

Apport de l'analyse ergonomique à l'étude de l'activité de conception d'ingénieurs nouvellement diplômés dans une visée de formation

Catherine Pilon

Doctorante en éducation
Université de Sherbrooke

Christelle Lison

Professeure à la Faculté d'éducation
Université de Sherbrooke

Frédéric Saussez

Professeur à la Faculté d'éducation
Université de Sherbrooke

Résumé

La conception en ingénierie occupe une place centrale dans la formation initiale des ingénieurs et dans leur pratique professionnelle. Or, selon certains auteurs, les savoirs mobilisés aux fins d'un travail de conception sont très différents de ceux enseignés en formation initiale. Le présent article vise ainsi à problématiser la question de la référence au travail de conception dans le développement de la formation initiale des ingénieurs. À cette fin, une recension des écrits sur le travail de conception en ingénierie a été menée pour comprendre ce que font concrètement les ingénieurs lorsqu'ils sont engagés dans un travail de conception. Les résultats de cette recension révèlent, entre autres, l'importance des interactions sociales et des rapports de délégation de tâches, notamment sur le plan de la coordination technique. En outre, bien que plusieurs auteurs affirment que les savoirs sociotechniques jouent un rôle prépondérant dès le début de la carrière des ingénieurs, ces savoirs et leur méthode d'acquisition en situation de conception par des ingénieurs nouvellement diplômés demeurent méconnus. Dès lors, le présent article conclut en soulignant la pertinence d'une analyse ergonomique du travail de conception d'ingénieurs nouvellement diplômés dans une visée de formation, notamment afin d'aider ces derniers à mieux faire la transition entre le monde étudiant et leur profession.

Mots clés

Analyse ergonomique/Conception en ingénierie/Formation/Tâche/Activité

Notices biographiques

Catherine Pilon est diplômée d'un baccalauréat et d'une maîtrise en communication à l'Université de Sherbrooke (Québec, Canada). Elle y est à présent doctorante en éducation et

conseillère pédagogique à la Faculté de génie. Elle s'intéresse au travail des ingénieurs, à leur formation initiale et à l'apprentissage du processus de conception. Ses travaux de recherche, menés dans la tradition ergonomique de l'analyse de l'activité, portent plus spécifiquement sur l'importance des interactions sociales et des rapports de délégation de tâches qui caractérisent les pratiques de conception en ingénierie, notamment au regard de la gestion de projets techniques.

Christelle Lison est professeure à la Faculté d'éducation de l'Université de Sherbrooke (Québec, Canada). Spécialisée en enseignement supérieur, elle s'intéresse à la formation des enseignants du postsecondaire et à leur développement professionnel, aux innovations curriculaires et pédagogiques, à l'évaluation de l'enseignement par les étudiants et à l'encadrement aux cycles supérieur. Impliquée dans la communauté scientifique, Christelle Lison est notamment rédactrice en chef de la *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur* et experte associée auprès de la Mission de la pédagogie et du numérique pour l'enseignement supérieur du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation français.

Frédéric Saussez est professeur au département de pédagogie de l'Université de Sherbrooke. L'analyse de l'activité est son objet principal de recherche. Il inscrit celui-ci dans le cadre de la psychologie culturelle historique. Il s'intéresse plus spécifiquement à la mise en mots du sens de l'activité et aux processus d'apprentissage et de développement en jeu dans les situations d'analyse de l'activité. Il s'intéresse également aux fondements épistémologiques et sociaux de la recherche en éducation et aux rapports recherche, pratique et politique en éducation.

Introduction

Aujourd'hui, force est de constater que la conception occupe une place centrale dans la formation initiale — programmes universitaires de premier cycle — et dans la pratique professionnelle des ingénieurs (Atman, Eris, McDonnell, Cardella et Borgford-Parnell, 2014 ; Dym, Agogino, Eris, Frey et Leifer, 2005). Paradoxalement, ce processus demeure méconnu, notamment parce qu'il a été peu étudié sous d'autres angles que ceux de la technique et de la prescription (Trevelyan et Tilli, 2007 ; Vinck, 2014). Des travaux de recherche ont toutefois mis en exergue le fait que les aspects sociaux et techniques y étaient inextricablement liés en situation de travail (Bucciarelli, 1988, 1994 ; Vinck, 1999 ; Trevelyan, 2007, 2010). Alors que dans les discours destinés à attirer les jeunes vers l'ingénierie, la conception est présentée comme un processus rationnel de résolution de problèmes, des auteurs suggèrent que la formation des futurs ingénieurs doit désormais se projeter au-delà de l'approche ingénierie/sciences, pour éviter d'occulter d'autres dimensions de leur savoir-faire (Vincenti, 1990 ; Vinck, 2014 ; Williams et Figueiredo, 2014).

En nous inscrivant dans les sciences de l'éducation, nous posons, dans cet article, la question de la référence au travail de conception dans le développement de la formation initiale des ingénieurs. Nous problématisons ici cette question en abordant cinq points. Nous présentons d'abord différentes définitions de la conception en ingénierie, puis nous traitons de son importance dans la formation initiale des ingénieurs et dans leur pratique professionnelle. Nous exposons ensuite la méthodologie que nous avons employée pour recenser divers écrits portant

sur le travail de conception en ingénierie. Puis, les principaux travaux recensés sur cette thématique sont sommairement décrits. Par la suite, nous développons les arguments qui justifient, selon nous, la pertinence d'analyser le travail de conception en ingénierie dans une visée de formation. Enfin, nous présenterons les apports potentiels d'une analyse ergonomique de ce travail auprès d'ingénieurs nouvellement diplômés.

