



**Think
Tank.**

**Arts &
Métiers**

QUELS INGÉNIEURS POUR L'INDUSTRIE DU FUTUR ?

RAPPORT / DÉC 2020

PRÉAMBULE

MÉTHODOLOGIE

Pour répondre aux objectifs fixés par la lettre de mission, le groupe de réflexion qui a conduit ce travail a décidé de recourir à trois sources :

- Des interviews de personnalités du monde économique, syndical et de la recherche institutionnelle : un guide structuré d'entretien a permis de conduire les échanges de manière rigoureuse, de classer et de regrouper les éléments de réponse collectés. Des verbatim sont reportés dans ce rapport avec leurs références.
- Une recherche bibliographie couvrant les domaines suivants :
 - l'industrie du futur, celle que l'on désigne par 4.0 ;
 - les impacts du numérique et de l'intelligence artificielle ;
 - les profils de personnalités des ingénieurs en fonction des carrières qui leurs sont offertes ;
 - les formations supérieures (françaises et étrangères) qui développent des pédagogies innovantes ;
 - les compétences recherchées par les recruteurs avec un accent particulier sur les *soft skills* ;
 - l'évolution et les tendances du recrutement des entreprises.

- Une étude d'établissements de référence étrangers, et en particulier une analyse de cursus de formation conduisant au master en ingénierie (Bac+5) proposés par des universités ou institutions étrangères reconnues.

Le groupe, constitué d'une dizaine de personnes¹ bénévoles et volontaires, aux profils divers, s'est attaché à la plus grande neutralité dans son travail d'identification des tendances, et de rédaction des synthèses. Il a mené son travail entre octobre 2018 et Mai 2020.

REMERCIEMENTS

Les animateurs souhaitent remercier tout particulièrement l'ensemble des personnalités interviewées qui nous ont accordé de leur temps souvent précieux. Les riches expériences et les hauteurs de vue ont nourri intensément les réflexions du groupe.

Que soient également remerciées, toutes les personnes qui ont participé de manière régulière ou occasionnelle aux réunions de réflexion et à la rédaction de ce document.

Sans ces engagements, ce travail n'aurait pas été possible. Ce rapport est donc en grande partie le vôtre.

1/ Voir la constitution du groupe en annexe 2.

SOMMAIRE

Introduction.....	6
I. L'INGÉNIEUR DE DEMAIN : COMPÉTENCES, CAPACITÉS ET PROFILS.....	9
1.1 Disposer d'un solide socle scientifique.....	10
1.2 Produire des raisonnements scientifiques robustes.....	11
1.3 Être agile, autonome et capable d'intégrer un haut degré d'incertitude.....	12
1.4 Comprendre le numérique, ses impacts et son potentiel.....	13
1.5 Disposer d'une robuste culture du risque et de la Sécurité Globale.....	16
1.6 Maîtriser les approches système et les systèmes complexes.....	18
1.7 Générer de la valeur.....	20
1.8 Développer les humanités.....	21
1.9 Être communicant.....	23
1.10 Intégrer les dimensions éthiques.....	25
II. LES SYSTÈMES DE FORMATION DE DEMAIN.....	28
2.1 L'interdisciplinarité pour passer du compliqué au complexe.....	28
2.2 Pistes de réflexion pour les approches pédagogiques du futur.....	30
2.3 Interagir intensément avec les professionnels.....	35
2.4 Accompagner la formation tout au long de la vie.....	40
III. PRÉCONISATIONS.....	42
3.1 Les entreprises.....	42
3.2 Les instituts de formation.....	43
3.3 Les élèves ingénieurs.....	45
3.4 Les pouvoirs publics et tutelles d'école.....	46

IV. CONCLUSION.....47

Bibliographie.....49

Annexe 1 : Lettre de mission.....53

Annexe 2 : Acteurs du groupe de travail.....54

**Annexe 3 : Contributeurs
(personnalités interviewées et/ou rencontrées).....55**

Annexe 4 : « TREND » des principales compétences.....56

Annexe 5 : Approche de la Commission des Titres de l'Ingénieur.....60

INTRODUCTION

*« S'élever pour mieux voir,
relier pour mieux comprendre,
situer pour mieux agir »*

JOËL DE ROSNAY, *Le Macroscopie*.

« Dans un monde en changement perpétuel et en constante évolution, il apparaît nécessaire de s'interroger régulièrement sur les attentes actuelles et futures de l'industrie en général et des entreprises en particulier, pour construire au mieux les réponses à apporter, tant au niveau local qu'international, dans une démarche responsable (économique, sociale et environnementale). » Ce constat et cette ambition, formulés dans la lettre de mission² du groupe en octobre 2018, sont encore plus pertinents à l'heure de la clôture des travaux, en avril 2020. La crise sanitaire mondiale de la COVID-19 va vraisemblablement entraîner de très profondes évolutions de nos sociétés, de nos organisations et de nos entreprises, dans lesquelles les ingénieurs auront des responsabilités majeures. Il est donc essentiel de s'interroger sur leur formation et l'apprentissage des compétences indispensables à leurs futures missions.

Nos sociétés se transforment en profondeur et ce, principalement sous l'impulsion des sciences, des techniques et des technologies. Nous serions en train de vivre la « 4^e révolution industrielle » sans être tout à fait maîtres de son contenu. Ainsi, le concept de monde « VUCA », développé par les militaires américains,

2 / La lettre de mission complète est proposée en annexe 1.

s'impose de plus en plus à toutes les facettes de nos vies. Il fait la synthèse de quatre types de problématiques qui s'entremêlent et qui imposent à nos sociétés de raisonner autrement : *Volatility* (Volatilité), *Uncertainty* (Incertitude), *Complexity* (Complexité) et *Ambiguity* (Ambiguïté). Ce mécanisme contraint tous les acteurs de la société, tous les types d'organisation, privés ou publics, toutes les activités, et tous les niveaux des organisations (des décideurs aux exécutants), à intégrer des modes de fonctionnement plus innovants, plus agiles, plus réactifs, donc plus transversaux et plus coopératifs. La capacité à intégrer les aléas et incertitudes, (politiques réglementaires, économiques, technologiques...) est devenue pour tous, un facteur différenciant³. Ce monde VUCA où la complexité des systèmes va croissant et où l'incertitude gagne chaque jour du terrain, va probablement mobiliser plus que jamais les compétences des ingénieurs pour analyser, comprendre et imaginer les solutions.

En quelques années, le nombre de compétences requises chez les ingénieurs a considérablement augmenté, notamment avec l'émergence des compétences cognitives et socio-comportementales, ou *soft skills*, telles que l'intelligence émotionnelle, l'esprit d'équipe ou la résolution de problèmes complexes, entre autres. Leur définition et leur évaluation restent encore floues mais leur importance lors du recrutement ne peut être ignorée.

Ainsi, l'ingénieur de demain ne sera plus seulement celui qui est capable de prouesses techniques et technologiques, centré sur son seul produit mais un « collaborateur orchestre » capable de jouer de tous les instruments, combinant *soft skills* et *hard skills* grâce à un socle de connaissance solide. Cette partition difficile à interpréter est le prélude à une évolution de l'organisation des entreprises vers des équipes pluridisciplinaires, multiculturelles et agiles.

3 / Références VUCA World :

Bouée, C.-E. (2014, 21 janvier). Entreprise : comment faire de l'instabilité une force. *La Tribune*. <http://www.latribune.fr/opinions/tribunes/20140121trib000810980/entreprise-comment-faire-de-l-instabilite-une-force.html>

Bennett, N., & Lemoine, G. J. (2014, janvier). What VUCA Really Means for You. *Harvard Business Review*. <http://hbr.org/2014/01/what-vuca-really-means-for-you/ar/1>

Dans un monde de plus en plus complexe où les changements semblent s'accélérer, quelles sont les compétences essentielles à l'ingénieur de demain ? Quels savoirs et savoir-faire devront constituer son socle de connaissances pour lui permettre de prendre part à la société du futur et d'inventer la suite ? Comment les centres d'enseignements peuvent-ils évoluer pour lui permettre de répondre aux nouvelles attentes de la société et des entreprises ?

Afin d'éclairer les choix à venir, notre groupe de réflexion s'est attaché à identifier les principales attentes, les besoins et les facteurs de différenciation des futurs ingénieurs. Nous avons pu ainsi cerner les enjeux dont doit se saisir l'enseignement supérieur et suggérer les principales priorités aux différentes parties prenantes.

.

L'INGÉNIEUR DE DEMAIN : COMPÉTENCES, CAPACITÉS ET PROFILS

Le vocable «ingénieur» s'applique en 2020 à un spectre beaucoup plus large de domaines et d'activités que dans les années 1970/1980. La très forte croissance du nombre d'écoles habilitées par la Commission des Titres d'Ingénieurs (CTI) témoigne de cette évolution. Tenter de construire une synthèse globale de leurs compétences sur un même quadrant, c'est tenter d'exprimer les points de convergence pour des profils ingénieurs parfois très éloignés: de l'ingénieur procédés, acteur de l'industrie mécanique, à l'ingénieur du digital, expert en traitement des données pour le monde la finance, en passant par l'ingénieur des chantiers de Travaux Publics ou du bâtiment et celui du monde vivant.

De l'ensemble des interviews et des multiples documents, nous avons identifié et spécifié dix points représentant autant de caractéristiques attendues et de facteurs différenciants pour les ingénieurs, dès 2020.

1.1 Disposer d'un solide socle scientifique

Si les *soft skills* sont devenues en quelques années des marqueurs différenciant pour les parcours professionnels, tous les spécialistes rencontrés s'accordent sur le fait que l'ingénieur devra préserver un socle scientifique robuste : les disciplines de base des cursus sont et resteront essentielles pour être en ca-

Les ingénieurs sont là pour adresser des contenus techniques significatifs.

LOUIS GALLOIS

pacité d'évoluer et de s'adapter aux environnements multi-technologiques. Le déplacement et la reconfiguration des chaînes de création de valeur est un élément délicat à spécifier en termes d'impacts et de contenus.

Toutefois, les interviews, tout comme l'étude bibliographique, n'ont pas permis d'en qualifier avec justesse et précision les éléments constitutifs, tant par son périmètre que par les disciplines qui le composent. En effet, les mots choisis par les personnalités interviewées restent génériques ou plus connotés par une dominante de formation (spécialité) et notre recherche bibliographique tend à montrer que ce socle fait très peu l'objet d'études formelles, destinées à le « challenger ».

Pour illustrer cette difficulté, prenons l'exemple de la chimie qui a toujours été traditionnellement scindée en organique et minérale. Aujourd'hui la biochimie prend une place de plus en plus importante dans les développements qui associent sciences du vivant et sciences de l'ingénieur. On peut ainsi décliner l'arborescence des disciplines liées au terme générique « chimie », chacune d'elle faisant l'objet d'une formation spécifique en université.

