

[Présentation des auteurs]

Les deux auteurs sont enseignants-chercheurs à l'Institut Polytechnique UniLaSalle. Ils ont tous les deux une solide formation académique en philosophie des sciences et une longue expérience dans l'enseignement à des étudiants et étudiantes en école d'ingénieurs.

Nicolas Brault a commencé par une formation de philosophie générale, conclue par un master en logique, histoire, philosophie et sociologie des sciences, obtenu à l'Université Paris-I Panthéon Sorbonne. Il a ensuite enseigné plus d'une dizaine d'années dans des établissements privés d'enseignement supérieur de préparation aux concours médicaux et paramédicaux, ainsi que dans diverses écoles d'ingénieur. Puis il a soutenu une thèse en épistémologie, histoire des sciences et des techniques, à l'Université de Paris, consacrée à l'histoire et l'épistémologie de l'épidémiologie, au carrefour donc des statistiques et de la médecine. Ses travaux s'orientent désormais vers l'épistémologie de l'amélioration des plantes et, plus généralement, vers l'histoire et la philosophie de l'agriculture.

Michel (J. F.) Dubois est ingénieur agronome (AgroParisTech) et a un master de biologie (Orsay). Après une thèse en biologie moléculaire végétale (AgroParisTech/Orsay), ses recherches portent sur les semences. Il prend des fonctions de directeur du développement international et directeur technico-commercial dans l'agroalimentaire ; il possède une expérience de R&D en entreprise, avec notamment des dépôts de brevets. Il soutient une thèse de philosophie en 2006, à l'Université de Poitiers, et acquiert une expérience de direction d'une formation d'ingénieur. Il a soutenu une HDR en philosophie sur le thème de la technique et l'humain à l'Université de technologie de Compiègne/Université Paris-I Panthéon Sorbonne. Il s'implique dans la réflexion sur la transition vers un développement durable, en particulier en agriculture.



Les deux auteurs sont persuadés que le métier d'ingénieur.e ne peut plus être pratiqué sans une vue à la fois plus haute et plus profonde de l'activité d'ingénieur.e, ce qui signifie à la fois plus d'épis-

témologie, plus d'éthique et plus de compréhension des enjeux de société. Ils s'accordent ainsi sur le rôle de l'ingénieur dans la société contemporaine, et surtout sur le rôle très important de l'ingénieur.e conscient.e des enjeux de son domaine d'expertise.

Dans cet ouvrage, nous avons voulu exposer précisément les questions et les controverses concernant la science et l'activité d'ingénieur.e, sans prendre parti. En revanche, nous exposerons notre position, celle qui, nous semble-t-il, peut permettre aux ingénieurs de pratiquer leur métier en connaissance de cause, en toute modestie mais aussi avec fierté, animés du sens de la responsabilité vis-à-vis de la société, des humains et de la biosphère.

Étant donné l'ampleur et la complexité de l'épistémologie, comme discipline, ce manuel n'a pas pour ambition d'être utilisé dans le cadre d'un cursus universitaire spécialisé en épistémologie et philosophie des techniques, sauf comme prologue à une telle formation, si l'enseignant ou les étudiants le jugent utile. Il n'est pas non plus destiné, *a priori*, à des enseignants-chercheurs en sciences de la matière et du vivant, lesquels auront davantage intérêt à réfléchir d'abord aux problématiques épistémologiques propres à leur discipline. Il peut néanmoins leur servir de base de réflexion dans le cadre d'échanges interdisciplinaires et dans des contextes d'enseignements et d'échanges avec des étudiants ou élèves-ingénieurs qui ont le droit de poser à leurs enseignants des questions dépassant les cadres stricts de leurs disciplines.

