaptant les ressources de la technique aux réalités sociales, économiques, environnementales, etc. Mobilisant la réflexion éthique, cette innovation se définit parfois comme innovation durable ou responsable. Elle prend souvent la forme de projets interdisciplinaires ou d'études menées en dehors des disciplines techniques de spécialité, de travaux dans des tiers-lieux pédagogiques (hors des salles de cours ou de TP).

Quoi qu'il en soit, les formations à l'innovation proposées dans les curricula participent très largement de la volonté de rompre avec des enseignements perçus comme traditionnels (Liu, 2018). L'idée selon laquelle il faut innover pédagogiquement pour former à l'innovation est devenue un *topos*, c'est-à-dire une relation établie entre deux faits devenue un lieu commun. Plus précisément, la formation à l'innovation est fortement liée à la doctrine pédagogique dominante autour du rejet de la magistralité (cours – TD – TP) et de la promotion des pédagogies actives (apprentissage par projets ou par problèmes, simulation, tâches collectives de *design thinking*, etc.). Cette doctrine inspire notamment la création des tiers-lieux où les étudiants peuvent apprendre à innover en dehors des salles de cours, comme les *fablabs* (Bosqué, 2017). Les objectifs d'apprentissage sont le développement de la coopération, de la créativité, de la capacité à entrer dans l'action. Ces démarches pédagogiques sont construites sur un principe mimétique qui veut faire imiter les pratiques des entreprises industrielles ou des organisations socio-économiques, et les formes voulues de l'innovation telle qu'idéologisée dans notre société (agilité, adaptabilité, engagement, etc.). Mais le conditionnement mimétique à l'œuvre dans ces dispositifs ne garantit pas nécessairement le développement de capacités à innover. Mettre en scène les pratiques jugées innovantes conduit souvent chez les étudiants, du point de vue des apprentissages, à un certain nombre de biais ou de dérives, comme de chercher simplement à jouer, à faire groupe, à manipuler des objets et des outils, à rivaliser, etc. Il existe un risque d'enfermement mimétique au sens d'un emballement à imiter les gestes de l'innovation, plutôt que de chercher à rompre avec les idées dominantes pour progresser dans la conception de solutions nouvelles. Une certaine tendance réductionniste demeure, conduisant à ramener les problèmes et les solutions trouvées à des techniques existantes. La question du lien avec le social est fondamentale, justifiant une perspective sociotechnique la plus large possible. Quel empan temporel, spatial et social donne-t-on aux projets sur lesquels on travaille ? Qui décide de la prise en compte ou non de tel ou tel enjeu social, éthique, environnemental, dans la conception des systèmes techniques ?

Du point de vue des pratiques pédagogiques, la tendance est à penser la formation en termes de dispositifs et à se rallier à des standards, comme des réponses pratiques justifiées par l'efficacité. La littérature pédagogique portant sur les écoles d'ingénieurs est très largement dominée par la description de méthodes normées, souvent transposées du monde extérieur, qu'il s'agisse des méthodes agiles et leurs standards spécifiques venus des entreprises (comme la méthode Scrum), ou de nouvelles pratiques sociales comme les *factories* et divers *labs*. Ce qui se joue en termes d'apprentissages et de finalités éducatives n'est encore que faiblement travaillé, entre d'une part le plaisir de la manipulation technique dans l'agitation mimétique d'un collectif humain, d'autre part la formation d'ingénieurs citoyens capables de proposer des réponses techniques aux défis contemporains.

Afin de contribuer à explorer cet entre-deux, il convient de repartir des transformations pédagogiques concrètes observables dans les écoles d'ingénieurs, qui traduisent un changement dans les conceptions de l'innovation. On s'intéresse ici en particulier au passage d'une conception technocentrée de l'innovation (visant des développements de solutions de manière applicative, dans des champs disciplinaires circonscrits) à une conception holistique de l'innovation (visant des réponses à des problèmes issus de la société, avec une approche pluridisciplinaire destinée à intégrer toutes les composantes du problème perçues comme pertinentes). Le cas d'étude présenté ci-après a pour but de repérer les transformations pédagogiques à l'œuvre dans un type de dispositif dédié à l'innovation.