L'étude des cursus internationaux référents met en évidence que ces institutions de formation ont mis en œuvre des mécanismes d'adaptation agile de leurs cursus et des modules d'enseignement, reposant sur des « Conseils Académiques ». Ces « Conseils », mettent à profit la qualité des relations partenariales pour enrichir l'établissement de capteurs des besoins de leur marché et définir les disciplines de bases indispensables, telles que :

- La mécanique, l'électricité, l'électronique, l'énergétique (thermodynamique) ; les mathématiques, incluses dans les prérequis, glissent vers des spécialités jusqu'à présent réservées aux chercheurs (fractales, lois du chaos, statistiques bayésiennes, etc.) devenues indispensables dans le développement de systèmes complexes.
- La chimie devrait retrouver une place qu'elle a perdue dans la plupart des cursus ingénieurs généralistes français, eu égard aux évolutions en cours et à la *cross-fertilisation* des disciplines.
- Les bases de la biologie doivent également prendre place dans les formations traditionnellement dites des « sciences dures » avec la maîtrise de l'environnement et biomimétisme comme supports.
- La gestion des flux de données, des Systèmes d'Information (SI internes à l'entreprise / SI de réseaux partenaires) et des fondamentaux qui gouvernent l'univers digital (Mathématiques, statistiques, logiques, etc.).

Pour s'ajuster en continu aux besoins des marchés (des ingénieurs comme des entreprises) le socle devrait comporter une base stable et évolutive sur le temps long, et un « chapeau » transdisciplinaire, ajusté sur le temps court (annuel). Ce mécanisme se rapproche des processus adoptés et mis en œuvre dans la plupart des établissements référents observés.

1.2 Produire des raisonnements scientifiques robustes

Pour une grande part, la valeur ajoutée d'un ingénieur est sa capacité à résoudre des problèmes technologiques. Ses connaissances constituent une base fondamentale, qu'il fait évoluer au gré de ses besoins. Ses approches et méthodes constituent le second pilier du savoir-faire qu'il doit démontrer. Sa capacité à raisonner, c'est-à-dire à construire un enchaînement logique d'actions à partir de son diagnostic de situation, est un facteur de succès indéniable.

La complexification croissante des dispositifs technologiques requiert aujourd'hui une grande rigueur dans ces approches, d'autant qu'il s'agit de mettre en œuvre des connaissances sur des champs disciplinaires multiples (mécaniques, électroniques, automatismes, chimie, etc.). Louis Gallois voit ainsi la formation à la recherche *« comme [une] opportunité pour la rigueur méthodologique qu'elle apporte. »*

1.3 Être agile, autonome et capable d'intégrer un haut degré d'incertitude

L'hypothèse d'un avenir dans un monde VUCA tel que défini dans l'introduction, induit, de fait, d'augmenter les capacités d'adaptation des individus et des systèmes qui le composeront. *« Une spécialisation trop poussée ou des compétences trop généralistes ne cadreront plus avec les exigences du marché du travail. »*⁴

Pour s'adapter à de nouveaux enjeux technologiques, à de nouvelles questions et des situations plus complexes, l'ingénieur de demain devra augmenter sa capacité

“ L'ingénieur doit accepter de se former régulièrement ; il devra savoir évoluer. [...] Il faut préparer les esprits à la formation continue et aux remises en question profondes.

LOUIS GALLOIS

à faire évoluer ses connaissances et ses compétences. *« L'ingénieur doit accepter de se former régulièrement ; il devra savoir évoluer. [...] Il faut préparer les esprits à la formation continue et aux remises en question profondes. »* (Louis Gallois). Être humble sur ses savoirs et apte à défier ses certitudes seront des qualités recherchées.

C'est également en confrontant de manière significative les étudiants à des situations inconnues, incertaines et complexes, que les cursus d'enseignement contribueront à développer ces aptitudes en les amenant à développer des hypothèses dans des environnements non totalement maîtrisés. Les différents projets d'étudiants doivent donc comporter des phases de remise en question sous

4 / ATOS (2018, janvier). Journey-2020 : Les ondes de choc digitales dans les entreprises (p. 11).

contraintes fortes (environnementales, sociales, énergétiques, entre autres) et, de fait, être conduits en mode agile.

Les évolutions notamment technologiques et réglementaires de plus en plus rapides, voire volatiles dans certains secteurs d'activité, imposent de préparer les futurs acteurs de l'économie et de la société de demain à la gestion de situations immédiates de moins en moins prévisibles, tout en conservant une vision sur les fondamentaux d'un monde viable et vivable dans un contexte de préservation des équilibres environnementaux. À ce titre, les *«compétences de déconstruction de l'existant (déconstruire pour penser autrement les modèles, produits, process, etc) sont vraisemblablement en devenir»*.

L'importance et la profondeur des transformations à venir requièrent également de penser les solutions autrement. L'enseignement doit donc proposer des approches

Oser, Accélérer, Imaginer sont, pour moi, les trois mots qui caractérisent le mieux l'ingénieur de demain ; il devra s'affranchir des barrières mentales.

EMMANUEL CHIVA

qui conduisent les étudiants à oser les ruptures dans les représentations et les modes de pensées, comme le souligne Emmanuel Chiva : *« Oser, Accélérer, Imaginer sont, pour moi, les trois mots qui caractérisent le mieux l'ingénieur de demain ; il devra s'affranchir des barrières mentales. »*

1.4 Comprendre le numérique, ses impacts et son potentiel

En 2008, Google se targuait de pouvoir détecter les épidémies de grippe une semaine à dix jours plus tôt que le réseau américain officiel de surveillance. Cette déclaration portait déjà en elle toute la puissance du numérique et sa capacité à bousculer nos sociétés. Au-delà de la prouesse technique, elle annonçait toute la valeur de ceux qui seraient en capacité de traiter l'information et les données : collecte, stockage, analyse, segmentation, représentation, simulation, modélisation, etc. En se développant en profondeur dans un champ donné, le numérique a également élargi rapidement son périmètre d'intégra-

tion; des données chiffrées aux textes puis à la voix, aux images et enfin aux vidéos. Cet élargissement a de fait libéré tout le potentiel de la *cross fertilisation*, c'est-à-dire des innovations aux interfaces de domaines précédemment éloignés. Le bio et la mécanique symbolisent parfaitement le potentiel et la valeur de ces rapprochements.

**S'il n'est pas formé au digital,
l'ingénieur va être bloqué
dans son évolution.**
FRÉDÉRIC LISSALDE

La digitalisation et la numérisation ultra rapide de nos activités ont des impacts majeurs sur la presque totalité des métiers en créant de nouveaux besoins, en accélérant l'obsolescence d'autres, et en faisant évoluer les compétences

requis pour exercer dans presque tous les environnements. Les ingénieurs sont également concernés: «*S'il n'est pas formé au digital, l'ingénieur va être bloqué dans son évolution.*» (Frédéric Lissalde). Dans l'industrie, les spécialités⁵ avec une forte composante de compétences numériques sont aussi de plus en plus recherchées à l'horizon 2022, c'est-à-dire demain matin.

Le développement rapide du numérique dans toutes les activités, la digitalisation des processus et traitements, l'avènement de l'Internet des Objets (ou *Internet of Things*) et des capacités accrues de traitement des données ont également des impacts sur les chaînes de création de valeur que doit comprendre l'ingénieur. Fabrice Brégier explique: «*L'automatisation croissante et l'IA vont aider à traiter les tâches répétitives. L'homme doit donc apprendre à traiter ces masses de données collectées [pour savoir] comment les utiliser pour diminuer les coûts de production ou faire évoluer les processus, par exemple.*» Il doit donc appréhender dans son parcours la conception de systèmes et non plus simplement de produits.

Réussir demain reposera beaucoup sur la capacité à créer des collaborations étroites entre le monde des automatismes et des robots, et le monde des humains – dont la cobotique est vraisemblablement la première étape – ainsi

5 / World Economic Forum 2018 (2018, 17 septembre). *Future of Jobs Report 2018* (p.9, table 3).

qu'entre l'ensemble des fonctions de l'entreprise, de sa chaîne de partenaires à ses fournisseurs.

L'autre conséquence de la progression du digital est l'accès à l'information et donc à la connaissance avec Wikipédia, les MOOC (*Massive Online Open Course*), les tuto, etc. Cela renverse les logiques et les raisonnements passés : processus de décisions fondées sur la collecte d'informations, transformations managériales, aplatissage des organigrammes, montée en puissance des réseaux, etc. Ces mécanismes doivent faire l'objet d'une attention particulière dans les cursus d'enseignement tant ils bouleversent en profondeur le fonctionnement des organisations et des modèles managériaux.

Le numérique doit donc très rapidement prendre une place « augmentée » dans tous les champs disciplinaires et tous les projets de l'apprenti ingénieur. Ce dernier devra ainsi avoir appréhendé et/ou acquis au terme de son cursus :

- des capacités de modélisation et de simulation, de manipulation des modèles de données, de sécurité des systèmes et des données ;
- un esprit critique des résultats proposés sur la base des connaissances fondamentales acquises ;
- les impacts sur le fonctionnement des organisations, sur les métiers, les relations clients et fournisseurs ;
- les fondamentaux de l'usine 4.0, avec l'intégration croissante des différentes fonctions dans l'entreprise, du développement en amont aux services tels que la continuité numérique du développement, jusqu'à la mise en œuvre des moyens, rationalisation des cycles de production et des process, la flexibilité accrue et l'adaptation en quasi temps réel à la demande du client, et l'optimisation de la qualité, grâce à la maintenance productive ;
- la capacité à être en veille sur les technologies en gestation, en devenir et potentiellement disruptives (comme l'internet des objets ou la réalité aug-

mentée, par exemple) et les enjeux associés, tels que la protection des données personnelles, les bouleversements économiques et sociétaux, les défis de la propriété des données (surtout quand elle est partagée), entre autres.

En outre, le foisonnement quasi infini des informations accessibles a fait croître le risque de dispersion et de pertinence des résultats trouvés. L'apprentissage du numérique et des data en général devra donc comprendre le développement de méthodes de *sourcing* mais également le développement d'un esprit critique quant à la justesse des recherches.

1.5 Disposer d'une robuste culture du risque et de la Sécurité Globale

Trois caractéristiques majeures de nos sociétés et de nos projets induisent de développer rapidement un haut degré de culture et de maîtrise Risque-Sécurité. Il s'agit d'en comprendre les enjeux et la nécessité, comme les différentes réponses apportées par les technologies, la réglementation, les bonnes pratiques, etc.

