À LA FRONTIERE DES INSTITUTIONS :

QUELLES MATHEMATIQUES PAR ET POUR LES INGENIEURS ?

QUÉRÉ* Pierre-Vincent

Résumé – Nous nous intéressons à la formation en mathématiques des ingénieurs en France ainsi qu'à l'utilisation des mathématiques sur leur lieu de travail. Nous mobilisons la théorie anthropologique du didactique pour analyser des entretiens menés auprès d'ingénieurs. Nous relevons les praxéologies mathématiques dans les deux institutions (formation et lieu de travail) et montrons que même si des liens entre elles semblent manquer, les bases et le raisonnement mathématiques enseignés sont un réel besoin.

Mots-clefs : mathématiques dans la formation des ingénieurs, mathématiques sur le lieu de travail, théorie anthropologique du didactique, praxéologies mathématiques

Abstract – This paper deals with the mathematic training of French engineers and their effective use of mathematics in the workplace. We use the anthropological theory of didactics to analyze interviews with engineers. We identify mathematical praxeologies in both institutions (initial training and workplace) and show that even if it seems to exist a lack of connections between them, both mathematical basics and reasoning taught are a real need.

Keywords: mathematics in engineers' training, mathematics in the workplace, anthropological theory of the didactic, mathematical praxeologies

Cet article concerne la formation en mathématiques des ingénieurs en France ainsi que l'utilisation effective des mathématiques sur leur lieu de travail. Après une présentation de la thématique et du contexte de la recherche internationale à ce sujet, nous justifions l'utilisation de notre cadre théorique qui nous permet de poser nos questions de recherche. L'exposé du guide des entretiens menés auprès d'ingénieurs puis de notre méthodologie nous conduit alors à l'analyse de ceux-ci. Notre travail consiste à présenter l'utilisation des mathématiques dans les institutions de formation et les institutions de travail des ingénieurs avec lesquels nous nous sommes entretenus avant de conclure en mettant en perspective les usages des mathématiques rencontrés.

I. PRESENTATION DE LA THEMATIQUE

1. La formation des ingénieurs en France

Historiquement, c'est dans le domaine militaire que les premières formations d'ingénierie ont vu le jour au XVIème siècle en France. Aujourd'hui, les spécialités sont diverses et le diplôme d'ingénieur est un diplôme en 5 ans après le baccalauréat, délivré par l'une des 210 écoles relevant de la Commission du Titre de l'Ingénieur (CTI) créée en 1934. D'après l'enquête IESF (2015) qui sert ici de référence, environ 764.000 ingénieurs de moins de 65 ans étaient en activité dans le monde en 2015 (notre enquête auprès des ingénieurs datant de 2016, c'est l'année 2015 qui nous sert ici de référence).

Après le bac et avant leur spécialisation dans le Cycle Ingénieur, les étudiants suivent 2 ans de Cycle Préparatoire. D'après la même enquête, les Classes Préparatoires aux Grandes Écoles (CPGE, dans les lycées) en représentaient 50% en 2015, les Cycles Préparatoires Intégrés 25% (CPI, localisés dans les écoles d'ingénieurs elles-mêmes) et les autres – IUT (Instituts Universitaires et Technologiques), BTS (Brevets de Techniciens supérieurs), Université – 25%.

* CREAD, UBL – France – pierre-vincent.quere@ac-rennes.fr

Il existe d'autres formations menant à des métiers d'ingénierie, mais nous nous intéressons ici spécifiquement à la préparation du diplôme d'ingénieur.

2. Les travaux engagés sur ce thème

Le thème de la formation en mathématiques des ingénieurs et l'utilisation des mathématiques par ceux-ci donne lieu depuis la fin des années 1990 à de nombreuses recherches internationales utilisant des cadres théoriques et des angles de vues variés : théorie de l'activité, *boundary crossing and objects*, influence de la technologie sur la visibilité des mathématiques au travail, etc. Bakker (2014) en fait un tour d'horizon et nous citons ici rapidement quelques-unes des références qui servent de substrat à nos travaux.