Son but est de fournir aux jeunes ingénieurs une sorte d'« amorce » à la réflexion sur leur propre activité. La nature du métier d'ingénieur a énormément changé durant les trente à quarante dernières années. En quarante ans, le nombre de diplômes d'ingénieur délivrés par an en France a été multiplié par plus de deux et demi, soit aujourd'hui environ 38 000 jeunes diplômés ingénieurs tout compris, ce qui représente de l'ordre de 5 % d'une classe d'âge¹. Dans ces conditions, les métiers sont devenus plus diversifiés et intègrent des compétences qui étaient considérées jadis comme ne relevant pas de l'activité d'un ingénieur. La majorité des ingénieurs va se trouver confrontée à des problèmes que leurs aînés, durant les « Trente glorieuses », pouvaient évacuer de leurs champs d'étude. Car, tout en étant omniprésentes et influençant toutes les décisions collectives et politiques, les sciences et techniques connaissent une nouvelle situation qui vient justement du développement incessant de leur influence sociétale et du fait que les ingénieurs eux-mêmes, dans leur activité, deviennent de plus en plus spécialisés. Il apparaît

[1] Ce n'est pas propre à la France, mais concerne tous les pays techniquement avancés, ainsi que ceux qui connaissent des développements techniques rapides (Corée du Sud, Taïwan, Chine, Inde, Indonésie, etc.).

ainsi une sorte de paradoxe : d'un côté les jeunes ingénieurs doivent acquérir des compétences considérées, par rapport aux critères antérieurs, comme périphériques à leurs compétences centrales et donc secondaires, et de l'autre, l'ampleur des développements techniques et scientifiques les conduit à se spécialiser de plus en plus, et donc aussi à acquérir des savoirs plus généraux, pour dialoguer avec les ingénieurs d'autres mondes techniques. Le nombre d'écoles d'ingénieurs, le nombre de types d'écoles d'ingénieurs et le nombre de spécialisations par école, sont en croissance conformément à l'accroissement exponentiel des connaissances scientifiques et techniques (Rescher 1993).

Cette nouvelle situation est concomitante d'une élévation générale des niveaux d'études, dans tous les domaines. Par conséquent, les ingénieurs, un peu comme tous les corps de métiers autrefois très institués (enseignants, médecins, chercheurs, avocats, architectes, etc.) peuvent être, et sont, de fait critiqués dans leurs actions, de plusieurs lieux différents ; ce qui peut leur être opposé relève souvent de critères politiques, sociaux, psychologiques, éthiques, voire esthétiques. Autrement dit, d'autres voix peuvent s'opposer qui proviennent de champs disciplinaires différents. Comme réciproquement l'ingénieur travaille désormais, et de plus en plus, en relation avec des acteurs venus de disciplines multiples, scientifiques ou non scientifiques, il lui faut acquérir des connaissances qui dépassent son noyau disciplinaire. Dans ce contexte, une réflexion sur son activité, tant scientifique que technique et surtout intégrée à la société, peut lui être très utile, voire nécessaire.

Cet ouvrage dépasse l'épistémologie, dans son sens restreint, puisqu'il donne aussi des pistes de dialogue interdisciplinaire, ainsi qu'une ouverture aux sciences humaines et sociales. L'éthique doit faire partie intégrante de cette formation et cet ouvrage, prenant en compte les évolutions culturelles, sociétales, voire anthropologiques, des dernières décennies est destiné à l'ingénieur.e d'aujourd'hui et de demain qui doit penser son activité dans le contexte d'une société en complexification croissante.



Nous sommes conscients que la langue française ne dispose pas du neutre ou, de manière plus positive, que la forme du neutre y est celle du masculin. Afin d'éviter de trop alourdir le texte, nous n'avons pas pratiqué systématiquement l'écriture inclusive, tout en l'utilisant parfois, quand il s'agit d'insister sur le fait qu'il ne s'agit

jamais, ici, des ingénieurs au masculin (ainsi, pour chaque chapitre, les premières occurrences de «un.e ingénieur.e», «l'ingénieur.e», «élève-ingénieur.e», etc., valent pour toutes les occurrences suivantes de «un ingénieur», «l'ingénieur», «élève-ingénieur», etc. Il faut donc les lire avec ce préambule en mémoire). Dans toutes les disciplines, il existe des femmes ingénieures, et aucune discipline scientifique ou technique n'est genrée. Il reste que conjoncturellement, actuellement, les femmes sont plus représentées dans les disciplines liées au vivant, au relationnel, au soin ; et les hommes plus représentés dans les disciplines mécaniques, informatiques, mathématiques. Il y aurait beaucoup à dire sur ces représentations qui sont souvent issues de biais organisationnels dans les logiques de sélection ou de notation. Elles pourront être radicalement modifiées, en fonction de choix techniques ou politiques. En agriculture et industrie alimentaire, même si les femmes sont encore minoritaires, elles sont majoritaires en tant qu'ingénieur.e.s. L'évolution technique agricole ouvre les portes à l'arrivée des femmes, même si l'inertie sociale et les préjugés restent importants.