Tout d'abord, la compétition mondiale s'est sensiblement durcie. De loyale (fondée sur le respect des mêmes règles) *«elle s'apparente de plus en plus à de l'hostilité entre les différents acteurs»* (Louis Gallois), et entraîne des dérives dans les usages et les pratiques. Les ingénieurs doivent, par leurs approches pragmatiques, contribuer à faire tomber une certaine *«naïveté française en la matière»*, de la cybersécurité à la protection de la propriété intellectuelle. Jean Paul Herteman rappelle d'ailleurs que : *«En chinois mandarin copier et inventer s'expriment avec le même idéogramme.»*

Ensuite, la complexité des projets s'est sensiblement accrue avec la montée en puissance des technologies et leur mise en œuvre concomitante et coordonnée. La conduite (voire la contribution) de projets complexes requiert d'appréhender les risques et de décider en conséquence. Jean Paul Herteman prend pour exemple l'accident ferroviaire de Brétigny sur Orge et les crashes de

Boeing 737 Max: « Tout déficit de maîtrise des risques, toute mauvaise évaluation, peut avoir des conséquences dramatiques: l'accident ferroviaire de Brétigny sur Orge, résulte d'un défaut de serrage des boulons d'éclisse qui a entraîné une rupture en fatigue, une notion inconnue ou non prise en compte par les responsables de l'entretien des voies. Les accidents de l'avion Boeing 737 Max, seraient apparemment dus à des modifications du système de vol mal contrôlées, à une mauvaise évaluation des risques et à une formation insuffisante des pilotes. »

Enfin, force est de constater que l'aversion au risque croît dans nos sociétés dites « modernes » au fur et à mesure de leur meilleure maîtrise. Concrètement, les petits risques deviennent aujourd'hui plus insupportables qu'hier alors même que des dispositions efficaces ont été prises pour nous prémunir de risques majeurs. Une panne d'équipement autrefois acceptée, devient aujourd'hui insupportable, aussi bien en termes de coûts financiers qu'humains.

La fréquence des pannes diminuant avec l'amélioration de la robustesse et de la qualité des systèmes et des composants, le mot « panne » a paradoxalement disparu des risques dans de nombreux secteurs de l'économie et avec lui le sens de l'action de dépanner. Les financiers y virent une source de gain immédiat qui se révéla catastrophique (la panne d'un composant électromécanique dans un poste d'aiguillage SNCF, par exemple.) C'est la raison pour laquelle la culture du risque est de nouveau recherchée ainsi que la connaissance des techniques d'analyse de défaillances (qui ne bénéficie d'aucun enseignement formel en France).

Les multiples dimensions de la gestion du risque doivent donc désormais être totalement intégrées à la formation d'un ingénieur: approches statistiques pour la détection et l'analyse, principales réglementations existantes et historique de leurs constructions, voies et moyens des traitements appropriés, assurances, etc.

1.6 Maîtriser les approches système et les systèmes complexes

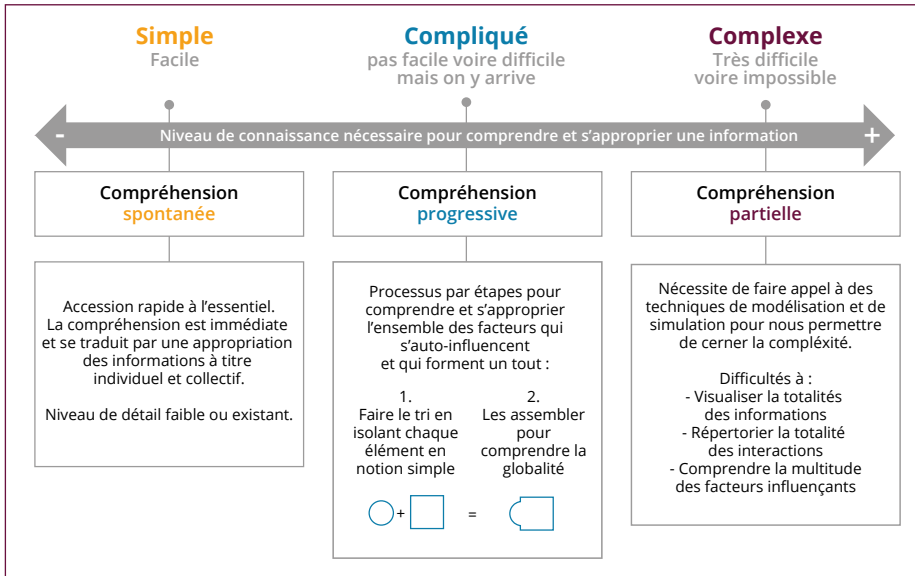
Le fonctionnement mécanique d'une horloge ou d'un moteur de voiture peut nous sembler compliqué mais nous sommes capables d'expliquer clairement son fonctionnement car nous savons quelle incidence a un composant mécanique ou électronique sur un autre. L'approche la plus efficace pour comprendre un dispositif compliqué est de le décomposer en éléments simples pour être ensuite capable de les réassembler.

L'ingénierie classique sépare les fonctions, standardise les éléments de base, et assemble ces derniers comme au jeu de Legos. C'est ce modèle de raisonnement qui a permis de concevoir et de développer une multitude de machines et de logiciels, et de les perfectionner « à l'infini ». Cette approche a longtemps prévalu et a créé des organisations compartimentées par disciplines. Les entreprises ont organisé leur fonctionnement de manière verticale, en logique métier et/ou expertise, et les établissements d'enseignement supérieur se sont développés autour de champs disciplinaires parfaitement identifiés.

La notion de complexité est, quant à elle, attachée à la difficulté, voire à l'impossibilité, de comprendre complètement le fonctionnement, la structure ou de trouver la finalité d'un système, donc a fortiori d'anticiper le résultat. Cette non-linéarité rend difficilement mesurable la relation entre les inputs et les outputs. Edgar Morin précise que la complexité existe quand notre niveau de connaissance ne nous permet pas d'apprivoiser l'ensemble des informations. Ainsi, le corps humain est complexe car il est composé d'une multitude de choses différentes comme des atomes, des bactéries, des tissus, des nerfs, des muscles, des neurones, de la peau, de l'eau, le tout faisant ce que nous sommes et il nous est très difficile de comprendre comment tout cela interagit exactement.

Dans son cursus et ses apprentissages, l'apprenti ingénieur devra ainsi apprendre à sortir de son silo métier, à assurer la transversalité entre les acteurs de champs disciplinaires parfois éloignés, et à développer fortement sa capacité à créer des coopérations opérationnelles.

FIG.1 : Différence entre compliqué et complexe



Source: <https://www.simplixi.fr/difference-complexe-et-complique/>

L'ingénieur de demain disposera des capacités à appréhender la complexité des systèmes, par son aptitude à faire la synthèse de plusieurs disciplines.

GÉRARD MARDINE

Soutenir la croissance de systèmes complexes, c'est être en capacité de maîtriser leur développement, leur pilotage en phase d'exploitation ainsi que leur adaptation et leur maintenance. Le concept de VUCA world fait référence à la complexité croissante des situations auxquelles sont confrontés les décideurs et les entrepreneurs,

et in fine ceux qui ont à en concevoir les solutions, le pilotage et la mise en œuvre. Il importe donc de développer les approches adéquates. Interrogé sur le sujet, Gérard Mardine pense que « l'ingénieur de demain sera "système" au sens où il disposera des compétences et des capacités à appréhender la complexité des systèmes, par son aptitude à faire la synthèse de plusieurs disciplines. [...] Tel le pilote d'avion qui, s'il n'est pas le concepteur de la machine, doit toutefois en comprendre les chaînes de transformation et les zones de risques pour en maîtriser la complexité, surtout en phase critique (gestion des incidents). »

**La complexité toujours plus grande
demandera des explications
que seuls les ingénieurs auront
les moyens de produire, à condition
de sortir du cloisonnement
purement technique.**

GÉRARD BRESCON

L'ingénieur d'aujourd'hui n'a donc pas la capacité de comprendre spontanément un système complexe ; il lui faut le modéliser et le simuler pour tenter de cerner cette complexité. Dans son cursus et ses apprentissages, l'apprenti ingénieur devra ainsi apprendre à sortir de son silo métier, à assurer la transversalité entre les

acteurs de champs disciplinaires parfois éloignés, et à développer fortement sa capacité à créer des coopérations opérationnelles.

1.7 Générer de la valeur

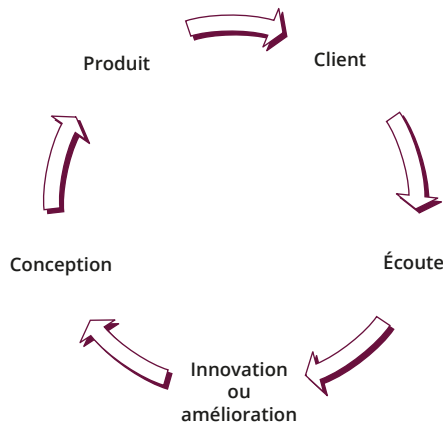
La raison d'être d'une entreprise est d'apporter à ses clients un produit et/ou un service qui ait de la valeur à leurs yeux, et qu'ils seraient prêts à échanger contre monnaie sonnante et trébuchante. La valeur dite « ajoutée » est indispensable

**Oser entreprendre est important
et fait la différence,
il faut créer de la valeur ajoutée.**

JEAN SOUCHAL

au bon fonctionnement d'une entreprise. Initialement, et d'un point de vue comptable, la valeur ajoutée s'évaluait par la marge directe dégagée sur le produit ou le service vendu.

FIG.2 : Cycle de génération de valeur



Elle est désormais plus immatérielle car s'y ajoute une notion de compétences offertes aux clients ainsi que des services annexes, voire une image et une notoriété. La création de valeur ajoutée s'appuie donc sur plusieurs leviers : développer un savoir-faire, c'est-à-dire une compétence particulière qui rend ses produits uniques ou différents aux yeux des clients, innover par un service nouveau ou améliorer un produit existant par une attention rigoureuse portée aux besoins et usages du client, et, ainsi, se différencier de la concurrence.

La recherche accrue de performances opérationnelles, de réactivité et de facteurs différenciant par les entreprises, repose de plus en plus sur la capacité des hommes et des femmes qui constituent ces organisations, à être générateurs de valeur à tous les niveaux. Selon Vincent Bouffard, *« cela implique pour le futur ingénieur d'avoir la capacité à agglomérer en comprenant parfaitement le client tout en ayant le bon discours marketing. Il faut donc des profils techniques mais avec une vision globale. »*

Il devra également connaître et maîtriser les principales logiques du fonctionnement humain et culturel, pour privilégier et agir sur son environnement en logique de résultats, c'est-à-dire en créant de la valeur à toutes les étapes (à la différence de la logique d'activité qui consiste à se conformer au cadre et faire les choses parce que les procédures, les règlements, les habitudes, le client, la hiérarchie, etc le notifie.)