Conception en ingénierie

Selon Dym, Little, Orwin et Spjut (2009), il existe de nombreuses définitions de la conception en ingénierie (*engineering design*). À titre d'exemple, Eide, Jenisson, Mashaw et Northup (2002, p. 79) la définissent en ces termes : « La conception en ingénierie est un processus systématique permettant de trouver des solutions aux besoins des individus.¹ » Quant aux organismes responsables d'agréer les programmes universitaires en génie au Canada et aux États-Unis, soit le Bureau canadien d'agrément des programmes de génie (BCAPG) et l'Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET), ils mettent plutôt l'accent sur d'autres caractéristiques de ce processus. À titre d'exemple, la définition proposée par le BCAPG (2016) met en exergue le caractère créatif et évolutif de ce processus, de même que les contraintes susceptibles de l'influencer. La définition proposée par l'ABET (2017), elle, met plutôt de l'avant son caractère décisionnel et itératif. Après avoir examiné l'ensemble de ces définitions, nous retenons que la conception en ingénierie est un processus systématique, décisionnel et itératif, qui intègre une variété de connaissances et vise à créer un système, un composant² ou un processus, en tenant compte de diverses contraintes, et ce, dans le but de répondre à des besoins spécifiques. Nous verrons comment ce processus peut s'opérationnaliser concrètement dans les sections suivantes.

Importance de la conception dans la formation initiale des ingénieurs

La conception occupe une place importante dans la formation initiale des ingénieurs, et ce, tant au Canada qu'au sein de la dizaine de pays signataires de l'Accord de Washington (International Engineering Alliance, 2014)³. De fait, au Canada, le BCAPG (2016) exige qu'au moins 20 % des contenus obligatoires des programmes portent sur la conception en ingénierie et que ces programmes amènent les étudiants à vivre une expérience de conception d'envergure. Depuis plus de vingt ans, les institutions d'enseignement canadiennes et à travers le monde ont donc été nombreuses à apporter des modifications à la formation initiale en génie afin de mieux préparer les étudiants à l'activité de conception en contexte professionnel (Kolmos et de Graaff, 2014 ; Litzinger, Lattuca, Hadgraft et Newstetter, 2011 ; Sheppard, Macatangay, Colby et Sullivan, 2008). La modification la plus répandue en ce sens a été l'introduction d'activités pédagogiques permettant aux étudiants de réaliser des projets de conception (Jonassen, 2014 ; Kolmos et de

¹ Traduction libre de « *Engineering design is a systematic process by which solutions to the needs of humankind are obtained* ».

² Le Grand dictionnaire terminologique (GDT) de l'Office québécois de la langue française définit ainsi le terme « composant » : « élément ou unité qui entre dans la composition d'un objet [...] (ex. : les composants d'un ordinateur portable) ».

³ Plus d'une dizaine de pays, dont l'Australie, le Canada, les États-Unis, l'Inde, l'Irlande, le Japon, la Nouvelle-Zélande, la Russie et la Turquie ont signé l'Accord de Washington. Cet accord reconnaît notamment une équivalence substantielle des exigences de formation universitaire pour l'exercice du génie à un niveau professionnel dans chacun des pays signataires (International Engineering Alliance, 2014).

Graaff, 2014). À titre d'exemple, ces projets peuvent consister à automatiser la mise en conserve de sirop d'érable ; concevoir et fabriquer le prototype d'un mannequin permettant de faciliter l'apprentissage et d'améliorer l'évaluation des techniques de mobilisation vertébrale dans le cadre d'une formation en physiothérapie ; développer des unités autonomes visant à dessaler l'eau marine et à produire de l'eau potable en utilisant l'énergie marémotrice, etc.

Considérant l'importance croissante des projets de conception réalisés au cours de la dernière année de formation, des chercheurs américains ont mené trois enquêtes nationales en 1995, 2005 et 2015 afin de documenter certaines caractéristiques de ces projets, lesquels sont réalisés dans divers domaines du génie et à travers un grand nombre d'institutions d'enseignement (Todd, Magleby, Sorensen, Swan et Anthony, 1995 ; Dutson, Todd, Magleby et Sorensen, 1997 ; Howe, 2010 ; Howe et Wilbarger, 2006 ; Howe, Rosenbauer et Poulos, 2016a ; Howe, Rosenbauer et Poulos, 2016 b). Ces enquêtes indiquent notamment que, malgré leur variabilité à certains égards, les projets réalisés ont en commun l'objectif de faire vivre aux étudiants une expérience de conception qui soit inspirée de la pratique professionnelle. Cet objectif d'apprentissage est également au cœur des projets de fin d'études réalisés dans les programmes de premier cycle en génie mécanique au Québec (Pilon et Charron, accepté). Il convient dès lors d'examiner en quoi consiste l'activité de conception en contexte professionnel.