2. Le cas du *living lab* Experiment'HAAL

Ce cas concerne la création et l'exploitation d'un *living lab* au sein d'une école d'ingénieurs, l'IMT Atlantique. L'objectif est d'étudier ce qui change et ce qui se joue dans la pratique, pour les enseignants et les étudiants, dans la fréquentation de ce type de tiers-lieu dédié à l'innovation. Ce *living lab* baptisé

HAAL (*Human Ambient Assisted Living*) a été créé et développé par André Thépaut et ses collègues, à travers différents projets de recherche financés au cours des années (voir : <https://www.imt-atlantique.fr/fr/recherche-et-innovation/equipe/ihsev-haal>). Il s'agit d'un *living lab* dédié à l'innovation sur les questions du handicap et du vieillissement, entrant dans la famille des *Living Labs* en Santé et Autonomie (LLSA). Valentin Berthou, dans sa thèse dédiée à l'étude sociologique de ces dispositifs, situe l'origine des *living labs* (« laboratoires vivants ») dans les années 1990 aux Etats-Unis et plus particulièrement au MIT (Massachusetts Institute of Technology), dans le domaine de l'architecture et de l'urbanisme (Berthou, 2018, p. 12). Le laboratoire est « vivant » au sens où il fait intervenir les usagers dans le laboratoire pour la conception des systèmes, en partant des besoins, en testant in vivo la pertinence des solutions imaginées. Les LLSA sont la catégorie des *living labs* dédiés aux questions de santé, plus particulièrement au profit des personnes âgées et/ou en situation de handicap. Tous les LLSA ne se trouvent pas hébergés par des écoles d'ingénieurs, et leur implantation dans ce type d'institution constitue une relative nouveauté.

L'histoire de Experiment'HAAL illustre en effet la façon dont une approche techno-centrée à la base peut, dans une école d'ingénieurs, évoluer vers des enjeux plus larges, de nature sociale. L'origine de ce *living lab* remonte au début des années 2000. A cette époque André Thépaut, son responsable, est professeur d'informatique et développe des projets de recherche en lien avec l'industrie des télécommunications. C'est la rencontre avec un étudiant malvoyant qui agit pour lui comme un élément déclencheur. L'enseignant-chercheur, responsable des projets d'ingénieurs dans les parcours de formation, observe alors les difficultés que rencontre l'étudiant et imagine des solutions pour faciliter ses apprentissages (exemple : une loupe électronique). Intéressé par cette question du handicap visuel, il obtient dans la foulée un financement pour développer plus largement une plateforme d'enseignement de l'écriture braille à distance. Après les projets liés à la rééducation visuelle, André Thépaut et son équipe se consacrent ensuite à l'aide aux personnes âgées, avec l'idée que les nouvelles technologies peuvent favoriser le maintien à domicile des personnes âgées dépendantes. Mais une intuition forte est qu'il leur faut travailler avec des sociologues, afin de mieux comprendre les besoins des personnes âgées. Les sociologues vont servir de médiateurs entre les chercheurs en informatique et les personnes âgées. Un souci constant d'André Thépaut est d'éviter ce qu'il nomme (lors d'un entretien réalisé en septembre 2019) des « ruines technologiques », c'est-à-dire des innovations techniques qui, pour être réussies, n'ont pour autant pas rencontré leurs utilisateurs et sont finalement tombées dans l'oubli. Pour éviter ce type d'échec, Le principe directeur d'André Thépaut est de promouvoir la co-conception des systèmes, associant les spécialistes techniques, les familles, les sociologues et les bénéficiaires des innovations. C'est l'origine du *living lab*. L'enquête menée par les sociologues montre finalement que les personnes âgées n'ont guère d'attentes en termes de domotique mais que beaucoup souffrent de solitude. Leurs attentes concernent davantage la communication avec leur réseau affectif (amis, famille, enfants et petits-enfants). Mais comment faire pour que les personnes âgées puissent entrer facilement en contact avec leurs familles ? L'idée des chercheurs est que l'outil le plus simple et omniprésent dans une maisonnée est le poste de télévision. C'est donc par la télévision que seront faits les échanges, via une messagerie directe sans ordinateur, ce qui suppose la mise au point en laboratoire d'un ensemble de dispositifs techniques, testés puis déployés dans les domiciles des personnes concernées. Cette histoire montre comment une innovation technique peut se construire dans les interactions sociales, en laissant une place importante à l'intuition et aux motivations d'ordre éthique. Dans la même veine, différents projets vont ensuite se succéder pour développer des moyens d'assistance et d'information par la télévision, en collaboration avec des industriels. Vient ensuite à André Thépaut l'idée de créer un réseau social pour personnes âgées passant par la télévision, ce qui donnera lieu à un financement de projet et à la création d'une start-up. Depuis quelques années, le *living lab* déploie davantage ses activités en direction de la robotique. Il développe ou adapte des robots compagnons pour l'assistance à la personne, humanoïdes ou roulants, à la destination des personnes âgées, mais aussi des enfants autistes. Sur tous ces projets intervient, au sein du *living lab*, les spécialistes techniques de l'école

(enseignants-chercheurs, ingénieurs, docteurs, doctorants) et des spécialistes d'autres champs (sociologues, psychologues, ergonomes, médecins, utilisateurs, accompagnants).