1.8 Développer les humanités

La montée en puissance des traitements digitaux laisse penser qu'à très court terme, de nombreuses activités seront automatisées et réalisées par les machines. La rapidité des traitements et les immenses capacités de stockage des données vont bouleverser les positions et les relations hommes-machines. Les modes d'organisation et d'association actuels s'en trouveront eux-mêmes affectés et d'autres formes de coopérations verront le jour, portées par les opportunités nouvelles qu'offre le digital, comme par les contraintes associées.

Le leader sera celui qui saura aider à passer les caps technologiques.

Le manager de demain (donc l'ingénieur) sera concentré sur la transmission plus que sur le reporting et les KPI.

GÉRARD BRESCON

L'un des premiers enjeux sera celui de maintenir une direction commune et de fédérer les équipes, alors que les repères classiques sont reconfigurés. Ainsi, selon Gérard Brescon, « *Le leader sera celui qui saura aider à passer les caps technologiques. Le manager de demain (donc l'ingénieur) sera concentré sur la transmission plus que sur le reporting et les KPI.* » Il sera alors essentiel de « *renforcer l'intelligence émotionnelle, la confiance en soi et l'humilité* » (Jean Souchal).

La diversité des modes de pensées et de raisonnement constituera alors une réelle richesse si elle est canalisée opportunément. L'ingénieur de demain devra ainsi être capable de travailler de manière collaborative et d'encourager l'entraide, tout en étant sensible aux défis qu'entraîne la multiculturalité. Frédéric Lissalde en résume le parcours de la manière suivante : « *Le cursus des ingénieurs doit les former à l'intelligence émotionnelle, à la diversité et aux soft skills. Il doit les amener à apprendre l'humilité et des valeurs humaines sur lesquelles ils s'appuieront pour travailler en équipe dans un monde multiculturel. Le cursus*

Le cursus des ingénieurs doit les former à l'intelligence émotionnelle, à la diversité et aux soft skills.

FRÉDÉRIC LISSALDE

doit aussi leur permettre de développer une plus grande conscience de soi et un regard critique sur les biais cognitifs. » Cela ne doit néanmoins pas se développer au détriment de la culture technique. Les élèves ingénieurs doivent donc

impérativement saisir les enjeux des dynamiques humaines internes aux entreprises et aux organisations. Ils doivent apprendre à en identifier et maîtriser les codes, pour s'y inscrire efficacement et rapidement.

Si les Écoles doivent spécifier les besoins du socle minimal de connaissances et les évaluer, en revanche l'effort d'apprentissage de ces compétences et de savoir-être ne peut leur incomber uniquement. Les contributions sont multiples et reposent complémentirement sur toutes les activités sociales des étudiants dans leurs parcours, donc sur la vie étudiante et sociale, dans et hors de l'École, comme sur les expériences de vie en entreprise, lors des périodes de stages et des premiers emplois.

1.9 Être communicant

«L'homme qui a des idées et qui ne sait pas les communiquer, n'est pas plus avancé que celui qui n'en a pas.» disait Platon. En 2020, la performance d'une organisation repose en grande partie sur sa capacité à organiser des réseaux internes (le socio-graphique) et des coopérations efficaces autour de projets. Fédérer, faire adhérer, motiver, négocier et faire évoluer les opinions sont des qualités aujourd'hui indispensables à tout leader en entreprise, qu'il soit expert, technicien ou manager. Ces savoir-faire ou compétences reposent essentiellement sur les capacités de communication, tant orale qu'écrite, ainsi que sur une culture générale robuste.

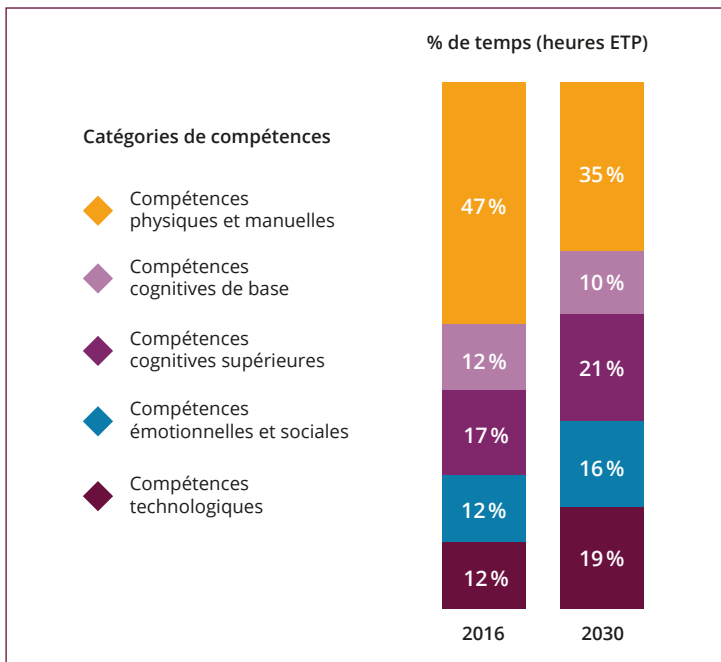
Au titre de la performance et de l'efficacité de sa communication, l'ingénieur devra alors apprendre et mettre en œuvre une communication explicite. Ce mode de communication est particulièrement contre-culturel pour les Français qui lui préfèrent la forme implicite et évitent d'évoquer les sujets de manière frontale. Les approches de la communication explicite répondent pourtant mieux aux exigences du travail en mode projet, surtout s'il est multiculturel et international. Il est à noter que la pratique de l'anglais des affaires contribue activement au développement de cette culture, beaucoup plus naturelle chez les Anglo-Saxons. Son usage dans les enseignements pourrait donc être envisagé.

En outre, le développement de l'économie numérique a considérablement renforcé la nécessité de communiquer au sens d'informer, de faire savoir et de raconter une histoire (le *storytelling*). En effet, le numérique et Internet ont multiplié les médias, les moyens et les outils disponibles pour informer et communiquer, tant à l'écrit qu'à l'oral : posts, blogs, webinars, MOOCs, conférences TED... Issus pour la plupart de la société civile, ces outils sont peu à peu intégrés par les entreprises pour développer leurs performances, leur agilité, et *in fine* leur capacité à créer de la valeur. Savoir exposer ses idées, mobiliser l'attention, transmettre, convaincre deviennent alors des aptitudes précieuses pour réussir ses projets au sein des entreprises et des organisations en général. Elles sont utilisées aussi bien dans les relations internes (au sein des équipes, entre équipes, avec les directions) que dans les relations externes (rapports avec et pour les clients, les partenaires, les institutionnels), et contribuent directement à l'image de l'employeur.

Les ingénieurs doivent donc maîtriser les enjeux de cette communication et savoir s'en approprier rapidement les codes et les outils pour leurs besoins. Ils doivent, aujourd'hui plus que jamais, apprendre à sortir des espaces du rationnel que développe nécessairement l'apprentissage dense des sciences et des techniques, pour découvrir les espaces de l'émotionnel qui résident dans les relations humaines.

Du fait de la digitalisation, de l'automatisation-robotisation croissante des processus, les emplois demandent de plus en plus de capacité cognitives, de savoir-être et de compétences technologiques⁶ pour valoriser l'humain par rapport à la machine.

FIG.3 : Évolution des catégories de compétences demandées dans l'industrie manufacturière



Source: McKinsey Global Institute, *Skill Shift Automation and the Future of the Workforce*, May 2018.

6 / McKinsey Global Institute (2018, mai). *Skill shift automation and the future of workforce*. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/skill-shift-automation-and-the-future-of-the-workforce#>

Les critères de recrutement sont parmi les indicateurs majeurs de ces nouvelles compétences recherchées et l'observation des évolutions récentes est à ce titre éloquent : 60 % des employeurs estiment que les compétences comportementales sont plus importantes que les compétences techniques⁷, et la créativité est classée de plus en plus haut dans la liste des compétences indispensables en passant du 10^e rang en 2015, au 6^e rang⁸ en 2017 et au 3^e en projection 2020, selon les enquêtes. Les mentions spécifiques aux *soft skills* sont aujourd'hui courantes dans les recrutements nationaux et internationaux⁹.

1.10 Intégrer les dimensions éthiques

Au-delà des connaissances et des compétences acquises au fil des cursus, la plupart des interviews a permis de mettre en évidence des qualités et caractéristiques fortes et très différenciantes attendues des ingénieurs. Souvent évoquées comme des qualités et des sensibilités personnelles intrinsèques des étudiants, elles prennent racines en amont de leur cycle de formation, dans la culture et l'ouverture d'esprit. Elles pourraient très utilement faire l'objet d'évaluation ou d'appréciation avant le cycle de qualification, dès la sélection à l'entrée, comme c'est pratiqué par la plupart des universités étrangères équivalentes.

En 2020, les innovations naissent le plus souvent aux interfaces entre les disciplines. La capacité à se saisir d'autres disciplines, à en comprendre les codes et le langage, à construire des ponts, à apporter des réponses aux dysfonctionnements ou à construire des services nouveaux, sont des compétences de plus en plus recherchées et valorisées. Il est donc logique que les traits de personnalités les plus attendus pour les ingénieurs de demain soient la curiosité, l'ouverture et le multiculturalisme.

7 / Diallo, D. (2019, 31 octobre). *Les 10 compétences les plus recherchées par les employeurs*. Nouvelle vie professionnelle. <https://www.nouvelleviepro.fr/actualite/536/les-10-competences-les-plus-recherchees-par-les-employeurs>

8 / Boyer, C. (2017, 21 février). *Les 20 qualités qui séduisent le plus les recruteurs*. *Les Echos/Start*.

9 / World Economic Forum 2018 (2018, 17 septembre). *Future of Jobs Report 2018*. http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2018.pdf

Longtemps considérés comme du « *window dressing* »¹⁰, la prise en compte des préoccupations sociales et environnementales par les organisations et les entreprises devient progressivement réalité. La pression sociétale et la communication de faits et de chiffres concrets tendent à augmenter sensiblement le nombre d'entreprises qui se saisissent véritablement de leurs responsabilités sociétales. L'intégration croissante de la RSE (Responsabilité Sociétale des Entreprises) dans

**L'ingénieur de demain
devra savoir comprendre
les besoins de la population – et
pour cela intégrer une forme
d'intelligence sociale – plutôt que
de réaliser une prouesse technique.**

BENOÎT LEGUET

les stratégies et les systèmes de management oblige les ingénieurs et les cadres à développer leur « intelligence sociale » avec les qualités, les connaissances et les compétences *ad hoc* telles que l'empathie, l'animation, la résolution de problèmes complexes (et non seulement techniques) ou encore l'ouverture à la différence.