Puisse ce manuel être un livre compagnon des ingénieur.e.s, aide et support de leur réflexion durant leurs études et leur parcours professionnel.

Pourquoi l'épistémologie ?

Pourquoi la philosophie est importante pour l'ingénierie ? C'est parce que finalement, dans son sens le plus profond, l'ingénierie est de la philosophie – et c'est grâce à la philosophie que l'ingénierie deviendra vraiment elle-même (Mitcham 1998).

Les ingénieurs, bien qu'ils l'ignorent, sont les vrais philosophes du monde postmoderne (Mitcham 1998).

L'épistémologie – de *epistémê*, science et *logos*, étude – signifie «étude de la connaissance» ou «étude de la science». Elle a été considérée pendant longtemps comme une partie de la philosophie. On peut dire aussi «philosophie de la connaissance» ou «philosophie des sciences». Dans son usage courant actuel, l'épistémologie est devenue, durant le XX^e siècle et pour de nombreux penseurs, la réflexion sur les sciences, ce qui revient à reconnaître la multiplicité des sciences et leurs différences. On parle ainsi de l'épistémologie des mathématiques, de la biologie, de la physique, de la sociologie, de la psychologie, etc.

En quoi l'épistémologie peut-elle être utile à cet acteur scientifique et technique qu'est l'ingénieur ? L'ingénieur serait le plus souvent – c'est encore la croyance dominante – davantage un utilisateur de connaissances scientifiques et d'outils techniques qu'un créateur de ceux-ci, même s'il lui arrive de concevoir de nouveaux outils. De fait, il est engagé dans l'action, la plus souvent technique. Dans le cadre de son action, il doit utiliser les savoirs et savoir-faire issus de multiples sciences et techniques, et la question des interfaces entre celles-ci se pose. Ces interfaces sont générées par la recherche scientifique qui généralement se construit en définissant précisément son objet ; ainsi la physique, la chimie, la biologie, ont des problématiques scientifiques différentes. Mais pour l'ingénieur,

la connaissance des sciences et techniques ne peut être séparée de leur usage ; il y a donc une panoplie de sciences et de techniques de l'ingénieur. Cela conduit à la fois à une *praxéologie* (philosophie de l'action dans son sens méthodologique), une réflexion sur ce qu'est une prise de décision scientifico-technique, et à une *éthique* (philosophie de l'action en référence à des valeurs : l'action bonne ou juste)¹.

Aussi, cette réflexion sur l'activité scientifique et technique, même si elle est centrée d'abord sur la philosophie des sciences, doit s'élargir aux domaines de la connaissance générale (problème des interfaces entre les différents champs scientifiques), de la technique, de l'action et de l'éthique. Ces trois champs ont d'ailleurs des statuts très différents selon l'approche épistémologique, mais aucun ne peut être évacué d'une réflexion épistémologique.

La première impression des élèves-ingénieurs, c'est que, en tant que futurs acteurs scientifiques et techniques, ils ont essentiellement besoin de connaître les outils de leur activité. Ils en ont déjà tellement à intégrer qu'ils font l'impasse du questionnement sur ces connaissances et sur l'action qui en découle. Le but de ce livre est de montrer que cette approche réductrice va considérablement amoindrir leurs capacités de décision et risque de les rendre très dépendants d'opinions de l'époque, ou même de « modes », lesquelles existent aussi en science comme en technique, et d'autant plus qu'elles s'intègrent toujours plus dans la vie quotidienne des citoyens des sociétés modernes. Un recul, pour employer le terme consacré, est nécessaire, afin de poser les problèmes, soulever les questions adéquates et agir en étant à l'écoute des réactions provoquées par ses actions. Il s'agit de profiter du moment privilégié des études ou du commencement de l'activité professionnelle pour prendre un temps de réflexion.