Les étudiants ingénieurs sont associés aux différents stades des projets par les enseignants, en fonction du cursus. En première année de leur parcours de formation, ils travaillent sur des thèmes techniques constituant des parties réduites du projet, selon les savoir-faire qu'il leur faut acquérir. Pour autant, ils sont déjà sensibilisés aux enjeux des projets à travers des films de présentation, par exemple. Lors des projets d'étudiants de deuxième année (dans le cursus d'ingénieur), ils peuvent choisir de s'investir dans la durée sur l'un des thèmes travaillés et sont davantage confrontés à la complexité sociotechnique. Des étudiants travaillant sur un robot destiné à jouer avec un enfant en situation autistique et à l'encourager à communiquer ont, par exemple, pu assister aux essais réalisés avec un enfant concerné dans le *living lab*, en compagnie de ses éducatrices, pour évaluer l'adaptation du robot. Puis, en troisième année, les étudiants qui choisissent de mener leur projet sur l'un des thèmes développés dans le *living lab* prennent en charge une partie encore plus conséquente du projet. Certains d'entre eux ont ainsi travaillé à la conception d'un scénario d'action d'un robot, devant par là-même intégrer les besoins et les attentes des utilisateurs avec les solutions techniques imaginées. Les étudiants sont également amenés à sortir du *living lab* et de leur école pour aller sur le terrain. En 2020 s'organise ainsi un hackaton consacré à la question du handicap, qui rassemble des équipes d'élèves-ingénieurs issues de l'IMT Atlantique et de l'ENSI Bretagne Sud. Ils se retrouvent au centre de rééducation fonctionnelle de Kerpape, à Plomeur dans le Morbihan, pour imaginer sur place des solutions innovantes. Ils sont ainsi invités, dans leur démarche d'innovation, à partir non de la commande d'un industriel ou de la prescription d'un enseignant, mais de leurs propres observations au contact des personnes en situation de handicap, ce qui modifie les manières d'apprendre et les savoir-faire acquis.

Le cas de ce *living lab* illustre la manière dont les écoles d'ingénieurs s'emparent de questions de société, en sortant des logiques purement techniques à développement industriel et en intégrant d'autres formes d'innovation. Il s'agit alors moins de partir des avancées de la technique pour concevoir de nouveaux produits, que de partir des besoins de la société pour adapter les outils techniques. Du point de vue pédagogique, c'est un certain glissement par rapport à des projets d'étudiants plus classiques dans les écoles d'ingénieurs. Travailler avec un enseignant au profit d'un industriel (comme souvent c'est l'usage) consiste à chercher des solutions techniques dans un domaine d'application circonscrit, pour l'aider à la conception du système qu'il désire réaliser. Très souvent, les étudiants n'ont que de faibles contacts avec l'entreprise prescriptrice, la médiation étant faite par l'enseignant. Dans le cadre du *living lab*, les étudiants sont bien davantage invités à échanger avec différents acteurs. Plus que portés vers le développement d'une solution existante, ils sont conduits vers la construction du problème sociotechnique, au sens où les solutions techniques sont interdépendantes des attentes des utilisateurs, et d'autres acteurs (ex. : médecins, familles, fournisseurs des matériels, financeurs, etc.).