Cherchant à comprendre pourquoi les employeurs anglais constatent un déclin des capacités mathématiques des ingénieurs, Ridgway (2002) a enquêté sur les besoins des ingénieurs sur leur lieu de travail ("*in the workplace*"). Il a conclu que le haut niveau de compétences mathématiques exigées pendant la formation des ingénieurs demeure nécessaire sur leur lieu de travail, contrairement à l'acquisition des techniques mathématiques. Kent et Noss (2002), s'intéressent aux relations établies entre "faire" et "comprendre" les mathématiques pour un ingénieur anglais. Ils concluent que "l'équilibre entre les compétences analytiques explicites et l'appréciation "qualitative" des modèles mathématiques s'inverse dès que la technologie mathématique devient de plus en plus omniprésente" (p. 5). Hochmuth, Biehler, et Schreiber (2014), relèvent la difficulté que représente pour les étudiants le passage entre les mathématiques enseignées en amont et pendant un cours d'ingénierie en analyse de signaux en Allemagne : dans un premier temps, les contenus mathématiques sont présentés de manière plus ou moins théorique et générale, alors que dans la seconde phase d'enseignement (dans les cours d’ingénierie), les concepts sont souvent nouveaux et les mathématiques sont plus appliquées. Enfin, van der Wal, Bakker et Drijvers (2017) mettent au jour sept compétences techno-mathématiques essentielles pour les futurs ingénieurs aux Pays-Bas : gestion de données, utilisation de logiciels, capacités de communication, sens de l'erreur, sens du nombre, compétences de techniques créatives et enfin graphiques.

En France, ce domaine est relativement naissant et nous nous plaçons dans la lignée des travaux de Romo-Vázquez (2009). Selon ses observations, bien que les ingénieurs aient naturellement des besoins de mathématiques avancées, ils ont aussi des besoins de type plus élémentaires (relevant alors de l'enseignement secondaire). Elle met également en évidence la grande complexité à projeter le monde de la pratique dans l’institution de formation. Ses recherches sont basées sur le même cadre théorique que celui de notre étude. Nous présentons celui-ci dans la section suivante.

3. Le cadre de la Théorie Anthropologique du Didactique (TAD)

Les ingénieurs français reçoivent une formation scientifique de haut niveau et les besoins mathématiques semblent s'accroître dans de nombreux secteurs d'activité (Martin-Deschamps & Le Tallec, 2002). C'est pourquoi le cadre de la Théorie Anthropologique du Didactique (Chevallard, 2017) nous semble adapté pour nos observations, grâce notamment au modèle des praxéologies qui permet de modéliser toute activité humaine, ici l'activité mathématique, au regard de l'institution dans laquelle elle se déroule.

Une praxéologie est un ensemble formé de deux blocs :

- le bloc practico-technique $\prod$ formé de deux éléments : le type de tâche T, et la technique associée τ. Ce bloc aussi appelé "praxis" peut-être assimilé à un savoir-faire.

- bloc technologico-théorique Λ formé également de deux éléments : la technologie θ et la théorie Θ. Il faut entendre technologie au sens de "discours rationnel justifiant l'utilisation d'une technique" et théorie au sens de "discours rationnel justifiant l'utilisation d'une technologie". Ce bloc aussi appelé le "logos" peut-être assimilé à un discours raisonné.

Nous appellerons "praxéologie mathématique" toute praxéologie dans laquelle les mathématiques interviennent dans au moins l'une des quatre composantes.

4. *Questions de recherche*

Les questions de recherche que nous formulons ici s'appuient sur notre cadre théorique : (1) Quelles sont les praxéologies mathématiques rencontrées par les ingénieurs sur leur lieu de travail ? (2) Quelles praxéologies ces ingénieurs ont-ils rencontrées dans leur formation initiale ? (3) Les praxéologies sont-elles différentes dans ces deux institutions, et si oui, en quoi diffèrent-elles ?