Importance de la conception dans la pratique professionnelle des ingénieurs

Dans la préface de son ouvrage intitulé *Total Design : Integrated Methods for Successful Product Engineering*, Pugh (1990) souligne que la conception est centrale dans la pratique professionnelle des ingénieurs. Plusieurs auteurs estiment d'ailleurs qu'elle est l'activité la plus commune et la plus complexe de ces professionnels (Atman *et al.*, 2014 ; Dym *et al.*, 2005 ; Jonassen, 2014). Selon Dym *et al.* (2005), la complexité du travail de conception des ingénieurs serait notamment attribuable au fait qu'elle : 1) témoigne d'une dimension sociale importante (ce point sera approfondi dans les prochaines sections) ; 2) nécessite la prise en compte d'aspects de divers ordres (par exemple, sur les plans sociaux, environnementaux, économiques, etc.) ; 3) repose sur des questionnements systématiques faisant appel tantôt à la pensée convergente, tantôt à la pensée divergente⁴ ; 4) requiert une certaine tolérance face à l'incertitude et à l'ambiguïté ; 5) implique l'analyse d'options et la prise de décision ; 6) comporte diverses formes de langage (mots, nombres, représentations graphiques, mathématiques, modèles analytiques, etc.).

En raison de l'importance du travail de conception en ingénierie, ce dernier a fait l'objet de nombreux travaux de recherche au cours des soixante dernières années (Atman *et al.*, 2014 ; Cross, 1984 ; Visser, Darses et Détienne, 2004). Bien que les recherches menées aient contribué à l'avancement des connaissances à différents chapitres, des auteurs soutiennent qu'il existe

⁴ Selon Dym *et al.* (2005), dans une situation de conception donnée, les questionnements qui relèvent de la pensée convergente visent à faire ressortir les faits, autrement dit des éléments d'information vérifiables (ex. : des seuils de tolérance). Les questionnements qui relèvent de la pensée divergente, eux, visent à mettre au jour des possibilités (ex. : le recours à un type de moteur plutôt qu'à un autre). Les pensées convergentes permettraient ainsi aux concepteurs de se concentrer sur les connaissances, tandis que les pensées divergentes leur permettraient d'explorer des concepts en situation de conception.

encore peu de recherches qui documentent les processus de conception des ingénieurs sous d'autres angles que ceux de la technique ou de la prescription (Trevelyan et Tilli, 2007 ; Vinck, 2014). Aux fins de la présente étude, nous avons néanmoins recensé quelques travaux de recherche qui ont tenté de répondre à la question suivante : que font concrètement les ingénieurs lorsqu'ils sont engagés dans un travail de conception ? La méthodologie relative à cette recension ainsi que les principales études que nous avons identifiées sont présentées dans les sections suivantes.

Méthodologie

Dans le but de mieux comprendre ce que font concrètement les ingénieurs lorsqu'ils sont engagés dans un travail de conception, nous avons recensé des publications scientifiques portant sur cette thématique. C'est à l'aide de différentes banques de données dans le domaine du génie (*Copendex, Inspec*) et de l'outil Découverte (moteur de recherche propre à l'Université de Sherbrooke), ainsi que par le biais d'une série de mots-clés (*ingénierie, pratique(s), conception en ingénierie, engineering, engineering practice(s), engineering design, etc.*) que nous avons identifié des écrits pertinents. Les références bibliographiques de certains écrits recensés ont également été consultées afin de repérer d'autres publications liées à cette thématique.

Recherches sur le travail de conception en ingénierie

Les recherches de Bucciarelli (1988, 1994), de Vinck (1999) et de Trevelyan (2007, 2010) sur le travail de conception en ingénierie sont, encore aujourd'hui, reconnues pour avoir été des plus influentes (Stevens, Johri et O'Connor, 2014). Nous présentons ici les principaux résultats de ces études, menées dans une tradition de recherche ethnographique.

Travaux de recherche de Bucciarelli (1988, 1994)

Après avoir mené une observation participante sur le processus de conception de deux équipes d'ingénierie américaines œuvrant dans des entreprises distinctes, Bucciarelli (1988, 1994) a mis en exergue la dimension sociale de ce processus. Cette dimension repose essentiellement sur le fait que, dans le cadre de leur travail, les ingénieurs doivent collaborer avec de nombreuses personnes : des scientifiques, du personnel technique, des fournisseurs, des responsables du marketing, des utilisateurs, etc. Bucciarelli (1988, 1994) soutient que toutes ces personnes sont en mesure d'exercer une certaine influence sur le processus de conception. Il incombe dès lors aux ingénieurs de les amener à s'entendre pour qu'un projet donné puisse être réalisé. Pour ce faire, les ingénieurs doivent assurer une coordination sur le plan social et technique, en établissant des normes et des objectifs communs, afin que les différentes parties prenantes d'un projet puissent fonctionner ensemble. En ce sens, Bucciarelli (1988, 1994) affirme que le processus de conception en ingénierie est une construction sociale.

Travaux de recherche de Vinck (1999)

Dans le cadre de l'une de ses recherches, Vinck (1999) a suivi un ingénieur mécanicien stagiaire dans un bureau d'études du CERN, à Genève. Cet ingénieur stagiaire avait pour mandat de concevoir un objet simple, soit une paroi de blindage. Selon Vinck (1999), alors que l'ingénieur

stagiaire croyait que son travail de conception serait essentiellement technique, il a plutôt découvert une réalité plus complexe, où la question de la coordination entre concepteurs et physiciens était centrale. Toujours selon Vinck (1999), il semble que ce travail de conception ait aussi été l'occasion pour l'ingénieur stagiaire de réaliser que, derrière chaque détail technique, il y avait des acteurs (clients, utilisateurs, etc.) avec lesquels il fallait apprendre à négocier pour donner de la pertinence à la solution technique envisagée. Vinck (1999) conclut ainsi que le travail de conception, même pour un ingénieur novice, est au cœur de dynamiques d'échange et d'interaction entre acteurs, dont les perspectives varient parfois fortement.