Valentin Berthou (2018, p. 320) voit dans les LLSA en général une sorte de tension entre la logique du développement technique et une logique plus innovante de construction des problèmes sociotechniques. Selon lui, les LLSA fonctionnent beaucoup sur le développement d'outils existants, mais il considère également que les ingénieurs apportent « certaines logiques de fonctionnement caractéristiques d'un système de résolution en *problem solving* (Altschuller, 1986) », qui consiste à chercher par tâtonnements la solution des problèmes, selon une méthode de recherche heuristique. Selon l'auteur « les LLSA sont donc tenus par le double objectif de personnaliser la solution tout en prenant en compte une dimension contextuelle et systémique » (ibid.). Cette dimension contextuelle et systémique est notamment le fait des organisations (école d'ingénieurs, établissement hospitalier, association d'accueil, entreprise, laboratoire de recherche, etc.) et des différents acteurs impliqués. Pour des étudiants, apprendre à dialoguer avec différentes personnes dans le but de construire des solutions adaptées à la situation donnée et aux acteurs concernés, alors que les intérêts et les objectifs

peuvent diverger ou s'opposer, constitue un objectif de formation dépassant de loin la seule mise en œuvre de principes disciplinaires sur des systèmes techniques donnés. C'est en ce sens qu'il ne s'agit plus, dans le cadre de ces projets, d'une résolution de problèmes techniques mais plutôt d'une problématisation sociotechnique, qui reste à définir plus précisément.

3. La problématisation sociotechnique : pour une pédagogie de l'innovation

L'idée explorée ici est que le paradigme de la problématisation constitue un outil intellectuel adapté pour définir les conditions d'une formation à l'innovation holistique ; le terme de *problématisation* est à comprendre dans le sens de construire un problème, de le circonscrire et de le formuler d'une certaine manière, à la différence de la simple *résolution de problème* qui suppose de mobiliser un modèle ou des formules pour exécuter une procédure sur de nouvelles données. Du point de vue de la formation des ingénieurs, la problématisation se rapporte à l'approche complexe telle que la définit Le Moigne (2007) à travers l'*Ingenium* de Vico, comme faculté de l'esprit qui réunit ce qui est séparé, dans une approche synthétique qui contextualise et favorise l'invention et la création ; il l'oppose au réductionnisme inspiré de Descartes, consistant à découper les problèmes en petites parts pour en faire des obstacles simples et circonscrits à des domaines de savoir. Ce réductionnisme traverse encore largement les curricula des écoles d'ingénieurs, conduisant au découpage disciplinaire et à une ingénierie orientée vers les solutions, à travers des applications techniques en vue du développement de produits (conformément à la logique productiviste évoquée plus haut). Il s'oppose à ce que Joëlle Forest décrit, dans une perspective plus contemporaine mais très proche de celle de Le Moigne, à la rationalité créative fondée sur l'ouverture et la mise en lien (Forest, 2018). Dans le cas du *living lab* Experiment'HAAL, les étudiants sont sortis de leurs disciplines de spécialité (qu'ils doivent néanmoins maîtriser) et symboliquement sortis de leurs salles de cours pour aller à la rencontre des objets sociotechniques (ex. : robots d'assistance à la personne) en concevant les solutions avec les utilisateurs et les autres acteurs du système. L'innovation dont il s'agit est socialement ancrée (un lieu, un projet, des personnes humaines), de type pluridisciplinaire, fruit de la confrontation entre les différents acteurs concernés, reliée à des principes éthiques, et se présente comme une recherche constante de solutions nouvelles dans les arrangements à trouver entre les besoins humains et les avancées de la technique.

Ces caractéristiques apparaissent comme les conditions d'une formation à la problématisation sociotechnique. Dans la perspective de penser les dispositifs pédagogiques, il est important de pouvoir mettre en évidence ces caractéristiques à travers des outils intellectuels qui les symbolisent. Dans la littérature scientifique, l'idée de problématisation sociotechnique a été tout particulièrement développée par la sociologie de la traduction ou sociologie de l'acteur réseau (Callon, 2006 ; Akrich, Callon, et Latour, 2006 ; Latour, 2005). Cette approche théorique vise à représenter les innovations comme des processus de constitution d'un système d'actants (acteurs humains et objets techniques) et de définition-construction-résolution d'un problème par le jeu des interactions entre eux. Dans le processus de conception de l'innovation autour du réseau d'actants, la problématisation désigne plus particulièrement le moment où les acteurs guidant le processus s'approprient la question et la mettent en mots, la désignent et la cadrent, en orientant le réseau d'actants vers l'innovation souhaitée (Callon, 1986). Pour les ingénieurs, qui jouent souvent ce rôle, il s'agit de désigner le problème initial et l'obstacle à surmonter, les verrous technologiques, les contraintes et les possibles sur les plans technique, économique, social, environnemental, juridique, politique, éthique, etc., puis de les mettre en relation et de les hiérarchiser. Cette mise en mots est une « traduction » de la situation-problème (d'où l'appellation « sociologie de la traduction ») qui doit être consentie par tous les actants du système, eux-mêmes pouvant la reconfigurer au cours du processus.