Cet ouvrage est donc destiné *a priori* aux jeunes (et moins jeunes) ingénieur.es, ou aux élèves-ingénieur.es en formation, qui souhaitent penser le domaine de connaissance auquel ils font référence ainsi que les actions associées qui font ou feront partie de leur activité professionnelle.

[1] *Ndé* : sur ces termes philosophiques, et d'autres qui parsèment ce livre, nous recommandons l'usage du *Dictionnaire philosophique. Perspective humaniste et scientifique* (Éditions Matériologiques, 2020), de Mario Bunge. Philosophe des sciences et des techniques, il y définit de manière claire, voire hétérodoxe, nombre de vocables scientifiques et philosophiques qui ont cours dans divers domaines, y compris l'ingénierie, et ce, trop souvent de manière inquestionnée...

1] Travailler dans un monde complexe

Les chercheurs, les ingénieurs, les responsables de projets technologiques, les ingénieurs d'affaires, ou même les ingénieurs technico-commerciaux, sont des «**acteurs scientifiques et techniques**» qui agissent dans un monde complexe aux multiples interfaces. Même si leur projet est scientifique et/ou technique, sa mise en place relèvera de disciplines diverses, de savoir-faire applicables à des échelles différentes : subatomique, atomique, moléculaire, matériaux à l'échelle visible, laboratoire, pilote, usine ou structure de productions diverses pouvant comporter des plantes ou des animaux, exploitation agricole, infrastructure communale comprenant ports, gares, aéroport, territoire local composé d'espaces variés plus ou moins artificialisés, région, État, continent, planète. Les différentes étapes de leurs projets se joueront sur des scènes différentes : scientifique, technique, organisationnelle, commerciale, financière, administrative, politique et institutionnelle.

De plus, tout projet technique d'importance rencontre des oppositions croissantes, quelles qu'en soient les raisons : concurrence, lobbys, défense de territoires, environnement, corporatisme, idéologie ou autre. *Plus que jamais, l'opinion publique croit savoir* (Bronner 2013). Ceux qui s'opposent (aux champs magnétiques, aux OGM, au nucléaire, à l'eau de Javel, aux robots agricoles, aux nanotechnologies, aux vaccins, etc.) font souvent valoir une multitude d'arguments, parfois fallacieux mais pas toujours, et qui impressionnent par leur nombre. Réfléchir à la situation et chercher à comprendre où se situent les facteurs de réussite ou de blocage d'un projet peut avoir plus d'importance que d'en maîtriser les seules composantes technologiques. **Et saisir que là où se montre la volonté de soumettre le vrai à l'idée que l'on se fait du bien ou à d'autres critères que la recherche du vrai, une pensée idéologique est à l'œuvre.**

L'acteur scientifique et technique doit maîtriser l'action dans le cadre de champs disciplinaires spécifiques à son activité. Ceci lui donne le sentiment d'une régularité. Il doit démontrer des savoir-faire et mobiliser des compétences définissables même de manière plus ou moins floue, mais il doit aussi travailler aux interfaces, c'est-à-dire mettre en contact des domaines disciplinaires différents. Or, il n'existe pas de science de l'interface. Les interfaces sont des conséquences de l'activité scientifique qui, elle-même, définit le champ d'application d'une discipline. En revanche un processus technique, quelle que soit l'activité, fait appel à de très nombreuses disciplines, y compris les sciences humaines.

L'interface est ainsi ce que va devoir gérer en permanence un acteur technique en ce siècle de développement technique incessant, classiquement un ingénieur, ce qui exige une culture pluridisciplinaire, des approches transdisciplinaires, et d'accepter l'incertitude. Les objets techniques ne sont plus de simples objets techniques, mais de plus en plus des objets multiples (dits «hybrides»), compréhensibles selon différents prismes : matériel, biologique, réglementaire, esthétique, éthique, politique, économique, sociologique, psychologique,... et technique.