Travaux de recherche de Trevelyan (2007, 2010)

Plus récemment, Trevelyan (2007, 2010) a cherché à documenter la pratique professionnelle quotidienne d'ingénieurs concepteurs australiens et pakistanais⁵. À cette fin, il a réalisé des entretiens ethnographiques et des observations participantes. Ses travaux ont permis de définir dix catégories de pratiques professionnelles, lesquelles incluent de nombreux aspects auparavant négligés par les typologies prescriptives et normatives. Parmi ces catégories, celle qui s'est avérée la plus importante est la coordination technique (*technical coordination*). Trevelyan (2007, p. 197) la définit en ces termes : « La coordination technique signifie travailler avec les autres et les influencer afin qu'ils accomplissent consciencieusement un travail donné selon un calendrier convenu.⁶ » L'auteur mentionne que la coordination technique n'implique généralement des relations directes (*one-on-one relationship*) qu'avec peu, voire aucune, autorité formelle. La coordination technique ne serait donc pas réservée aux gestionnaires. Au contraire, il s'agirait plutôt d'un aspect majeur de la pratique professionnelle des ingénieurs, et ce, dès leur début de carrière. En effet, selon Trevelyan (2010), au cours de leur première année de pratique professionnelle, les ingénieurs consacrent en moyenne 60 % de leur temps à des interactions avec les parties prenantes des projets sur lesquels ils travaillent. Ces interactions impliqueraient majoritairement des rapports de négociation et de délégation de tâches (Trevelyan, 2010). Pour illustrer ce point, Trevelyan (2010, p. 188) propose une analogie basée sur la musique : « En un sens, le rôle des ingénieurs est à la fois de composer de la musique et de diriger l'orchestre qui l'interprète, en travaillant à l'extérieur des lignes leur conférant une autorité formelle.⁷ » Sous cet angle, les ingénieurs seraient, à travers leur processus de conception, les organisateurs de leur travail et du travail d'autrui, ce qui nécessiterait à la fois des compétences sociales et techniques.

Pertinence d'analyser le travail de conception en ingénierie dans une visée de formation

⁵ Des recherches ont été menées afin de vérifier si le contexte des études de Trevelyan (2007, 2010) est similaire à celui de la pratique professionnelle des ingénieurs au Québec ou au Canada. Aucune référence n'a toutefois été trouvée pour documenter la pratique professionnelle des ingénieurs en ces lieux. Les bases de données consultées à cette fin sont Copependex et Inspec, soit deux bases de données spécialisées dans le domaine du génie. Puisque l'Australie et le Canada font partie des pays signataires de l'Accord de Washington et que cet accord reconnaît, par extension, une équivalence substantielle des exigences pour l'exercice du génie à un niveau professionnel (International Engineering Alliance, 2014), il nous apparaît raisonnable d'envisager que la réalité de la pratique professionnelle de ces pays soit semblable.

⁶ Traduction libre de : « *Technical coordination [...] means working with and influencing other people so they conscientiously perform necessary work to a mutually agreed schedule* ».

⁷ Traduction libre de : « *In a sense, the engineer's role is both to compose the music and conduct the orchestra, working outside lines of formal authority* ».

À la lumière des travaux de recherche de Bucciarelli (1988, 1994), Vinck (1999) et Trevelyan (2007, 2010), nous présentons ici les arguments qui justifient, selon nous, la pertinence d'analyser le travail de conception en ingénierie dans une visée de formation. Il est ainsi question de la connaissance limitée de ce travail et de la vision réductrice de ce dernier véhiculée en formation initiale.

Connaissance limitée du travail de conception en ingénierie

Bien que les travaux de recherche présentés dans la section précédente aient été réalisés aux États-Unis (Bucciarelli, 1988, 1994), en Suisse (Vinck, 1999), en Australie et au Pakistan (Trevelyan, 2007, 2010), ils démontrent tous que l'une des caractéristiques intrinsèques du travail de conception en ingénierie est de supposer de nombreuses interactions avec divers acteurs et leur coordination au sein d'un réseau complexe d'interdépendances. En outre, les travaux de Vinck (1999) et de Trevelyan (2007, 2010) ont plus spécifiquement démontré que les savoirs sociotechniques jouent un rôle prépondérant dans la vie professionnelle des ingénieurs, et ce, dès leur début de carrière.

En dépit des avancées réalisées par ces chercheurs, Vinck (2014, p. 225) déplore que « les activités et pratiques d'ingénierie constituent encore un univers largement méconnu et peu étudié par les sciences humaines et sociales ». Ce point de vue est également partagé par plusieurs auteurs (Anderson, Courter, McGlamery, Nathans-Kelly et Nicometo, 2010 ; Barley, 2004 ; Stevens *et al.*, 2014). Trevelyan (2007) mentionne d'ailleurs qu'il est surprenant de constater que si peu de recherches ont été menées sur le travail de conception en ingénierie alors que la formation initiale des ingénieurs vise notamment à les y préparer.