Ce modèle de la problématisation sociotechnique permet de rendre compte des attendus de la formation à l'innovation au niveau de la mise en représentation d'une situation problème impliquant des objets techniques, des acteurs et un environnement social. Il permet de décrire en particulier les processus d'instanciation et de désignation des éléments d'une situation-problème. Il offre concrètement la possibilité de lister ou cartographier les intérêts et les influences de chacun des acteurs, pour mieux comprendre comment s'impose telle ou telle innovation, au cœur des négociations. Dans le cas du *living lab* Experiment'HAAL, on peut ainsi voir les projets comme des réseaux dans lesquels se croisent des attentes et des intérêts différents : les chercheurs veulent obtenir des contrats de recherche et concevoir des innovations pour développer leurs activités scientifiques, les soignants veulent améliorer l'accompagnement des personnes en situation de handicap, les étudiants veulent apprendre en réussissant leurs projets, et tous ces mêmes acteurs peuvent être motivés ou non par des principes éthiques dépassant leurs propres intérêts ; les objets techniques « réagissent » de leur côté en imposant des contraintes et en offrant des possibles. Ainsi, à l'appui de la sociologie de l'acteur-réseau, il est possible de créer des représentations (cartes, schémas, tableaux) des réseaux d'actants et du processus d'innovation. En termes d'analyse des situations-problèmes, il existe d'autres approches similaires, comme par exemple la méta-ethnographie que proposent Lehoux, Daudelin, Denis, Gauthier et Hegemeister, pour penser la manière dont sont conçues les innovations responsables, en particulier dans le domaine de la santé (Lehoux et al., 2019). Le point commun de ces approches est l'importance donnée à la contextualisation du processus d'innovation et au rôle des acteurs impliqués.

De ce point de vue, il paraît important de prendre également en compte le contexte éducatif. Les processus de formation à l'innovation sont mis en œuvre non dans des entreprises mais dans des écoles ou universités dans lesquelles l'activité est dédiée aux apprentissages. Les étudiants sont placés dans des situations où ils imitent le travail d'innovation qu'ils développeront plus tard « pour de vrai » comme ingénieurs. Le dispositif de formation, artificiel par nature, constitue un cadre secondaire de l'expérience (Goffman, 1991), dans lequel on simule, on joue à agir comme dans l'activité professionnelle réelle. Cette secondarisation de l'expérience trouve son sens dans les intentions de formation (souvent implicites) qui animent les institutions, les concepteurs des programmes, les enseignants et les étudiants. Les pratiques pédagogiques sont ainsi à relier aux objectifs de formation qui les inspirent. En ce qui concerne la formation des ingénieurs à l'innovation de type holistique, trois catégories de savoirs sont visées, comme l'illustre le cas du *living lab* Experiment'HAAL :

- Des connaissances sur les faits, les contextes et les différents enjeux (ex. : les capacités cognitives liées au vieillissement ; la durabilité des composants électroniques) ;
- Des capacités à agir, conjointement par la mise en œuvre des outils et des savoirs techniques (ex. : comment programmer un robot) et par les interactions avec autrui (ex. : comment s'organiser dans l'équipe de projet), les deux registres étant intimement liés ;
- Des capacités réflexives pour questionner le réel, diverger, exercer une pensée critique et proposer des nouveautés compatibles avec les finalités (ex. : prendre en compte les problèmes éthiques de l'usage domestique des robots).

Du point de vue pédagogique, un enjeu important est de mesurer à quelles conditions les pratiques pédagogiques favorisent ou non ces apprentissages, c'est-à-dire à penser ce que représente le processus de problématisation en termes d'activités intellectuelles de l'étudiant au cœur de la démarche cognitive.

Dans le domaine de la pédagogie et des apprentissages, les travaux de Michel Fabre nous permettent de penser ce travail de problématisation en représentant les contenus de la production mentale. Cet auteur propose la modélisation suivante (Fabre, 2017, p. 30) :