5. *Le guide des entretiens*

L'enquête sur laquelle nous basons nos analyses s'est déroulée en deux volets : un questionnaire suivi d'entretiens. Tout d'abord, nous avons diffusé un questionnaire en ligne et anonyme sur les listes d'anciens élèves de plusieurs écoles d'ingénieurs, dont nous ne détaillerons pas les questions ni les réponses ici. Celui-ci a apporté une vue globale sur la formation et les besoins en mathématique des ingénieurs, mais il n'a pas permis d'accéder aux praxéologies. C'est pourquoi nous avons réalisé des entretiens avec six volontaires ayant répondu au questionnaire.

Pour ces entretiens semi-ouverts, nous avons mis en place un guide en quatre parties :

- La partie 1 permet de présenter le métier actuel des ingénieurs interrogés et de capter leur regard sur la formation de mathématique reçue en Cycle Préparatoire et en Cycle Ingénieur vis-à-vis de l'expérience professionnelle qu'ils ont vécue.
- Dans la partie 2, nous leur avons demandé de proposer un hypothétique enseignement en formation initiale pour préparer au mieux à leur métier actuel : contenus proposés, méthodes, etc.
- La partie 3 du guide concerne le point de vue des ingénieurs rencontrés sur l'autonomie à l’universitçe et leur retour d'expérience à ce sujet. Nous leur avons demandé l'importance que revêt l'autonomie à leurs yeux dans l’enseignement supérieur. Nous leur avons également demandé, au regard de leur propre expérience, s’ils avaient des recommandations ou des propositions à faire, si nécessaire, afin de favoriser son développement dans la formation initiale des étudiants.
- La partie 4 permet de préciser les dispositifs utilisés ainsi que les ressources et l'emploi de ces ressources dans une éventuelle formation continue suivie ou en auto-formation en mathématiques.

Dans cet article, nous utiliserons les données des parties 1, 2 et 4 uniquement. La partie 3 est en effet liée à la problématique de l’autonomie sur laquelle nous avons souhaité échanger à l’occasion de ces entretiens. Nous n’établirons pas ici de lien entre autonomie et praxéologies.

Les résultats que nous présentons dans la suite complètent ceux présentés dans Quéré (2017). Pour choisir nos participants aux entretiens, nous nous sommes intéressés à différentes variables repérées dans le questionaire : âge, Cycle Préparatoire suivi, spécialité du diplôme obtenu, métier au moment de l'entretien, régularité du besoin mathématique (échelle de 1 à 5), qualité de la formation mathématique en cycle ingénieur (échelle de 1 à 5). Nous résumons ces caractéristiques dans le tableau 1.

Pseudonyme	**Jean**	**Pierre**	**Georges**	**Mathieu**	**William**	**Alice**
Âge	25 ans	27 ans	35 ans	29 ans	35 ans	30 ans
Cycle Préparatoire	CPGE	IUT	CPGE	Université	CPGE	CPGE
Diplôme	Informatique	Informatique	Matériaux	Chimie	Electricité	Matériaux
Métier actuel	Ingénieur de Recherche	Ingénieur en Sécurité Informatique	Consultant	Ingénieur Contrôle Procédés	Entrepreneur	Ingénieur Développe-ment
Besoin régulier de mathématique	5/5	4/5	2/5	5/5	4/5	4/5
Qualité formation en mathématique	3/5	4/5	3/5	N/D	3/5	3/5

Tableau 1 *- Caractéristiques des ingénieurs ayant participé aux entretiens*

Remarquons par exemple dans ce tableau le cas de Mathieu qui a suivi un Cycle Préparatoire à l'Université, qui n'a pas reçu de formation de mathématiques en Cycle Ingénieur, mais qui déclare avoir un besoin très régulier de mathématiques dans son métier.