L'étude mondiale Deloitte, Tendances RH 2018¹¹, réalisée auprès des directions de Ressources Humaines confirme, en effet, que les résultats financiers seuls ne suffisent plus. L'entreprise doit désormais s'intéresser à son impact social et sociétal. Ainsi, selon Henri Marchetta, « *parmi toutes les compétences qu'une formation peut proposer, la RSE est celle qui devra être maîtrisée avant l'entrée dans le monde du travail. C'est la complexité des enjeux et de leurs interactions qui requiert une formation structurée.* »

L'humanisme et l'émotionnel sont également indispensables pour créer la sérénité et la confiance dans les relations professionnelles. Ces qualités ont été inhibées dans la vie contrainte qui s'est imposée à la fin du XX^e siècle dans nos sociétés, et pas uniquement au travail. Un long chemin reste à parcourir pour les retrouver. Cette quête, si elle n'a pas pu naître au sein de la famille, doit être initiée au cours de la formation des ingénieurs qui, dans les équipes et groupes qu'ils animeront, devront naturellement veiller à ce que les ruminations, la

10 / On appelle opérations de *window-dressing*, des opérations faites en fin d'année pour embellir les états financiers.

11 / Deloitte. Tendances RH 2018. <https://www2.deloitte.com/fr/fr/pages/talents-et-ressources-humaines/articles/tendances-rh-2018.html>

principale maladie des états d'âme, comme le mentionne Christophe André, n'apparaissent pas¹², pour garantir un bon climat mental de groupe.

Il y a également un besoin d'intégrer la dimension éthique dans la formation de l'ingénieur.

FRANÇOIS TADDÉI

Le rôle du corps professoral et des formateurs dans cette acquisition, beaucoup plus subtile que celle des compétences relationnelles, est fondamental car il a valeur d'exemple. François

Taddéi le rappelle : *« Il y a également un besoin d'intégrer la dimension éthique dans la formation de l'ingénieur. Des études montrent que le niveau d'empathie et la capacité d'intégrer une réflexion éthique diminue avec le nombre des années d'études. L'enseignement doit donc ouvrir la pensée de l'ingénieur à ces domaines. »*

Avec la loi PACTE de 2019, le développement de la « raison d'être » et des entreprises à mission¹³, il convient d'anticiper une accélération des préoccupations sociales et environnementales dans nos entreprises et, avec elles, une évolution des profils des ingénieurs capables d'embrasser ce champ de contraintes pour le restituer en champs d'opportunités.

12 / André, C. (2019, mars). Que nous disent nos états d'âme. *Cerveau & Psycho*.

13 / Haverland, A. (2020, 26 juin). *Danone, pionnier de l'entreprise à mission*. L'usine Nouvelle. <https://www.usinenouvelle.com/article/danone-pionnier-de-l-entreprise-a-mission.N977736>



LES SYSTÈMES DE FORMATION DE DEMAIN

Ce chapitre regroupe l'ensemble des observations et remarques des personnalités interviewées, concernant les dispositions d'enseignement, de recherche et de mise en situation des étudiants qui concourent à leur formation.

Il s'agit de propos, de réflexions concernant l'organisation des enseignements, les modalités de transmission et de développement des compétences, ayant un impact sur le « produit final », c'est-à-dire sur l'ingénieur dont les entreprises vont avoir besoin dans un futur déjà très proche.

2.1 L'interdisciplinarité pour passer du compliqué au complexe

Les ingénieurs d'hier ont appris à résoudre des problèmes compliqués. Ceux d'aujourd'hui, et plus encore ceux de demain, vont être confrontés à des situations complexes¹⁴.

¹⁴ / <https://www.simplixi.fr/difference-complexe-et-complique/>

Les organisations qui traitent des systèmes complexes ont adapté leur mode de fonctionnement à ces contraintes, en introduisant une dimension interdisciplinaire de plus en plus grande. Par exemple, la complexification croissante des systèmes automobiles a entraîné l'apparition et la généralisation des plateaux techniques pour leur développement. Ces logiques projets se répandent peu à peu dans toutes les entreprises, favorisant les coopérations transdisciplinaires.

Pour préparer les ingénieurs de demain à la conception et à la gestion de systèmes et de situations complexes, les systèmes d'enseignement doivent, dès aujourd'hui, prendre en compte cette dimension dans leur fonctionnement interne, mais également dans les projets mobilisant les étudiants. Comme le souligne Jean Brunet: *« la complexité de la technologie est inhibitrice de la compréhension quand elle est enseignée sans en avoir donné le sens. [...] Dans un projet, vous avez plus besoin de la cohérence globale que du détail, et de savoir hiéran-*

La complexité de la technologie est inhibitrice de la compréhension quand elle est enseignée sans en avoir donné le sens.

JEAN BRUNET

chiser la connaissance dont les détails peuvent être acquis par des formations plus profondes. » À ce titre, l'interdisciplinarité doit rapidement prendre une place majeure dans les projets et enseignements.

De ce fait, le Centre Michel SERRES¹⁵ et son approche multiculturelle de problématiques complexes, pourrait être une des sources d'inspiration pour les évolutions à conduire rapidement. En effet, la vocation de cette entité est d'apporter des réponses concrètes et interdisciplinaires aux défis contemporains, sociaux, environnementaux, culturels et économiques des acteurs de la transformation des territoires et des organisations. Ces solutions sont apportées en interaction forte avec les partenaires du monde socio-économique (que ce soit des entreprises ou des institutions) à travers notamment des projets d'innovation concrets et utiles.

Le Centre recrute des apprenants issus de toutes les formations, sans restriction, afin de garantir la pluridisciplinarité qui fait sa plus-value, et les rend

¹⁵ / <https://www.hesam.eu/index.php/article-quest-ce-que-le-centre-michel-serres>

acteurs de leur formation. Ils participent pleinement aux travaux et études le temps d'un projet d'innovation de cinq mois ou d'un diplôme de deux ans ; ils apportent ainsi leur vision et leur savoir, et se retrouvent en retour enrichis de ceux des autres apprenants.

Outre la familiarisation avec des situations que les étudiants rencontreront dès leurs premières missions professionnelles, le développement d'approches par des projets interdisciplinaires, voire transdisciplinaires, présente également de grands avantages pour l'ensemble des *soft skills*, dont la plupart se développe par la pratique et l'expérience. Les projets représentent donc de formidables occasions de faire prendre conscience, de transmettre et d'évaluer sur le terrain les aptitudes telles que :

- l'agilité, l'autonomie et la gestion de l'incertitude ;
- la capacité à coopérer et le leadership ;
- le sens relationnel et la communication ;
- la curiosité et l'ouverture d'esprit.

2.2 Pistes de réflexion pour les approches pédagogiques du futur

Avec le digital, l'accès aux connaissances et aux savoirs est bouleversé. Toutes les connaissances – au sens de l'immense volume de connaissance produite chaque année, qui s'ajoute à celles déjà disponibles – tiennent aujourd'hui dans la main et sont « portables ». L'accès au savoir n'est plus l'apanage des structures dont cela a longtemps été la mission (les universités, les écoles, les instituts, etc.). Il est désormais une valeur croissante qui rend opérationnels les savoirs acquis et les transforme en compétences en donnant du relief aux informations « plates ».

Les systèmes de formation de demain reposeront moins sur des « maîtres-sachant », transmetteurs de leurs savoirs, que sur des créateurs d'expériences et des « coach de parcours ». Il s'agira de coordonner collectivement des mises en situation propres à révéler les potentiels, à orienter les choix et évaluer les acquis.

2.2.1 CULTIVER LES CURIOSITÉS, OUVRIR LES ESPRITS, VOIR AILLEURS ET AUTREMENT

Que ce soit au sein de l'entreprise, avec ses clients, ses fournisseurs ou ses partenaires, au XXI^e siècle, l'ingénieur travaille dans des environnements multiculturels au sens large. Il comprend, bien entendu, les autres cultures au sens de l'international, mais également les autres modes de fonctionnement et de logique issus de son environnement proche. La croissance et le développement des technologies dans toutes les sphères de nos vies requièrent des ingénieurs capables de discuter, de comprendre et de raisonner comme un médecin, un artiste ou un notaire.

Être curieux des autres techniques, des autres activités, des autres modes d'organisation productive, y compris dans d'autres secteurs d'activités, apprendre à penser autrement, « *out of the box* », est le prix à payer pour innover, améliorer en continu et apporter de la valeur. Pour Frédéric Lissalde, il est important

Il est important pour l'ingénieur d'apprendre à ne pas accepter le statu quo, à le questionner.

FRÉDÉRIC LISSALDE

pour l'ingénieur « *d'apprendre à ne pas accepter le statu quo, à le questionner. Est-on obligé de faire comme d'habitude ? Cela se travaille au niveau de l'état d'esprit, du mindset.* »

La mobilité internationale suppose une bonne compréhension des cultures différentes et non uniquement l'apprentissage des langues. Ainsi, l'ingénieur de demain devra maîtriser plusieurs langues étrangères, mais également les modes de pensée associés et leurs différences. La confrontation à des *natives* lui apportera les éléments fondamentaux pour entrer dans les codes implicites et construire ainsi des coopérations efficaces.

2.2.2 OSER L'ÉCHEC

Avant de savoir marcher seuls, nous avons appris à tomber et à nous relever. L'échec fait partie de la vie humaine et pourtant, en 2020, sa place reste portion congrue dans les enseignements. L'échec, bien géré, est pourtant un profond stimulant, générateur de postures constructives face à l'adversité des si-

tuations. « Le succès c'est d'aller d'échec en échec sans perdre son enthousiasme » disait Winston Churchill. Or, pour générer de la valeur, l'ingénieur devra, tout au long de son parcours, entreprendre et donc prendre des risques. Il le fera d'autant plus volontiers qu'il aura dépassé sa peur d'échouer au préalable.

Si le système éducatif français s'est essentiellement construit sur la valorisation de la réussite, des études ont permis de démontrer que l'échec joue un rôle important dans le domaine de l'apprentissage et qu'il est possible de l'utiliser à des fins pédagogiques. En effet, les erreurs font parfois office de catalyseurs pour initier un raisonnement sur les causes de l'échec, ce qui enrichit le modèle mental de l'apprenant, transférer ce mode de raisonnement à des situations nouvelles¹⁶ et créer des solutions innovantes face à des situations inconnues.

C'est en considérant l'échec comme une forme d'apprentissage digne que l'on développe la confiance en soi, et par conséquent, sa capacité à oser, à ouvrir

Il faut apprendre à accepter le risque comme paramètre de l'innovation sans lequel l'innovation n'est pas possible.