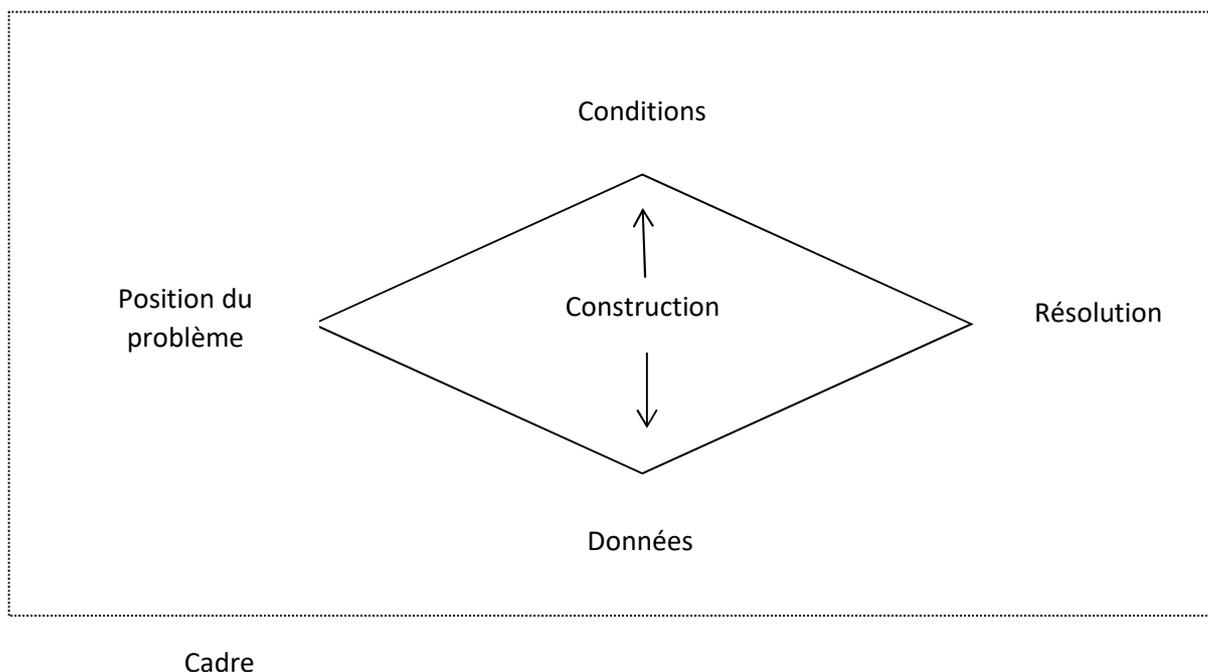


Figure 1. Le schéma de la problématisation, selon Michel Fabre.

Dans une démarche de problématisation, l'étudiant-ingénieur commence par énoncer la question, traduire les difficultés ou obstacles perçus en énoncé de recherche (**position du problème**). Il s'appuie sur un ensemble de **données**, qui sont les faits, les contraintes et les possibles qui s'imposent à lui et sur lesquels il n'a pas de prise. Il mobilise des **conditions**, qui sont des paradigmes techniques et scientifiques, y compris hors de son champ de spécialité (économiques, sociologiques, juridiques, etc.). Il dialectise les données et les conditions en **construisant le problème**, par exemple : « si je tiens compte de ce principe, alors cette donnée devient primordiale, si je tiens compte de tel autre, alors elle est secondaire et je la traite de cette manière ». Il propose une **résolution**, qui se présente comme le fruit d'une négociation entre les données et les conditions. Cet ensemble cognitif est conditionné par le **cadre de référence** du problème, qui revêt une importance capitale dans notre cas. Le cadre du problème est l'ensemble des éléments hors problème, qui sont non questionnés, et qui s'imposent comme constitutifs de la réalité extérieure. Il existe une certaine porosité entre le cadre et les données et les conditions, dans la mesure où des éléments initialement non repérés ou non questionnés peuvent devenir des composantes du problème dans le processus de l'innovation, par exemple une nouvelle contrainte de coûts apparaissant subitement dans l'acquisition de matériels. La forme curriculaire elle-même impose toute une série de déjà-là, comme les savoirs scientifiques, les outils techniques, les usages de l'école ou du laboratoire, qui s'imposent aux étudiants comme un environnement « naturel ». Pour les étudiants-ingénieurs, le travail de cadrage et de recadrage du problème se situe au cœur de la difficulté, dans la mesure où il détermine l'identification des données et des conditions, et donc la pertinence de la solution. En lien avec les objectifs de formation énoncés plus haut, ce travail s'inscrit dans trois registres : épistémique (les savoirs), pragmatique (les actions), et axiologique ou éthique (les valeurs). Tout comme la théorie de l'acteur-réseau, ce schéma peut facilement être opérationnalisé pour décrire la problématisation à l'œuvre dans un processus d'innovation, en énonçant le problème, en listant les données et les conditions, en caractérisant les éléments du cadre de référence à travers les trois registres. Les deux modèles sont complémentaires et associables : celui de l'acteur-réseau permet de décrire le processus d'innovation de manière contextuelle (un espace-temps et une dynamique d'actants), celui de la problématisation permet de décrire ce qui se passe précisément dans le travail de « traduction » que fait l'ingénieur dans la construction logique du problème.