Vision réductrice du travail de conception véhiculée dans la formation initiale des ingénieurs

Au cours de leur formation initiale, les futurs ingénieurs apprennent, entre autres, à mobiliser des connaissances scientifiques et à tenir compte d'une série de contraintes : codes et normes techniques, fabricabilité, durabilité, éthique, questions de santé et de sécurité, etc. (Vinck, 2014). Cette formation véhicule une vision où le travail de conception consiste essentiellement à résoudre, seul ou en petit groupe de pairs, des problèmes complexes d'ordre technique (Vinck, 2014). Selon Williams et Figueiredo (2014, p. 302), il est dès lors courant que les ingénieurs terminent leur formation initiale « en pensant que les principaux facteurs permettant de déterminer ce qui est possible et ce qui ne l'est pas en ingénierie sont presque exclusivement liés aux sciences de l'ingénieur », lesquelles sont basées en grande partie sur les sciences physiques et exprimées dans le langage mathématique. Or, comme nous l'avons vu précédemment, « la réalité à laquelle font face les jeunes ingénieurs est bien plus complexe que cela » (Williams et Figueiredo, 2014, p. 302).

Sous cet angle, divers auteurs perçoivent ainsi une vision réductrice du travail de conception en formation initiale et déplorent le peu d'attention accordée aux compétences sociotechniques (Bucciarelli et Kuhn, 1997 ; Trevelyan, 2007 ; 2009, 2010 ; Vinck, 2014 ; Williams et Figueiredo, 2014). Pour illustrer ce point, Trevelyan (2007, p. 191) soutient que « la formation

des ingénieurs fournit seulement des occasions limitées et informelles pour le développement de compétences en matière de coordination technique⁸ ». Alors que certains pourraient interpréter le travail en équipe comme un synonyme de la coordination technique — et bien qu’il y ait certainement des parallèles à établir entre les deux —, Trevelyan (2007) affirme que ces deux aspects du travail des ingénieurs sont distincts, puisque la coordination technique se ferait essentiellement à l’extérieur d’une équipe donnée. En outre, bien que pour coordonner ou créer des conditions favorisant la coopération les étudiants doivent développer des compétences communicationnelles, Trevelyan (2007) précise que ces dernières n’ont pas toujours de liens directs avec la coordination technique. À ce sujet, il donne l’exemple de travaux qui sont souvent demandés aux étudiants en génie afin de développer leurs compétences communicationnelles :

À titre d’exemple, les compétences communicationnelles peuvent être interprétées comme la capacité à réaliser des présentations techniques. Toutefois, une présentation PowerPoint attrayante sur le plan visuel ne sera probablement pas très utile pour organiser la livraison, au moment opportun, de béton sur un chantier de construction⁹. (Trevelyan, 2007, p. 198)

En somme, selon Trevelyan (2007), même si la coordination technique est un aspect majeur de la pratique professionnelle des ingénieurs et de leur travail de conception, elle semble absente des programmes de formation initiale. Trevelyan (2007) croit que cette situation pourrait expliquer certaines difficultés éprouvées par les ingénieurs nouvellement diplômés au cours de leurs premières années de pratique professionnelle. Ce point de vue est également partagé par d’autres chercheurs (Anderson *et al.*, 2010; Edwards et Middleton, 2001; Galloway, 2008; Jonassen, Strobel et Lee, 2006; Korte, Sheppard et Jordan, 2008; Martin, Maytham, Case et Fraser, 2005; National Academy of Engineering, 2005). Ces derniers, à l’instar de Trevelyan (2007), plaident ainsi en faveur d’une amélioration des pratiques de formation dans le but de mieux outiller les nouveaux diplômés sur le plan des interactions sociales qui caractérisent leur travail de conception. Mais alors, quels savoirs introduire en formation afin d’aider les ingénieurs débutants à faire la transition entre le monde étudiant et leur profession ? Pour répondre à cette question et, par le fait même, tenter d’élucider en partie le caractère énigmatique du travail de conception en ingénierie, nous proposons de mener une analyse ergonomique de ce dernier auprès d’ingénieurs nouvellement diplômés.

Travail de conception d’ingénieurs nouvellement diplômés sous l’éclairage de l’ergonomie

Dérivée du grec *ergon* (travail) et *nomos* (règle) pour signifier la science du travail, l’ergonomie est une discipline qui s’applique aujourd’hui à tous les aspects de l’activité humaine (Falzon, 2004). Son principal apport réside « dans l’élaboration de connaissances, mais aussi dans l’utilisation et le développement de méthodes visant à mieux comprendre et à anticiper les principales caractéristiques de l’activité de travail » (St-Vincent, Vézina, Bellemare, Denis, Ledoux et Imbeau, 2011, p. 30). L’ergonomie s’est développée selon deux principaux courants :

⁸ Traduction libre de : « *Engineering education only provides limited informal coordination skill development* ».

⁹ Traduction libre de : « *For example, communication skills could be interpreted as the ability to make technical presentations. However, a visually attractive PowerPoint™ will probably not be very helpful in arranging well-timed concrete deliveries at a construction site* ».

1) l'ergonomie du facteur humain, aussi appelée ergonomie des composants humains (*human engineering* ou *human factor*) et 2) l'ergonomie de langue française, aussi appelée ergonomie centrée sur l'activité (Lamonde et Beaufort, 2000 ; Laville, 2004 ; Yvon et Saussez, 2010). Dans cette dernière, le travail est considéré comme une réalité complexe, qui articule deux grands concepts : celui de tâche et celui d'activité (Guérin, Laville, Daniellou, Duraffourg et Kerguelen, 2007). Pour la suite de nos travaux, c'est le courant de l'ergonomie de langue française que nous retenons, puisqu'il est reconnu pour être utilisé dans le développement d'outils et de dispositifs de formation (Lussi Borer, Durand et Yvon, 2015 ; Ouellet, 2013).