II. QUELLES MATHEMATIQUES PAR ET POUR LES INGENIEURS ? ANALYSE DES ENTRETIENS

Dans les paragraphes suivants, nous analysons les parties 1 ("Métier et regard sur la formation") et 4 ("Formation continue et auto-formation") en termes de praxéologies rencontrées sur le lieu de travail (selon les ingénieurs interrogés). Nous regroupons nos analyses en fonction de thèmes qui sont ressortis comme étant essentiels.

1. Méthodologie de l'analyse

Nous proposons ici des tableaux praxéologiques que nous construisons à partir d’extraits des entretiens ou d'échanges écrits postérieurs aux entretiens.

La première entrée est le type de tâche T et c'est aussi le point de départ de la description faite par les ingénieurs de leur utilisation des mathématiques. Il nous a ensuite fallu repérer les autres composantes des praxéologies. Selon les formulations choisies dans les entretiens, il est parfois délicat de distinguer entre un discours décrivant une technique τ et un discours justifiant celle-ci, c’est-à-dire une technologie θ. Lorsque ce cas se présente nous expliquons le choix que nous avons effectué. De même, lorsqu'une case est vide, cela ne signifie pas que la composante en question n'est pas effectivement présente, mais cela signifie qu'elle n'a simplement pas été mentionnée par l'ingénieur concerné.

Notons que nous n'avons pas relevé d'usage de la théorie Θ pour justifier les technologies θ parfois présentées. La justification que nous pouvons émettre sous forme d'hypothèse est que l'usage des mathématiques est, pour les ingénieurs rencontrés, purement pratique et que le niveau de discours technologique suffit.

2. L'importance des bases mathématiques

Lors de nos entretiens d'une durée d'environ une heure chacun, le mot "bases" a été utilisé par les six ingénieurs sans exception et ce, environ 40 fois au total entre tous, sous des formes diverses : "bases d'algèbre linéaire", "bases d'analyse" ou "bases de probabilités-statistiques". Dans les déclarations des ingénieurs, nous avons observé que, lorsque les techniques ne sont pas précisées, les références à ces “bases” se situaient au niveau des technologies : un discours expliquant les techniques qu’ils utilisent (sans dire lesquelles). Sans être nommées "bases", elles peuvent également apparaître mais elles sont alors présentées par les ingénieurs interviewés comme des outils à leur disposition (par exemple, le calcul d'intégrales) ; nous résumons notre analyse dans le tableau 2 ci-dessous (entre parenthèse, l'initiale de leur prénom). Comme dans le reste de nos tableaux praxéologiques à suivre, nous n'indiquons que les cas les plus significatifs. Ici, il s'agit des cas dans lesquels l'utilisation de "bases" a été illustrée clairement et non pas simplement énoncé.

Type de tâche *T*	**Technique τ**	**Technologie θ**
Construire des modèles de simulation des procédés (dynamique des fluides, thermodynamique) ou des processus chimiques (M)	méthode des trapèzes, méthodes itératives (suites)	Calcul d'intégrales
Contrôler la qualité de la production (M)		Outils statistiques de base
Calculer le volume de différentes capacités ou équipements (M)		Géométrie de base
Modéliser le vieillissement de matériaux (A)	Résoudre des équations	Calcul d'intégrales, fonctions de plusieurs variables
Etudier le comportement vibratoire des rétroviseurs (A)		Bases de trigonométrie, d'intégration et d'analyse de Fourier
Elaborer un devis, chiffrer un projet (P)		Arithmétique basique

***Tableau 2** - Utilisation de bases mathématiques dans les praxéologies professionnelles*

Notons que les institutions dans lesquelles ces praxéologies sont majoritairement enseignées sont le Cycle Préparatoire, voire le Lycée (pour des formes simples de calcul intégral, par exemple).

3. Le statut de la logique, du raisonnement et de la rigueur

La deuxième observation que nous faisons dans l'analyse de nos entretiens est la position centrale qu'occupent la logique, le raisonnement et la rigueur mathématique. Nous regroupons dans le tableau 3 ci-dessous les praxéologies auxquelles nos ingénieurs se réfèrent à ce propos. Pour essayer d'expliquer ce que nous avons fait, dans la première ligne, nous partons d'une citation de William (lignes 1 et 2 du tableau 3), dont le contenu a été également énoncé par Alice en des termes très similaires (ligne 3 du tableau 3).