Cette double perspective, celle de la contextualisation par la cartographie des actants et celle du schéma de la problématisation, offrent ainsi des outils de compréhension et d'action pour la conception des dispositifs pédagogiques. Le terme de dispositif est à prendre ici au sens qu'en donne Abdelkarim Zaid, comme « un ensemble prescrit de composants hétérogènes agencés en réseau et considérés par des acteurs comme pertinents ou nécessaires pour réaliser une fonction dominante et satisfaire des finalités » et « ce même ensemble en cours d'actualisation » (2017, p. 58). Les composants agencés en réseau sont des artefacts, des procédures, des formes de savoirs. Le *living lab* Experiment'HAAL étudié plus haut constitue pleinement, du point de vue de la formation, un dispositif, comme ensemble de composants en évolution au fur et à mesure des projets de recherche qui viennent nourrir les actions de formation des ingénieurs.

Reste à souligner que le paradigme de la problématisation peut ou doit être utilisé pédagogiquement dans une double perspective, en termes d'activités d'apprentissage : d'une part comme méthode pour étudier des processus d'innovation déjà mis en œuvre historiquement, d'autre part comme méthode heuristique pour la réalisation de nouveaux projets. Michel Foucault, philosophe ayant mobilisé de manière importante le concept de problématisation à la fin de son parcours, nous permet de penser cette double perspective (de Salies, 2013). Le processus de problématisation désigne ce qu'il étudie à travers son entreprise d'analyse généalogique et archéologique d'objets sociohistoriques, comme la sexualité ou la folie. Elle caractérise également l'entreprise qu'il mène, dans sa propre démarche intellectuelle. Cette « isomorphie entre l'objet d'étude et l'instrument d'étude » (ibid., p. 256) est un principe particulièrement fécond pour la penser la formation des ingénieurs à l'innovation holistique et la conception concrète de dispositifs pédagogiques. Les élèves-ingénieurs apprennent de l'étude des innovations passées, comme ils apprennent en concevant de nouveaux artefacts, en déployant les mêmes démarches de problématisation.

Conclusion

Pour être pensée, la formation à l'innovation dans les écoles d'ingénieurs doit être débarrassée d'un double effet de conjoncture socioculturelle : d'une part les charges idéologiques que véhicule le mot innovation à notre époque, d'autre part la doctrine pédagogique dominante qui conduit à la standardisation des dispositifs autour de pratiques sociales et professionnelles en vogue, dans les entreprises comme dans les tiers-lieux sociétaux.

Les impératifs du développement durable au sens large (environnemental, social, politique, etc.) conduisent à faire évoluer en profondeur les conceptions de l'innovation en vigueur dans les formations et les pratiques pédagogiques qu'elles inspirent. Le glissement d'une innovation technocentrée vers une innovation holistique entraîne des recompositions importantes dans l'organisation curriculaire, l'activité des étudiants, le rôle des enseignants, les modalités pédagogiques. Elles sont visibles dans les réformes constantes que mènent les écoles, faisant de leurs initiatives pédagogiques des arguments de promotion institutionnelle. Mais la volonté d'installer des dispositifs nouveaux en transposant des standards à succès est loin de garantir l'atteinte des objectifs de formation en termes d'innovation durable, notamment dans l'acquisition d'une capacité réflexive. Celle-ci apparaît en effet comme une condition première pour éviter le conditionnement mimétique, permettre le discernement et la construction consciente d'une posture éthique.

Cette capacité s'opérationnalise dans l'activité définie comme celle de problématisation, dont le concept apparaît comme particulièrement adapté à la formation des ingénieurs. Loin de constituer une méthode ou un nouveau standard, elle est à comprendre comme un cadre théorique pour désigner la pensée en actes. L'usage du mot en français n'a pas véritablement d'équivalent en anglais, *problematization* étant d'un usage plutôt rare. Mais il rejoint d'autres termes comme le *problem solving* ou le *design thinking*, lorsqu'ils sont entendus selon le même principe de la construction – et non de la résolution – des problèmes. Le concept ne constitue pas en lui-même une nouveauté dans

l'histoire de la pensée, mais il permet de replacer les pratiques pédagogiques dans la dimension des politiques éducatives et les apprentissages dans leur réalité anthropologique.