EMMANUEL CHIVA

des voies nouvelles et à intégrer sereinement des degrés d'incertitude élevés. Il faut « apprendre à accepter le risque comme paramètre de l'innovation sans lequel l'innovation n'est pas possible. » (Emmanuel Chiva).

2.2.3 DES PARCOURS AGILES POUR DES INGÉNIEURS AGILES

L'accroissement exponentiel des connaissances technologiques contraint à faire des choix de plus en plus délicats. Les écoles doivent être en mesure d'offrir l'accès à un vaste ensemble de savoirs et de compétences, régulièrement actualisés. Elles peuvent de moins en moins dispenser un tronc commun « uniforme » tant la diversité de l'offre et des besoins s'élargit. La multitude des champs technologiques va imposer des choix que l'étudiant devra faire au fil de son cursus, en fonction de ses domaines d'appétence et ses orientations professionnelles.

16 / Tawfik, Andrew A., Rong, Hui, & Choi, Ikseon. (2015, décembre). Failing to learn: towards a unified design approach for failure-based learning. *Educational Technology Research and Development*. 63(6), 975-994. doi:10.1007/s11423-015-9399-0

**Avec l'émergence de la formation
"aux compétences" et la régression
de la formation "généraliste",
l'individualisation et la
personnalisation de la formation
initiale vont croître.**

HENRI MARCHETTA

Accompagner les parcours pour renforcer les capacités de réussite et d'épanouissement des futurs ingénieurs deviendra progressivement un savoir-faire différenciant des établissements d'enseignement. Ainsi, comme le souligne Henri Marchetta, «avec l'émergence de la formation "aux compétences" et la régression de la

formation "généraliste" qui ne peut plus intégrer le foisonnement des innovations, l'individualisation et la personnalisation de la formation initiale vont croître.»

Apprendre à capter l'évolution rapide des besoins des entreprises va également nécessiter la mise en œuvre de process de captation des informations et de traitement de celle-ci, pour :

- « adapter et créer rapidement les enseignements en fonction de l'évolution du monde économique ;
- savoir ajouter, modifier ou retirer les enseignements en harmonisant les programmes et les cursus ;
- créer une relation étroite entre formation et recherche appliquée. » (Henri Marchetta)

Si l'on peut craindre la propagation d'un haut degré d'incertitude du monde de l'entreprise vers le monde de l'enseignement, on peut aussi espérer que des activités pédagogiques diversifiées offrent aux étudiants la possibilité de faire des choix éclairés et augmentent leur motivation à apprendre¹⁷. Dans la plupart des écoles d'ingénieurs, l'étudiant est, en effet, peu sollicité et peu mis à contribution pour prendre en main sa formation, comme on peut le lui demander en faculté ou, plus encore, dans des établissements étrangers. Pourtant participer aux décisions concernant son orientation, c'est augmenter son engagement

17 / Tremblay-Wragg, É., Raby, C., & Ménard, L. (2018). En quoi la diversité des stratégies pédagogiques participe-t-elle à la motivation à apprendre des étudiants ? Etude d'un cas particulier. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, 34(34(1)). <http://journals.openedition.org/ripes/1288>. Accessed January 12, 2020

dans l'apprentissage, cultiver son autonomie par la pratique, accroître son agilité et sa capacité d'adaptation à des environnements technologiques différents selon ses options pour, *in fine*, construire un socle scientifique robuste.

2.2.4 PÉDAGOGIE PAR PROJETS

La pédagogie par projets est une méthode où une large part de contrôle est laissée aux étudiants en ce qui concerne leur formation, et vise le transfert et l'intégration des connaissances. C'est le modèle qui répond le mieux aux exigences et aux pratiques professionnelles de ce début du XXI^e siècle, tant par la maîtrise des méthodes que pour sa capacité à donner du sens aux enseignements. Il permet, en outre, d'engager cognitivement les apprenants à se questionner sur les ressources à développer et de susciter la recherche de solutions¹⁸. Une très grande liberté d'action caractérise cette formule, qui peut ainsi s'adapter aux champs d'intérêt divers des apprenants et se révéler particulièrement motivante. L'apprentissage par projets¹⁹ transversaux devrait donc se généraliser progressivement pour englober presque tous les champs disciplinaires.

Les expérimentations dans ce domaine sont nombreuses et l'une des plus emblématiques du moment est sans doute celle de L'école 42 fondée en 2013 par Xavier Niel. «*Sa pédagogie est basée sur le peer-to-peer learning : un fonctionnement participatif, sans cours, sans professeur, qui permet aux étudiant(e)s de libérer toute leur créativité grâce à l'apprentissage par projets.*²⁰» Il semble que l'analyse de cette école montre un système cohérent. La pédagogie est évolutive, elle se trouve en perpétuelle discussion, changeant rapidement au gré des essais-erreurs. La forte montée en puissance du digital à la fois dans les

18 / Lafortune, L. (2010). Pédagogie du projet et développement des compétences transversales : un changement de posture pédagogique. *Education Canada*, 39(5).

19 / Aguirre, E., & Raucourt, B. (2002, mai). *L'apprentissage par projet... Vous avez dit projet ? Non, par projet !* [colloque], 19^e colloque de l'Association Internationale de Pédagogie Universitaire (AIPU), Louvain-la-Neuve-Belgique (Vol. 29).

20 / Liu, T. (2016, janvier). L'école 42 : la liberté au cœur de l'apprentissage ? *Quelles éducations au numérique en classe et pour la vie ?* [Colloque Didapro6–Didactique de l'informatique et des STIC, Namur, Belgique].

parcours, mais également dans la culture des générations d'étudiants à venir requiert ce type d'expérimentation²¹.

2.3 Interagir intensément avec les professionnels

En France, l'une des caractéristiques distinctives des écoles d'ingénieurs par rapport aux parcours universitaires équivalents, est sans aucun doute la forte proximité avec les entreprises. Bien qu'il n'existe pas de modèle absolu, ce rapprochement offre de multiples avantages dont celui, pour les premières, de disposer de capteurs fiables et réactifs quant aux besoins des secondes.

Si les écoles les plus anciennes disposent de réseaux d'Alumni structurés qui assurent une partie des relations avec le monde économique, presque toutes ont mis en place des relations formelles à plusieurs niveaux. Ces relations restent cependant, en 2020, de faible intensité si l'on compare aux pratiques des établissements de référence d'autres nationalités et aux écoles de commerce ou de gestion, et gagneraient à être intensifiées.

2.3.1 ACCUEILLIR LES ENTREPRISES AU SEIN DE L'ÉCOLE

S'agissant de la formation des élèves, les partenariats de type « Chaire de formation » permettent une adéquation agile entre les besoins des entreprises, leurs réalités scientifiques, technologiques et économiques, et les programmes d'enseignement. Les interactions pourraient également être développées en ouvrant aux entreprises la possibilité de participer aux instances de gouvernance des écoles, et notamment aux comités de pilotage des filières de formation. Les entreprises partageraient ainsi leurs préoccupations et leurs attentes sur les champs de compétences complémentaires aux fondamentaux, comme les *soft skills* par exemple, qui vont de la gestion de projet à la capacité à tra-

²¹/ Voir l'étude spécifique du Think Tank Arts & Métiers, sur l'attractivité de la filière technologique auprès des jeunes générations.

vailer en équipe²². Cette proximité profiterait également aux écoles qui pourraient, grâce à ce contact étroit, mettre en place une pédagogie réactive et en lien avec les évolutions du marché de l'emploi des ingénieurs.

Rapprocher écoles et entreprises, c'est également permettre une meilleure acculturation des étudiants et des enseignants-chercheurs aux logiques de fonc-

**Créer de nouvelles compétences
plus transversales avec des
intervenants experts qui doivent
avoir une grande mobilité
entre enseignement, industrie
et recherche.**

HENRI MARCHETTA

tionnements professionnels. Il pourrait donc être intéressant, selon Henri Marchetta de « créer de nouvelles compétences plus transversales avec des intervenants experts qui doivent avoir une grande mobilité entre enseignement, industrie et recherche. »

La recherche contractuelle devrait se développer plus encore aux bénéfices des deux parties. Ce point de contact privilégié avec les entreprises offre aux établissements de formation, de formidables opportunités pour appréhender les défis des industriels en « avance de phase ». Il est producteur de nouvelles compétences donc de facteurs différenciants pour le futur. Pour les industriels et les entreprises en général, il représente également un canal important d'appropriation de nouvelles compétences, complémentairement à celui du développement ou de la mise au point d'innovations.

Cette imprégnation du monde de l'entreprise s'opère aussi à l'intérieur des établissements grâce à la mise en place de la pédagogie par projets qui relie les connaissances à l'action. Répartis tout au long du cursus, les projets prennent en compte plusieurs nécessités actuelles :

- l'aspiration des élèves-ingénieurs à une plus grande participation aux enseignements ;
- l'évaluation, en situation, des enseignements reçus ;
- l'intégration pratique de savoirs pluridisciplinaires.

22 / Lucas, T. (2016, 22 mars). Écoles d'ingénieurs cherchent entreprises. Usine nouvelle. <https://www.usine-nouvelle.com/article/ecoles-d-ingenieurs-cherchent-entreprises.N384512>

Ce type d'organisation du travail est une réalité à laquelle l'ingénieur est confronté dès son arrivée dans l'entreprise. La pédagogie par projets place donc l'étudiant dans une situation représentative de son futur métier, tout en bénéficiant d'un accompagnement pédagogique structuré.

2.3.2 S'OUVRIRE AU MONDE DU TRAVAIL

Aujourd'hui, les recruteurs sont unanimes : le diplôme est important mais il ne suffit plus forcément. Ils souhaitent embaucher de jeunes ingénieurs bien formés, mais également expérimentés et ayant déjà une approche concrète des réalités du monde du travail.

Les parcours sous statut étudiant tendent à valoriser de plus en plus les périodes de stage, obligatoires pour la diplomation²³. À ce titre, la Commission des Titres d'Ingénieur (CTI) définit ces périodes avec précision, et stipule des

L'expérience en entreprise est considérée comme une dimension essentielle de la formation des ingénieurs.

COMMISSION DES TITRES
D'INGÉNIEURS

obligations strictes en la matière : «Aucun ingénieur ne peut être diplômé s'il n'a pas effectué un parcours minimum en entreprise sous forme de stage, [...] l'expérience en entreprise est considérée comme une dimension essentielle de la formation des ingénieurs. Elle représente

une part importante de la formation (28 semaines au minimum).» Chaque stage est encadré et évalué, et peut (ou doit, selon les écoles) être effectué à l'étranger. Généralement au début du cursus il s'agit d'un court stage ouvrier ou d'exécution pour découvrir le monde de l'entreprise ; à mi-parcours, un stage d'environ trois mois permet une initiation au métier d'ingénieur ; à l'issue de la scolarité, un projet plus conséquent donne la possibilité à l'étudiant de mener une mission en complète responsabilité.