> C’est cette manière de raisonner qui m’a servi après. Plus que les résultats eux-mêmes, que les concepts eux-mêmes. C’est poser les hypothèses, réfléchir à un angle d’attaque d’un problème, c’est aboutir à un résultat, valider les résultats par d’autres angles pour recouper l’information. (...) C’est la démarche et la rigueur que j’ai pu apprendre en prépa qui m’ont toujours servi et qui me servent toujours aujourd’hui.

Type de tâche *T*	Technique τ	Technologie θ
Aborder un problème (W)	Accorder de l'importance aux hypothèses	C'est la manière de raisonner qui sert pour résoudre un problème
Résoudre un problème du début à la fin (W)	Réfléchir à un angle d'attaque, aboutir à un résultat et le valider	Il faut adopter une démarche rigoureuse pour résoudre un problème
Montrer qu'une propriété est vraie (A)	Utiliser la contraposée	

Tableau 3 *- Utilisation logique, du raisonnement et de la rigueur dans les praxéologies professionnelles*

L'analyse que nous pouvons effectuer au regard de ces descriptions est que logique et raisonnement rigoureux sont du côté de la technologie, en tant que discours justifiant l'utilisation de ces "techniques" de raisonnement. Ce discours peut être accompagné de connaissances de base pour pouvoir justifier l'utilisation de ladite technique.

D'après tous nos entretiens, il semble que les ingénieurs français rencontrent essentiellement ces praxéologies dans leur formation en Cycle Préparatoire.

4. Le cas de l'approfondissement de la preuve

La rigueur qu'apportent les mathématiques dans la résolution de problèmes au quotidien et décrite par certains (comme William, qui souligne l'importance des hypothèses) est apprise principalement en Cycle Préparatoire dans les démonstrations.

Pendant son entretien, Jean, ingénieur de recherche en développement de logiciels audio nous parle lui de son utilisation des preuves de théorèmes sous une forme différente :

> Je dois à la fois appliquer les théorèmes, mais aussi essayer de trouver des façons plus intelligentes de les utiliser, là je suis obligé de m'intéresser à la démonstration, et c'est ce qui fera la différence entre nous et un concurrent parce que les résultats tout le monde les a, mais par contre si jamais nous on arrive à les formuler d'une façon à ce que, par exemple (je vous donne un exemple sur un effet audio) le musicien ait un retour en moins de 6 millisecondes, alors que tous les autres concurrents ont une latence de 20 ms, nous ce qui fait qu'on peut avoir moins c'est parce qu'on est allé chercher dans les maths, voir comment on pouvait découper ça, et c'est ce qui fait la différence fondamentalement. Après l'effet sonnera exactement pareil. Finalement moi ce qui m'est le plus utile c'est toute la méthodologie acquise de démonstration lors de mes classes préparatoires.

Pour continuer notre analyse sous forme de tableaux praxéologiques, nous proposons de résumer cette citation dans le tableau 4 :

Type de tâche *T*	Technique τ	Technologie θ
Réduire la latence (J)	Trouver dans la preuve des théorèmes associés à la latence les paramètres qui améliorent les caractéristiques du logiciel développé	

Tableau 4 *- L'utilisation d'une preuve mathématique comme support technique*

Ici, même si la technologie n'est pas précisée, nous pouvons conjecturer qu'il s'agit de la "compréhension précise des fondements de la théorie mathématique" correspondante.