Références bibliographiques

AKRICH M., CALLON M., LATOUR B., *Sociologie de la traduction. Textes fondateurs*, Presses de l'École des Mines de Paris, Paris, 2006.

Altshuller G. S., *To Find an Idea: An Introduction into the Theory of Inventive Problem Solving*, Nauka, Novosibirsk, 1986.

AMBLARD H., BERNOUX P., HERREROS G., LIVIAN Y.-F., *Les nouvelles approches sociologiques des organisations*, Editions du Seuil, Paris, 2005.

BERNSTEIN B., *Class, codes and control. Volume IV. The structuring of pedagogic discourse*, Routledge, London and New York, 1990.

BERNSTEIN B., *Pedagogy, symbolic control and identity*, Rowman & Littlefield, London, 2000.

BERTHOU, V., *De l'intention d'innovation à son institutionnalisation: Le cas des Living Labs en Santé & Autonomie*, Thèse de doctorat en sociologie, Université de Technologie de Troyes, 2018.

BOSQUÉ C., "History of FabLabs. Origins, purposes, development and new directions", dans Menichinelli M. (Ed.), *FabLab. Revolution field manual*, Niggli Verlag, Rome, 2017, p. 12-31.

CALLON M., « Eléments pour une sociologie de la traduction », *L'année sociologique*, vo. XXXVI, 1986.

CALLON M., « Sociologie de l'acteur réseau », dans Akrich M., Callon M. et Latour B., *Sociologie de la traduction. Textes fondateurs*, Presses des Mines, Paris, 2006, p. 267-276.

FABRE M., *Qu'est-ce que problématiser ?*, Vrin, Paris, 2017.

FOREST J., *Rationalité créative et innovation*, ISTE Editions, Londres, 2018.

FOSTER J., YAOYUNYONG G., "Teaching innovation: Equipping students to overcome real-world challenges", *Higher Education Pedagogies*, 1:1, 42-56, 2016. DOI: 10.1080/23752696.2015.1134195

GOFFMAN E., *Les cadres de l'expérience*, Editions de Minuit, Paris, 1991.

LATOUR B., *Reassembling the Social: An Introduction to Actor-Network-Theory*, Oxford University Press, Oxford, 2005.

LE MOIGNE J.-Y., "The intelligence of complexity. Do the ethical aims of research and intervention in education and training not lead us to a 'new discourse on the study method of our time'?", *Educational Sciences Journal*, 4, 2007, p.1646- 6500.

LEHOUX P., DAUDELIN G., DENIS J.-L., GAUTHIER P. ET HEGEMEISTER N., « Pourquoi et comment sont conçues les innovations responsables ? résultats d'une méta-ethnographie », *Innovations*, 2019/2 n°59, p. 15-42, 2019.

LEMAITRE D. (dir.), *Formation des ingénieurs à l'innovation*, ISTE Editions, Londres, 2018.

LEMAITRE D. et MORACE C., « Comment les écoles d'ingénieurs françaises forment-elles à l'innovation ? Etude des *curricula* de trois écoles françaises », dans Lemaître D. (dir.), *Formation des ingénieurs à l'innovation*, ISTE Editions, Londres, 2018, p. 211-235.

LEMAITRE D., "Training engineers for innovation: Pedagogical initiatives for new challenges", *European Journal of Education*, volume 54, Issue 4, 2019, p. 566-576.

LIU T., *Les formations à l'innovation entre tradition et rupture*, Thèse de doctorat, Université de Paris-Saclay, 2018.

MARTUCCELLI D., « L'innovation, le nouvel imaginaire du changement », *Quaderni*, 91 / automne 2016. DOI : 10.4000/quaderni.1007.

de SALIES F., « Statut et fonction de la notion de 'problématisation' dans le corpus foucauldien tardif », *Le Philosophoire*, 2013/2 (n° 40), p. 235-258, 2013. DOI 10.3917/phoir.040.0235

WAGNER T., *Creating innovators. The making of young people who will change the world*. Scribner, New York, 2012.

ZAID A., *Elaborer, transmettre et construire des contenus. Perspective didactique des dispositifs d'éducation et de formation en sciences et technologies*, PUR, Rennes, 2017.