Ergonomie de langue française : les concepts de tâche et d'activité

Dans l'ergonomie de langue française, la tâche n'est pas le travail, mais ce qui est prescrit par une entreprise ou une organisation à un opérateur (travailleur). L'activité, quant à elle, désigne ce qui est fait, c'est-à-dire « les processus par lesquels les opérateurs réalisent concrètement leur travail » (Lamonde et Beaufort, 2000, p. 8). Selon Guérin *et al.* (2007), l'écart qui existe entre le travail prescrit (la tâche) et le travail réel (l'activité) est au cœur de tout acte de travail. Il est la manifestation d'une contradiction entre ce qui est demandé à un opérateur et ce que ça exige de lui pour réaliser son travail. Dans cette optique, l'analyse ergonomique de langue française a toujours la question de départ suivante :

Comment cet opérateur ayant des caractéristiques personnelles particulières s'y prend-il pour atteindre les objectifs qu'il se fixe en fonction de la tâche qui lui a été confiée, et ceci dans des conditions qui, pour être déterminées, n'en sont pas moins l'objet d'une gestion et d'une appropriation personnelle ? (Guérin *et al.*, 2007, p. 39)

En posant cette question, l'analyse ergonomique de langue française vise à mettre en lumière la façon dont les travailleurs redéfinissent les buts et les conditions fixées à l'exécution d'une tâche pour faire ce qui leur est demandé (Leplat, 2000). Employée aux fins de l'étude de l'activité de conception en ingénierie, une telle analyse peut, par exemple, chercher à rendre visible les savoirs informels — c'est-à-dire acquis sur le tas et par l'expérience — qui sont prépondérants dans l'organisation du travail à laquelle des ingénieurs nouvellement diplômés procèdent et les opérations qu'ils effectuent pour organiser et coordonner le travail d'autrui. De tels savoirs peuvent ensuite être réinvestis par le biais des outils ou dispositifs de formation dans le but de former des professionnels (Lussi Borer *et al.*, 2015; Ouellet, 2013).

Apports potentiels de l'analyse ergonomique du travail de conception d'ingénieurs nouvellement diplômés dans une visée de formation

En se fondant sur la prémisse selon laquelle il existe toujours un écart entre la tâche et le déploiement de l'activité, l'analyse ergonomique permet de documenter cet écart et, conséquemment, les aspects d'un travail qui autrement resteraient inaccessibles (Lamonde et Beaufort, 2000 ; St-Vincent *et al.*, 2011). La question de recherche au cœur de notre projet doctoral est donc la suivante : en quoi consiste l'activité d'un ingénieur nouvellement diplômé lorsqu'il est engagé dans un travail de conception ? À l'aide d'un appareillage théorique et méthodologique relevant de l'analyse ergonomique de langue française, nous souhaitons, par

cette question de recherche, rendre visibles les stratégies opératoires mises en œuvre par des ingénieurs nouvellement diplômés pour mener à bien les tâches de conception qui leur sont confiées. Ce faisant, nous cherchons à comprendre le travail de conception tel qu'il s'effectue concrètement et les savoirs qu'il nécessite de mobiliser en vue d'en faire une ressource pour des fins d'apprentissage et de développement en formation initiale (Durand, 2009 ; Lussi Borer, Muller, Ria, Saussez et Vidal-Gomel, 2014 ; Lussi Borer *et al.*, 2015 ; Saussez, 2014).

Conclusion

À l'issue de cet article, nous retenons que le travail de conception en ingénierie met en exergue une dimension sociale importante en raison des rapports de délégation de tâches qui le caractérisent. En effet, à travers leur travail de conception et de coordination technique, les ingénieurs sont eux-mêmes les organisateurs du travail d'autrui, et ce, sans nécessairement agir au nom d'une autorité formelle. Cet éclairage souligne, d'une part, l'importance de leurs habiletés sociales et, d'autre part, leur capacité à inscrire leur travail de façon à formuler des prescriptions à d'autres personnes dont leur travail dépend. Or, selon Bucciarelli (1994) et Bucciarelli et Kuhn (1997), les savoirs mobilisés dans le travail de conception en ingénierie sont très différents de ceux enseignés dans la formation initiale. Williams et Figueiredo (2014) renchérissent sur ce point en affirmant que les étudiants ne sont généralement pas formés aux compétences sociales et communicationnelles, de même qu'aux capacités de jugement auxquelles ils devront faire face dès le début de leur pratique professionnelle. En nous inscrivant dans l'analyse ergonomique de langue française et en mobilisant un appareillage théorique et méthodologique relevant de ce courant, nous cherchons à rendre intelligible l'activité de conception d'ingénieurs nouvellement diplômés. Nous souhaitons ainsi mettre au jour les savoirs informels qu'ils mobilisent au sein d'un réseau complexe d'interdépendances pour mener à bien les tâches de conception qui leur sont confiées. Ce faisant, nous aspirons notamment à proposer de nouvelles bases pour ancrer la formation initiale des futurs ingénieurs sur des préoccupations professionnelles.