2] Travailler dans un monde en pleine transformation

La situation sociale et technico-économique de ce début du XXI^e siècle conduit l'acteur scientifique et technique à la nécessité d'une démarche réflexive constante sur son savoir et ses pratiques. Il entre, en début de carrière, dans un monde en rapide transformation : modifications des demandes sociétales vis-à-vis des technologies et de leur rapport à l'environnement, la sécurité et la santé²; problématiques climatiques, énergétiques et alimentaires; évolutions scientifiques et technologiques incessantes que ce soit en biotechnologie, en technologie de l'information, robotique, réseaux, en sciences des matériaux, en sciences de l'environnement; compétition économique et exigences d'innovations pour maintenir une activité; fluctuations fortes de l'environnement social et économique, volatilité des cours des matières premières, débats sur l'éthique de l'action technique et économique. Le monde économique, social et politique connaît ainsi une évolution rapide, une sorte de transition vers un autre état encore en devenir qui va dépendre de contraintes multiples, autant environnementales ou financières qu'éthiques, géopolitiques ou géoéconomiques.

L'acteur scientifique et technique devra faire preuve d'une créativité constante, ce qui est en contradiction avec l'apprentissage d'un savoir construit selon des consignes prédéfinies. On peut comprendre les exigences de flexibilité et d'adaptabilité de même que celles d'innovation et d'entrepreneuriat comme une réponse à ce mouvement de transformation du monde actuel, lequel est devenu planétaire. D'une part, il est important de comprendre le fonde-

[2] *Ndé*: nous recommandons aussi ce livre du sociologue des sciences et des techniques Dominique Raynaud, *Qu'est-ce que la technologie?*, Éditions Matériologiques, 2016, dont la lecture peut éclairer le rapport des ingénieurs aux objets et démarches qu'ils élaborent.

ment de ce mouvement permanent qui est issu d'un feedback positif entre technique et économie mais aussi d'interactions complexes entre demandes sociétales et possibilités techniques. Dans l'activité d'un.e ingénieur.e, des forces contradictoires et les tensions correspondantes, lesquelles ne relèveront souvent nullement de problématiques strictement scientifiques ou techniques, seront toujours présentes et leur identification peut être très utile. En l'absence de compréhension de ces tensions, l'expérience initiale des ingénieur.e.s peut être difficile et frustrante.

3] Penser son activité

Pour être capable de parler de son activité, il faut d'abord l'avoir pensée. Pour penser son activité et libérer sa créativité, l'ingénieur.e devra savoir penser les fondements des disciplines auxquelles il ou elle fait appel, en comprenant que ce sont des construits, même s'ils « disent le vrai » et proviennent de découvertes. Parallèlement, il ou elle aura à penser à la façon d'établir les transversalités nécessaires. Ces transversalités, qui exigent une pratique de l'interface – nous le constaterons plus loin – ne relèvent pas, à proprement parler, de « la science ». Maîtriser un robot de traite, par exemple, c'est combiner des savoir-faire techniques et organisationnels qui relèvent de l'informatique et de la gestion, mais aussi des connaissances sur les bovins, la santé des animaux, la microbiologie. Or il faut désormais savoir parler de son métier à des gens qui ne connaissent pas tous ces savoirs et savoir-faire.

Pour cela, il est utile de rappeler brièvement l'histoire de la pensée scientifique, de Pythagore à nos jours³, en insistant sur le fait que **la science se construit le plus souvent en opposition au sens commun** (la reconnaissance de cette opposition commence dès l'origine et se poursuit aujourd'hui), contrairement à la technique qui est en quelque sorte une poursuite de l'effort humain depuis les origines pour maîtriser son environnement. Cette opposition au sens commun **conduit à poser des concepts hypothétiques qui peuvent être contre-intuitifs**. Ceci conduit au concept de paradigme et d'évolution scientifique par rupture paradigmatique (Kuhn 1972)⁴.