5. La place des statistiques

Les données que nous avons obtenues à propos des statistiques corroborent les résultats du questionnaire (Quéré, 2017) montrant que c'est le contenu de la formation en Cycle Ingénieur qui est le plus utile dans le milieu du travail. Nous détaillons l'analyse des données prélevées lors des entretiens dans le tableau 5 :

Type de tâche *T*	**Technique τ**	**Technologie θ**
Modéliser (comportement vibratoire, vieillissement de matériaux) (A) Prédire le comportement (A)	Régression Plans d'expérience Analyses de cluster	
Modélisation du risque de crédit des entreprises (G)	Régressions (linéaire, logistique) Statistiques descriptives	Statistiques (de base)
Rappeler aux clients ce que représente un écart-type ou la différence entre moyenne et médiane (M)		Statistiques (de base)

Tableau 5 *- Analyse des praxéologies professionnelles en statistiques*

Ici, lorsque la technologie θ n'est pas précisée, nous pouvons émettre l'hypothèse qu'elle est réellement absente car trop spécialisée. En effet, du fait que certaines techniques soient assez pointues, il n'y a pas d'enseignement auxquels les ingénieurs en poste peuvent se référer dans l'institution classique que représente le Cycle Ingénieur. C'est à cette occasion qu'entre en jeu par exemple l'auto-formation (comme Alice pour les différents types de régressions), ou la formation entre pairs (collègues ou via des forums).

Par ailleurs, nous retrouvons ici les statistiques "de base" qui sont apprises en Cycle Ingénieur et qui présentent pour nos ingénieurs un vrai atout de la formation puisqu'il n'y a pas d'enseignement de Statistique en Cycle Préparatoire.

6. Contenus et apprentissages particuliers

Certains métiers ont une forte composante mathématique, comme par exemple celui de Jean. Dans ce cas, il existe un certain nombre de techniques non enseignées par les institutions de formation initiale et qui sont apprises par des moyens d'auto-formation ou de formation continue (il cite l'utilisation des brochures des fabricants de processeurs, mais n'évoque pas les technologies éventuellement présentes dans ces brochures). Il arrive également que le Cycle Ingénieur apporte la technologie nécessaire dans des cas précis (par exemple, défis de décryptage). Dans le tableau 6, nous précisons quelques praxéologies mentionnées :

Type de tâche T	**Technique τ**	**Technologie θ**
Design d'un filtre audio (J)	Factorisations matricielles particulières (QR, Schur)	
Analyser les données entrées par l'utilisateur / Prédire des actions de l'utilisateur / Optimiser (J & A)	Régressions de tous types (polynomiales, linéaire, auto-régression, ...)	
Casser un code (P)		Résultats de cryptographie

Tableau 6 *- Analyse praxéologique pour des contenus et apprentissages particuliers*

III. CONCLUSION – DISCUSSION

Nous allons tout d'abord revenir sur nos questions de recherche et y apporter des éléments de réponse basés sur les analyses présentées dans cette étude.

(1) À l'instar des besoins mathématiques "élémentaires" ou "avancés" relevés par Romo-Vàzquez (2009), nous classons les praxéologies mathématiques rencontrées sur leur lieu de travail par les ingénieurs de notre enquête selon deux types :

- spécifiques pour lesquelles les types de tâches et les techniques mathématiques sont déclinées en lien direct avec le métier (par exemple, réduire la latence d'un logiciel audio en analysant la preuve de théorèmes mathématiques)
- transversales pour lesquelles les technologies sont faites de "bases" ainsi que de raisonnements, rigueur et logique. Si c'est le cas cependant, il peut s'agir de types de tâches précis (par exemple, calculer des volumes, contrôler la qualité de la production) ou plus générales (par exemple, communication).

(2) Les praxéologies mathématiques rencontrées dans leur formation initiale par les ingénieurs avec lesquels nous nous sommes entretenu diffèrent selon les institutions d'enseignement : les bases mathématiques sont majoritairement apprises en Cycle Préparatoire, voire au Lycée (par exemple, les intégrales). L'arrière plan de logique et de rigueur dans le raisonnement (y compris dans l'approfondissement d'une preuve mathématique) est aussi une praxéologie provenant en grande partie du Cycle Préparatoire (et plus précisément des CPGE). Le Cycle Ingénieur semble fournir les praxéologies essentielles en statistiques ainsi que les praxéologies à usage plus spécifique. Si la spécificité est trop importante, il y a alors recours à l'auto-formation ou à la formation continue.