23 / CTI (2020, 14 janvier). Références et Orientations de la commission des titres de l'ingénieur. https://api.cti-commission.fr/uploads/documents/backend/document_25_fr_references-et-orientations-livre-1_07-02-2020.pdf

Bien qu'elles soient encore rares dans les parcours d'ingénieurs comparativement à ceux des écoles de commerce et de gestion²⁴, les années de césure permettent également aux étudiants de s'engager dans la vie professionnelle sur un temps long et d'appréhender le monde du travail avant de terminer leur cursus. Leur curiosité, leur attention aux apprentissages, leurs choix d'options, voire d'orientation, n'en sont que meilleurs car plus éclairés. C'est généralement une année qui permet, outre l'acquisition de savoir-faire, la confirmation d'un projet professionnel.

Ces périodes (stage et césure) sont aujourd'hui encadrées contractuellement par des contrats pédagogiques qui permettent de veiller à la qualité du projet de l'étudiant, au sérieux de l'offre, de contrôler les compétences acquises pendant la période et sa cohérence par rapport au cursus suivi par l'étudiant.

En outre, le succès des parcours en alternance témoigne des fortes attentes pour des formations concrètes alliant théorie et pratique. Henri Marchetta souligne qu'elles « *stimulent le sens du concret et de l'écoute client, ce que l'entreprise apporte. Ceci nécessite la création d'un réseau vivant entre pôles de formation et entreprises (en incluant des partenariats étrangers) au-delà d'un simple périmètre régional pour ne pas rétrécir la vision et risquer de transformer l'institution universitaire en simple pépinière pour les entreprises régionales.* »

Aucun écart significatif n'est à constater entre le taux d'insertion professionnelle des apprentis et celui des ingénieurs issus de la formation initiale sous statut étudiant.

CENTRE D'ÉTUDES
SUR LES FORMATIONS
ET L'EMPLOI DES INGÉNIEURS

Les alternants découvrent ainsi tout au long de leur scolarité le monde de l'entreprise, sa stratégie et ses métiers, et profitent d'une application concrète des connaissances acquises de manière académique²⁵. Les entreprises ne s'y trompent pas : d'après l'enquête réalisée par le Centre d'Études sur les Formations et l'emploi des Ingénieurs (CEFI), « *aucun écart significatif*

24 / La CTI n'est pas favorable aux années de césures qui allongent la durée de la formation.

25 / Darmon, K. (2018, 3 décembre). Les bonnes raisons d'opter pour l'alternance en école d'ingénieurs. Studyrama.

n'est à constater entre le taux d'insertion professionnelle des apprentis et celui des ingénieurs issus de la formation initiale sous statut étudiant».

Le développement des parcours par apprentissage contribue également à attirer vers les cursus ingénieurs, des profils différents, tant dans leurs approches, plus concrètes et opérationnelles, que leurs personnalités. Cette diversité est une source de richesse pour l'ensemble des profils, apprentis comme étudiants, voire demain, ingénieur en formation continue.

2.3.3 UN ÉCHANGE GAGNANT

Se rapprocher du monde de la formation et de la recherche présente également de multiples opportunités pour les entreprises. En multipliant les voies de sa présence et de sa visibilité, l'entreprise se donne les moyens de mieux connaître les profils de ses futurs cadres et technologues donc d'accéder aux talents dont elle aura besoin pour son développement futur.

À ce titre, il est utile de rappeler que :

- Plus de la moitié des ingénieurs décrochent leur premier poste dans l'entreprise où ils ont réalisé leur stage ou leur apprentissage.
- Les secteurs qui accueillent le plus d'apprentis ingénieurs sont le génie mécanique ou industriel, les secteurs électronique, informatique et automatique, et le BTP. Les diplômés alternants sont donc plus nombreux à s'insérer dans ces domaines, et moins nombreux dans les secteurs de la finance ou les grands cabinets de conseils. Ils sont appréciés, car ils connaissent déjà très bien les codes de l'entreprise²⁶.

In fine, la contractualisation des différents aspects de la relation entre entreprises et institutions de formation contribue de manière croissante aux

²⁶ / Longour, M. (2016, 19 décembre). *Écoles d'ingénieurs en alternance : une nouvelle voie royale ?* Réussirmavie.net

ressources des établissements et à leur capacité de financement des équipements, chaires et innovations.

2.4 Accompagner la formation tout au long de la vie

Les évolutions législatives récentes relatives à la formation professionnelle témoignent des enjeux majeurs du développement et du maintien des compétences.

Nous devons travailler à dissiper les croyances culturelles de longue date selon lesquelles l'éducation d'une personne prend fin lors de sa cérémonie de remise des diplômes.

N. V. TYAGARAJAN

À l'ouverture du Forum Économique Mondial de Davos, en janvier 2020, N. V. Tyagarajan, CEO de Genpact, le rappelait sans détour²⁷ : « Nous devons travailler à dissiper les croyances culturelles de longue date selon lesquelles l'éducation d'une personne prend fin lors de sa céré-

monie de remise des diplômes. » Pour lui, les quatre actions qui doivent concentrer l'attention pour construire une main d'oeuvre durable sont :

- devenir les défenseurs d'un système d'éducation modernisé ;
- mettre en œuvre des opportunités d'apprentissage fluides et transparente ;
- inculquer une approche descendante de l'apprentissage ;
- tirer parti de l'Intelligence Artificielle et de l'apprentissage automatique pour optimiser la reconversion.

L'ingénieur ne doit plus être uniquement focalisé sur des aspects scientifiques et techniques mais doit avoir une vision large du domaine dans lequel il travaille. Il doit être et rester opérationnel tout au long de sa vie professionnelle ce qui implique une capacité à se former et à évoluer vers de nouveaux environnements.

27 / Tyagarajan, N. V. (2020, 12 janvier). 4 idées pour que les chefs d'entreprise rendent leur main d'oeuvre durable [conférence]. World Economic Forum, Davos. <https://fr.weforum.org/agenda/2020/01/4-idees-pour-que-les-chefs-dentreprise-rendent-leur-main-doeuvre-durable/>

Si les entreprises doivent créer les conditions et « *les moyens d'intégrer facilement les moments de reconversion au travail, afin que cela ne ressemble pas à une "corvée" mais devienne plutôt un aspect fluide et naturel de l'expérience professionnelle dans son ensemble* »²⁸, la formation initiale doit se préoccuper également de cette évolution en sensibilisant les jeunes en formation à cette nécessité de s'auto-former tout au long de la vie.

Les établissements de formation devraient se saisir activement de cette opportunité pour développer des espaces d'interactions complémentaires avec le monde professionnel. Se former tout au long de la vie pour parfaire ou adapter ses compétences requiert, en effet, de pouvoir accéder aux sources du savoir, quel que soit son âge. Les écoles d'ingénieurs pourraient ainsi à terme évoluer vers des creusets d'échanges entre ingénieurs expérimentés et ingénieurs en devenir; une voie susceptible d'offrir par ailleurs les ressources complémentaires et les capacités de financement indispensables aux développements et projets futurs.

28 / Tyagarajan, N. V. (2020, 12 janvier). 4 idées pour que les chefs d'entreprise rendent leur main d'oeuvre durable [conférence]. World Economic Forum, Davos. <https://fr.weforum.org/agenda/2020/01/4-idees-pour-que-les-chefs-dentreprise-rendent-leur-main-doeuvre-durable/>



PRÉCONISATIONS

Il apparaît que quatre communautés sont parties prenantes des évolutions souhaitables et susceptibles de préparer les ingénieurs de notre futur :

- les entreprises ;
- les institutions de formation ;
- les étudiants et élèves ingénieurs ;
- les pouvoirs publics et tutelles des écoles.

«Aligner» ces quatre acteurs sur un même plan requiert de paramétrer judicieusement les liens qui les unissent. C'est pourquoi nous avons élaboré une liste de préconisations pour chacune de ces communautés, afin que des actions concertées, combinées et solidaires puissent éclore et donner le meilleur résultat.

3.1 Les entreprises

- **Développer des liens de proximité entre industriels et lycées**, pour attirer l'attention des jeunes générations sur les opportunités de l'industrie, et particulièrement des métiers de l'ingénieur. Pour y parvenir, des visites d'usines, des conférences ou des interventions de professionnels peuvent être organisées et intégrées dans le cursus des classes de 1ère et Terminale à proximité des sites industriels.

- **Être plus présentes dans les institutions de formation des ingénieurs** pour tirer partie des moyens et ressources disponibles (expertises et équipements) dans les laboratoires de recherche, notamment. Cela permettrait aux ingénieurs comme aux cadres d'actualiser leurs savoirs et connaissances dans les domaines organisationnels, technologiques et scientifiques (programmes de formation continue partenarial, programmes de développement de compétences et de reconversion²⁹).
- **Apporter aux étudiants et aux enseignants-chercheurs la logique de fonctionnement et la culture des entreprises** (avec la prise en charge de cours et de chaires) . Les entreprises pourraient ainsi diminuer le temps d'adaptation au monde du travail et *« contribuer au transfert de la rapidité du changement à laquelle elles sont confrontées en permanence vers les formations initiales. »* (Henri Marchetta). Elles gagneraient également à exprimer les besoins et attentes longs termes de leur filière, dans les instances d'orientation (conseils académiques ou équivalents) par la voix de représentants en ressources humaines.
- **Contribuer à l'analyse et l'expression structurée des signaux faibles** de l'environnement économique et sociétal afin d'exprimer et documenter les besoins de leur secteur d'activité, et prendre part à la formation de l'ingénieur du futur.

3.2 Les instituts de formation

- **Poursuivre, accroître et diversifier les partenariats « Entreprises »** qui bénéficient à la fois aux étudiants, aux enseignants-chercheurs, aux entreprises, et aux ressources et moyens pédagogiques des écoles.