Références

- Accreditation Board for Engineering and Technology (2017). *Glossary*. Récupéré de <http://www.abet.org/network-of-experts/for-current-abet-experts/training/glossary/>
- Anderson, K. J. B., Courter, S. S., McGlamery, T., Nathans-Kelly, T. et Nicometo, C. G. (2010). Understanding engineering work and identity: A cross-case analysis of engineers within six firms. *Engineering Studies*, 2(3), 153–174.
- Atman, C. J., Eris, O., McDonnell, J., Cardella, M. E. et Borgford-Parnell, J. L. (2014). Engineering design education: research, practice, and examples that link the two. Dans A. Johri et B. M. Olds (dir.), *Cambridge handbook of engineering education research* (p. 201–225). New York, NY: Cambridge University Press.
- Barley, S. R. (2004). What we know (and mostly don't know) about technical work. Dans S. Ackroyd, R. Batt, P. Thompson et P. S. Tolbert (dir.), *The Oxford handbook of work and organization* (p. 376–408). Oxford, Angleterre : Oxford University Press.

- Bucciarelli, L. (1988). An ethnographic perspective on engineering design. *Design Studies*, 9(3), 59–68.
- Bucciarelli, L. (1994). *Designing engineers*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Bucciarelli, L. et Kuhn, S. (1997). Engineering education and engineering practice: improving the fit. Dans Barley, S. R. et Orr, J. E. (dir.), *Between craft and science: Technical work in U.S. settings* (p. 210–229). Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Bureau canadien d'agrément des programmes de génie (2016). *Normes et procédures d'agrément 2016*. Récupéré de : <https://engineerscanada.ca/sites/default/files/accreditation-criteria-procedures-2016-final.pdf>
- Cross, N. (1984). *Developments in design methodology*. Chichester, Royaume-Uni : John Wiley & Sons.
- Durand, M. (2009). Analyse du travail dans une visée de formation : cadres théoriques, méthodes et conceptions. Dans J.-M. Barbier (dir.), *Encyclopédie de la formation* (p. 827-856). Paris : Presses universitaires de France.
- Dutson, A. J., Todd, R. H., Magleby, S. P. et Sorensen, C. D. (1997). A review of literature on teaching engineering design through project-oriented capstone courses. *Journal of Engineering Education*, 86(1), 17–28.
- Dym, C., Agogino, A., Eris, O., Frey, D. et Leifer, L. (2005). Engineering design thinking, teaching, and learning. *Journal of Engineering Education*, 94(1), 103–120.
- Dym, C. L., Little, P., Orwin E. J. et Spjut, E. R. (2009). *Engineering design: A project-based approach* (3^e éd.). Hoboken, NJ: Wiley.
- Edwards, N. S. et Middleton, J. C. R. (2001). Occupational socialisation—A new model of the engineer's formation. *Proceedings of the International Conference on Engineering Education*. Récupéré de : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.3.3862>
- Eide, A. R., Jenison, R. D., Mashaw, L. H. et Northup, L. L. (2002). *Introduction to engineering design and problem-solving* (2^e éd.). New York, NY: McGraw Hill Higher Education.
- Falzon, P. (2004). Nature, objectifs et connaissances de l'ergonomie : éléments d'une analyse cognitive de la pratique. Dans P. Falzon (dir.), *Ergonomie* (p. 17-35). Paris : Presses Universitaires de France.
- Galloway, P. D. (2008). *The 21st-century engineer: A proposal for engineering education reform*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Guérin, F., Laville, A., Daniellou, F., Duraffourg, J. et Kerguelen, A. (2007). *Comprendre le travail pour le transformer : la pratique de l'ergonomie*. Lyon, France : ANACT.
- Howe, S. (2010). Where are we now? Statistics on capstone courses nationwide. *Advances in Engineering Education*, 2(1), 1–27.
- Howe, S., Rosenbauer, L. et Poulos, S. (2016a). 2015 Capstone design survey. Initial results. *Proceedings of the American Society for Engineering Education 123rd Annual Conference & Exposition*. Récupéré de : <http://www.capstoneconf.org/resources/2016%20Proceedings/Papers/0028b.pdf>

- Howe, S., Rosenbauer, L. et Poulos, S. (2016b). The 2015 capstone design survey: observations from the front lines. *Proceedings of the American Society for Engineering Education 123rd Annual Conference & Exposition*. Récupéré de : <https://www.asee.org/public/conferences/64/papers/14901/view>
- Howe, S. et Wilbarger, J. (2006). 2005 National survey of engineering capstone design. *Proceedings of the American Society for Engineering Education 113rd Annual Conference & Exposition*. Récupéré de : <https://peer.asee.org/2005-national-survey-of-engineering-capstone-design-courses>
- International Engineering Alliance (2014). *25 years of the Washington Accord*. Récupéré de : <http://www.ieagrements.org/assets/Uploads/Documents/History/25YearsWashingtonAccord-A5booklet-FINAL.pdf>
- Jonassen, D. H. (2014). Engineers as problem solvers. Dans A. Johri et B. M. Olds (dir.), *Cambridge handbook of engineering education research* (p. 103-118). New York, NY: Cambridge University Press.
- Jonassen, D. H., Strobel, J. et Lee, C. B. (2006). Everyday problem solving in engineering: Lessons for engineers' educators. *Journal of Engineering Education*, 95(2), 1–14.
- Kolmos, A. et De Graaff, E. (2014). Problem-based and project-based learning in engineering education: merging models. Dans A. Johri et B. M. Olds (dir.), *Cambridge handbook of engineering education research* (p. 141–160). New York, NY: Cambridge University Press.
- Korte, R., Sheppard, S. et Jordan, W. (2008). A qualitative study of the early work experiences of recent graduates in engineering. *Proceedings of the American Society for Engineering Education 116th Annual Conference & Exposition*. Récupéré de : <https://peer.asee.org/a-qualitative-study-of—the-early-work-experiences-of-recent-graduates-in-engineering.pdf>
- Lamonde, F. et Beaufort, P. (2000). *L'intervention ergonomique : un regard sur la pratique professionnel*. Toulouse, France : Octarès.
- Laville, A. (2004). Repères pour une histoire de l'ergonomie francophone. Dans P. Falzon (dir.), *Ergonomie* (p. 37-50). Paris : Presses Universitaires de France.
- Leplat, J. (2000). *L'analyse psychologique de l'activité en ergonomie : aperçu sur son évolution, ses modèles et ses méthodes*. Toulouse, France : Octarès.
- Litzinger, T. A., Lattuca, L. R., Hadgraft, R. G. et Newstetter, W. C. (2011). Engineering education and the development of expertise. *Journal of Engineering Education*, 100(1), 123–150.
- Lussi Borer, V., Durand, M. et Yvon, F. (2015). *Analyse du travail et formation dans les métiers de l'éducation*. Louvain-la-Neuve, Belgique : De Boeck Supérieur.
- Lussi Borer, V., Muller, A., Ria, L., Saussez, F. et Vidal-Gomel, C. (2014). Introduction au dossier « Conception d'environnements de formation : une entrée par l'analyse de l'activité ». *Activités*, 11(2), 72-75.
- Martin, R., Maytham, B., Case, J. et Fraser, D. (2005). Engineering graduates' perceptions of how well they were prepared for work in industry. *European Journal of Engineering Education*, 30(2), 167–180.