(3) Nous constatons que les praxéologies rencontrées sont différentes dans les deux institutions que sont la formation et le milieu du travail et que certains apprentissages sont soulignés comme manquants dans la formation en Cycle Ingénieur. De plus, le manque de liens entre les deux institutions ainsi que le besoin de pratique et de concret dans la formation reviennent souvent. Mais relevons pour finir ce qu'Alice nous a dit lorsqu'on lui a demandé de proposer un cours : pointant d'abord du doigt la partie de probabilités "avec des boules dans des sacs", selon elle complètement inutile et déconnectée de la réalité, elle se ravise en disant qu'elle ne peut pas commencer autrement, car elle trouve que c'est quand-même indispensable pour comprendre la suite et les statistiques plus élaborées ! Finalement, les ingénieurs rencontrés reconnaissent avoir grand besoin de la rigueur mathématique et de supports plus théoriques à leur utilisation quotidienne des mathématiques.

Pour la suite de notre travail, il resterait à voir comment sont enseignées les mathématiques dans les cours dédiés (pas les parties de mathématiques présentes dans un cours de physique par exemple) en se tournant vers les enseignants (experts ou non) dans des écoles d'ingénieurs. Puis prévoir de rapprocher les besoins concrets et la formation à l'occasion d'un Parcours d'Étude et de Recherche (Chevallard, 2017).

REFERENCES

Bakker, A. (2014). Characterizing and developing vocational mathematical knowledge. *Educational Studies in Mathematics, 86*(2), 151–156.

Chevallard, Y. (2017). La TAD et son devenir : rappels, reprises, avancées. In G. Cirade, M. Artaud, M. Bosch, J.-P. Bourgade, Y. Chevallard, C. Ladage, et T.A. Sierra (Eds). *Évolutions contemporaines du rapport aux mathématiques et aux autres savoirs à l'école* *et dans la société. Actes du 4e congrès international sur la TAD* (pp. 27-65). Toulouse, France.

Hochmuth, R., Biehler, R., et Schreiber, S. (2014). Considering Mathematical Practices in Engineering Contexts. In T. Fukawa-Connolly, G. Karakok, K. Keene et M. Zandieh (Eds.), *Proceedings of the 17th Annual Conference on Research in Undergraduate Mathematics Education* (pp. 693–698). Denver, Colorado.

Ingénieurs Et Scientifiques de France (2015). *26ème enquête nationale sur les ingénieurs*. Paris, France.

Kent, P., et Noss, R. (2002). The mathematical components of engineering expertise: the relationship between doing and understanding mathematics. *Engineering Education 2002: Professional Engineering Scenarios, 2*(2002/056), 39/1-39/7.

Martin-Deschamps, M., et Le Tallec, P. (2002). L'explosion des mathématiques. *SMF-SMAI, Paris*.

Quéré, P.V. (2017). French engineers' training and their mathematical needs in the workplace: interlinking tools and reasoning. In T. Dooley et G. Gueudet (Eds.), *Proceedings of the Tenth Congress of the European Mathematical Society for Research in Mathematics Education* (pp. 2233-2240). Dublin, Ireland: DCU Institute of Education and ERME.

Ridgway, J. (2002). The mathematical needs of engineering apprentices. In A. Bessot et J. Ridgway (Eds.), *Education for Mathematics in the Workplace* (pp. 189–197). Springer Netherlands.

Romo-Vázquez, A. (2009). *La formation mathématique des futurs ingénieurs* (thèse de doctorat, University de Paris 7), Paris, France.

van der Wal, N. J., Bakker, A., et Drijvers, P. (2017). Which Techno-mathematical Literacies Are Essential for Future Engineers?. *International Journal of Science and Mathematics Education, 15(1)*, 87–104.