[3] *Ndé* : là encore, recommandons un ouvrage pédagogique : *Histoire des démarches scientifiques. De l'Antiquité au monde contemporain*, de Jean-Yves Cariou, Éditions Matériologiques, 2019.

[4] Voir notamment les chapitres 1 et 4 du présent ouvrage.

Penser son activité c'est aussi se poser la question de ce qui valide une théorie. Comment est évaluée une théorie scientifique conduit à un aperçu de la théorie de la falsifiabilité (Popper 1934). Cela permettra de réfléchir à ce qui fait l'originalité de l'activité scientifique, et aussi de comprendre pourquoi il est si difficile de définir clairement ce qu'est la science et l'activité scientifique⁵ (Feyerabend 1975). **Employer les mots de la science pour tenter de la contredire ou la soutenir, ce n'est pas faire de la science; elle est toujours une activité de recherche.** Ceci conduit à examiner l'importance de ce qui se situe en amont de l'activité scientifique: capacité intentionnelle, croyance, capacité à la représentation, capacité à l'«induction». Un aperçu des conceptions constructivistes et relativistes de la science est nécessaire, *a minima* pour en montrer les limites. Ce sera le moment de reconcevoir le hasard et de se poser la question: comment ces capacités sont-elles possibles si le hasard n'existe pas? Mais ce sera aussi le moment de montrer que la recherche scientifique est aussi une recherche sur la réalité et sur le vrai qui peut être dit concernant le réel. Ce manuel d'épistémologie à destination d'acteurs qui se confrontent au réel prendra donc parti puisqu'il montrera que l'acteur scientifique et technique devient de fait un acteur politique.

Cela conduira l'élève-ingénieur à appréhender le concept de cause, à la fois dans son historicité et dans son usage, et à comprendre la signification du concept de cause scientifique – même s'il est bien ambitieux de vouloir, là aussi, en épuiser tous les aspects. Il comprendra la différence entre causalité et corrélation. Même débutant, il deviendra attentif à notre capacité spontanée à confondre une corrélation et une cause.

Dans le même but de penser son activité et libérer sa créativité, il est utile d'exposer le concept de dépendance du chemin (*path dependancy*⁶), généralisable à tous les phénomènes de développement. Venu de l'économie, il s'applique précisément aux acteurs techniques et économiques développeurs de solutions.

[5] *Ndé*: pour un aperçu subjectif (càd autobiographique), voir les exemples rassemblés dans *Qu'est-ce que la science... pour vous?*, tome 1 : *50 scientifiques et philosophes répondent* et tome 2 : *51 scientifiques, philosophes et amateurs de sciences répondent*, Marc Silberstein (dir.), Éditions Matériologiques, 2017 et 2018.

[6] Voir la section 6 du chapitre 6.

Cet ouvrage se terminera sur deux ouvertures qui ne relèvent pas directement de l'épistémologie mais qui y sont fortement associées. D'un côté, l'éthique et la praxéologie (philosophie de l'action) et de l'autre, la philosophie de l'ingénierie et des activités de conception.

Résumé

Ce livre a pour but d'aider l'ingénieur.e à penser son activité et à réfléchir sur ce qu'il a appris. Trop souvent, le débutant, soit prend ce qu'il a appris comme des outils d'application sans critique ou ouverture, soit se laisse influencer par le discours dominant du milieu dans lequel il travaille. Il s'agit de lui donner les outils pour penser son activité et savoir en parler.

Mais pour cela un effort important sera demandé, puisqu'il faudra entrer dans l'histoire des sciences (et des techniques) et comprendre les différentes positions des penseurs historiques, anciens et actuels. C'est un effort particulier qui peut être déstabilisant car il consiste à remettre en cause, de manière réflexive, les savoirs acquis. Mais il s'agit d'utiliser cette réflexion pour acquérir davantage d'assurance et de capacité d'échange et de débat.

De plus, le monde dans lequel il va commencer sa carrière est un monde d'une redoutable complexité et en même temps en transformation rapide. L'ingénieur.e devra intégrer des disciplines si vastes qu'une ouverture au-delà des disciplines apprises lui devient nécessaire.