- National Academy of Engineering. (2005). *Educating the engineer of 2020: Adapting engineering education to the new century*. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Ouellet, S. (2013). Contribution de l'ergonomie à la conception d'un outil de formation. *Activités*, 10(2), 3-19.
- Pilon, C. et Charron, F. (accepté). Formation à la conception en ingénierie : le projet de fin d'études dans les programmes de 1^{er} cycle en génie mécanique au Québec. Dans A. Hasni, F. Bousadra et J. Lebeaume (dir.), *Les démarches d'investigation scientifique et de conception technologique : regards croisés sur les curriculums et les pratiques en France et au Québec*. Montréal, Québec : Groupéditions.
- Pugh, S. (1990). *Total design: integrated methods for successful product engineering*. Wokingham, Angleterre : Addison-Wesley.
- Saussez, F. (2014). Une entrée activité dans la conception d'environnements de formation pour sortir d'une vision fonctionnaliste de la formation, un essai de conclusion. *Activités*, 11(2), 188-200.
- Sheppard, S. D., Macatangay, K., Colby, A. et Sullivan, W. M. (2008). *Educating engineers: designing for the future of the field*. San Francisco, CA: Jossey—Bass.
- Stevens, R., Johri, A. et O'Connor, K. (2014). Professional engineering work. Dans A. Johri et B. M. Olds (dir.), *Cambridge handbook of engineering education research* (p. 119–137). New York, NY: Cambridge University Press.
- St-Vincent, M., Vézina, N., Bellemare, M., Denis, D., Ledoux, E. et Imbaeu. (2011). *L'intervention en ergonomie*. Montréal, Québec : Éditions MultiMondes.
- Todd, R. H., Magleby, S. P., Sorensen, C. D., Swan, B. R. et Anthony, D. K. (1995). A survey of capstone engineering courses in North America. *Journal of Engineering Education*, 84(2), 165–174.
- Trevelyan, J. P. (2007). Technical coordination in engineering practice. *Journal of Engineering Education*, 96(3), 191–204.
- Trevelyan, J. P. (2009). Engineering education requires a better model of engineering practice. *Proceedings of the Research in Engineering Education Symposium*. Récupéré de : <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download;jsessionid=90974F040D7A9B6%208783ACD3AAF2FACD9?doi=10.1.1.557.6218&rep=rep1&type=pdf>
- Trevelyan, J. P. (2010). Reconstructing engineering from practice. *Engineering Studies*, 2(3), 175–196.
- Trevelyan, J. P. et Tilli, S. (2007). Published research on engineering work. *Journal of Professional Issues in Engineering Education and Practice*, 133(4), 300— 307.
- Vincenti, W. (1990). *What engineers know and how they know it: Analytical studies from aeronautical history*. Baltimore, MD: The Johns Hopkins University Press.

- Vinck, D. (1999). La complexité sociotechnique : le cas de la reconception d'une paroi de blindage. Dans D. Vinck (dir.), *Ingénieurs au quotidien : ethnographie de l'activité de conception et d'innovation* (p. 19-31). Grenoble, France : Presses Universitaires de Grenoble.
- Vinck, D. (2003). *Everyday engineering: An ethnography of design and innovation*. Cambridge, MA : The MIT Press.
- Vinck, D. (2014). Pratiques d'ingénierie. Les savoir de l'action. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 8(2), 225-243.
- Visser, W., Darses, F. et Détienne, F. (2004). Approches théoriques pour une ergonomie cognitive de la conception. Dans J.-M. Hoc et F. Darses (dir.), *Psychologie ergonomique : tendances actuelles* (p. 97-118). Paris : Presses Universitaires de France.
- Williams, B. et Figueiredo, J. (2014). L'ingénierie hétérogène portugaise. *Revue d'anthropologie des connaissances*, 8(2), 279-306.
- Yvon, F. et Saussez, F. (2010). *Analyser l'activité enseignante : des outils méthodologiques et théoriques pour l'intervention et la formation*. Québec, Québec : Les Presses de l'Université Laval.