29 / Tyagarajan, N. V. (2020, 12 janvier). 4 idées pour que les chefs d'entreprise rendent leur main d'oeuvre durable [conférence]. World Economic Forum, Davos. <https://fr.weforum.org/agenda/2020/01/4-idees-pour-que-les-chefs-dentreprise-rendent-leur-main-doeuvre-durable/>

- **Prendre une part active dans l'évolution et l'amélioration continue de la pédagogie** en étudiant, par exemple, les meilleures pratiques de ce qui se fait dans l'enseignement supérieur au niveau international et en participant à des réseaux d'échange.
- **Mettre en place de nouvelles pratiques d'apprentissage** comme la pédagogie par projets et la valorisation de l'échec. Ce type de stratégie d'enseignement met en lumière l'interdisciplinarité au sens large et, plus particulièrement, les interactions avec d'autres cultures et domaines d'application au sein d'une même discipline. Cela laisse une grande part de contrôle à l'étudiant et l'encourage à prendre des initiatives en lui laissant la possibilité de se tromper dans un cadre rassurant pour acquérir la capacité à oser et à entreprendre, essentielles à sa vie professionnelle future.
- **Favoriser la diversité des profils** en ouvrant plus largement les voies d'accès au diplôme en envisageant une filière en cinq ans, directement après le bac voire imaginer une sélection à bac+2. En étant attractive pour des profils différents, cette filière pourrait former des ingénieurs plus pragmatiques, plus technologues, plus « terrain », répondant ainsi à une partie des attentes des entreprises. L'accès plus classique par les Classes Préparatoires aux Grandes Écoles devra néanmoins être préservé pour satisfaire la recherche de profils professionnels plus théoriques.
- **Favoriser le déploiement de parcours « à la carte »**, sur une partie des contenus en distinguant progressivement le socle commun fondamental, de l'offre modulaire. En effet, une offre agile et flexible des enseignements permet de mieux satisfaire les attentes nuancées des étudiants, des entreprises, tout en préservant la profondeur et la qualité des enseignements. De plus, tous les étudiants n'apprennent pas au même rythme ou de la même façon, il faut donc également intégrer la notion de rythme individualisé d'acquisition des compétences plutôt que le bouclage d'une formation en nombre d'années. Comme l'exprime très bien Henri Marchetta : *« L'attachement est encore trop important à la formation dite "généraliste" qui n'est plus adaptée au monde*

actuel. Le choix d'une compétence n'exclut pas la maîtrise des disciplines fondamentales, mais tous les élèves n'ont pas besoin d'être identiques.»

- **Mettre en œuvre un collège de type conseil académique**, constitué de représentants des écoles et du monde économique, renouvelable par tiers tous les ans, dont la vocation serait de faire évoluer les contenus pédagogiques. Il pourrait réviser annuellement la grille des disciplines proposées (pour la partie modulaire) en veillant au transfert rapide des résultats de recherche dans les enseignements. Les contenus des modules d'enseignement, leurs prérequis, les cours obligatoires seraient validés par cette instance qui pourrait même fixer les créneaux horaires de certains cours. Les membres de ce collège devront également *«créer de nouvelles compétences plus transversales avec des intervenants experts qui doivent avoir une grande mobilité entre enseignement, industrie et recherche»* (Henri Marchetta) pour lancer des thèmes pédagogiques futurs. Si un tel conseil n'est pas envisageable, l'établissement devra a minima mettre en œuvre des dispositions structurées, de révision ou d'adaptation continue des enseignements (exemple: CDIO), impliquant, de diverses manières, des représentants des entreprises.

3.3 Les élèves ingénieurs

- **Être acteur de son orientation et de son parcours** en participant activement aux actions d'orientation (conférences, diagnostics, entretiens, visites, etc.) pour exprimer des choix et des préférences personnelles qui construiront son parcours de formation dans une offre diversifiée.
- **Compléter le savoir appris à l'école** en osant les parcours complémentaires offerts par le digital et s'entraîner à l'auto-formation. Cette capacité à apprendre par lui-même lui sera demandée dans sa vie professionnelle et l'aidera à appréhender en confiance tout nouveau sujet.

- **Développer sa curiosité et se confronter à des univers différents** notamment en participant à des projets interdisciplinaires dans et hors du parcours « officiels » de l'école.

3.4 Les pouvoirs publics et tutelles d'école

- **Améliorer sensiblement les présentations des filières professionnelles** pour qu'elles ne soient plus perçues comme des voies secondaires, en valorisant les métiers de l'ingénieur, créateurs de valeur et d'opportunités. Il est donc nécessaire de renforcer les outils et les dispositifs d'orientation à l'attention des enseignants et des acteurs de l'orientation dans les lycées, pour créer ou développer de l'intérêt pour le secteur. Cela peut se traduire par des visites de sites industriels ou de laboratoires de recherche, des interventions d'ingénieurs dans le cursus de formation ou encore des journées « Vis ma Vie », entre autres possibilités.
- **Faire évoluer les statuts des enseignants-chercheurs** en valorisant les engagements, les collaborations et les partenariats avec les entreprises et reconnaître les innovations, dans la qualité des enseignements et des filières technologiques.
- **Créer un conseil consultatif auprès du Ministère de l'Éducation Nationale** mobilisant des représentants du monde économique et industriel ainsi que des professionnels et des enseignants-chercheurs, pour éclairer les évolutions souhaitables dans les enseignements en lycées et CPGE. Il serait également envisageable d'évoluer vers la convergence des tutelles ministérielles vers le Ministère de l'Industrie, concernant les écoles d'ingénieurs à vocation technologiques et industrielles, pour faciliter et favoriser les rapprochements culturels et opérationnels des acteurs de la reconstruction de l'industrie française.

IV

CONCLUSION

Notre tâche, telle attendue par la lettre de mission, était d'« identifier les principales attentes et besoins, les facteurs de différenciation, cerner les enjeux dont doit se saisir l'enseignement supérieur et suggérer les principales priorités. »³⁰

Face aux changements qu'ont entraînés la numérisation et l'omniprésence des technologies dans nos vies, notre société a dû s'adapter et se transformer en profondeur pour devenir plus complexe et plus incertaine. Le concept de *VUCA world* illustre parfaitement cette évolution. Pour prendre sa part dans la conception, l'adaptation et la performance de l'industrie du futur, l'ingénieur, comme tous les acteurs de la société, à tous les niveaux, doit, par sa personnalité, sa formation, s'adapter à ces changements en développant des capacités et des compétences dépassant les seules connaissances techniques.

Répondre à la complexité des situations et des systèmes, s'inscrire dans l'action avec une vision systémique de la technique et de la technologie numérique, notamment, et se mettre au service d'un monde résilient, comme leader des organisations et de la société, telles seront les missions essentielles de l'ingénieur du futur. Grâce à un socle scientifique solide, il pourra comprendre les situations dans leurs globalités pour produire des raisonnements robustes

30 / Voir la lettre de mission en annexe 1.

de manière agile, en intégrant dans ses travaux un haut degré d'incertitude et une culture du risque, et, ainsi, générer de la valeur.

Il devra se mettre en dialogue, dans un esprit d'ouverture, avec d'autres disciplines dans un environnement multiculturel et cosmopolite, pour saisir et communiquer efficacement les enjeux de la situation, analyser ses impacts sur le monde et la société, et y puiser les ressources de ses solutions. Ainsi, son point de départ ne sera plus uniquement ses disciplines, mais vraisemblablement les questions de la société.

À défaut de trouver ces compétences sur les canaux habituels, il faudra aller les chercher ailleurs : former plus, recruter autrement, être ouvert à d'autres profils... Autant de tendances de fonds qui vont s'affirmer pour les entreprises, et donc pour les filières de l'enseignement, notamment supérieur³¹.

Pour répercuter ces changements, les centres d'enseignement doivent faire évoluer leurs formations vers plus d'autonomie pour les étudiants – en leur laissant choisir leur parcours d'apprentissage, notamment – et plus d'interdisciplinarité, avec un pédagogie de projets partagée faisant intervenir les entreprises. Ceci bénéficierait autant aux étudiants, en leur permettant de se familiariser plus intensément aux réalités du monde du travail, qu'aux entreprises, qui pourraient y trouver un vivier de recrutement en adéquation avec leurs attentes et problématiques actuelles.

Le dernier mot revient à Henri Marchetta : *« Les institutions qui se démarquent positivement des autres (et de leurs concurrentes) associent étroitement recherche appliquée, ouverture internationale (étudiants, professeurs et partenaires extérieurs [autres institutions et partenaires du monde économique]) et privilègent le développement des compétences individuelles en créant de nouvelles formations adaptées aux compétences émergentes. »* Un challenge que L'École des Arts et Métiers s'efforce de relever tous les jours.

31 / Entretien avec Gérard Brescon.

BIBLIOGRAPHIE

LIVRES ET REVUES

- Bouret, J., Hoarau, J., & Mauléon, F. (2018). *Soft skills*. Dunod.
- Escher, G., Noukakis, D., & Aebischer, P. (2014). Boosting Higher Education in Africa through Shared Massive Open Online Courses (MOOCs). *Revue internationale de politique de développement*. Brill Nijhoff Editions.
- Klein, E. (2017). *Sauvons le progrès, Dialogue avec Denis Lafay*. L'aube.
- Vinet, R., Chassé, D., & Prément, R. (1998). *Méthodologie des projets d'ingénierie et travail en équipe*. École Polytechnique Montréal.
- Tremblay, N.-A. (2003). *L'Autoformation pour apprendre autrement*. Presses de l'Université de Montréal.

ARTICLES

- André, C. (2019, mars). Que nous disent nos états d'âme. *Cerveau & Psycho*. <https://www.cerveauetpsycho.fr/sd/psychologie/que-nous-disent-nos-etats-dame-2503.php>
- Bartlett, C., & Ghoshal, S. (1994, novembre-décembre). Beyond Strategy to Purpose. *Harvard Business Review*.
- Bennett, N., & Lemoine, G. J. (2014, janvier). What VUCA Really Means for You. *Harvard Business Review*. <http://hbr.org/2014/01/what-vuca-really-means-for-you/ar/1>
- Bouée, C.-E. (2014, 21 janvier). Entreprise: comment faire de l'instabilité une force. *La Tribune*. <http://www.latribune.fr/opinions/tribunes/20140121trib000810980/entreprise-comment-faire-de-l-instabilite-une-force.html>
- Boyer, C. (2017, 21 février). Les 20 qualités qui séduisent le plus les recruteurs. *Les Echos/Start*. <https://start.lesechos.fr/travailler-mieux/recrutements-entretiens/les-20-qualites-qui-seduisent-le-plus-les-recruteurs-1177171>

- Chabal, A. (2017, 29 septembre). Les 15 Soft Skills à maîtriser en entreprise. *Forbes*. <https://www.forbes.fr/management/les-15-soft-skills-a-maitriser-en-entreprise/>
- Darmon, K. (2018, 3 décembre). Les bonnes raisons d'opter pour l'alternance en école d'ingénieurs. *Studyrama*. <https://www.studyrama.com/formations/alternance-apprentissage/l-alternance-par-niveau/ecoles-d-ingenieurs-en-alternance/les-bonnes-raisons-d-opter-pour-l-alternance-en-ecole-81896>
- Diallo, D. (2019, 31 octobre). Les 10 compétences les plus recherchées par les employeurs. *Nouvelle vie professionnelle*. www.nouvelleviepro.fr/actualite/536/les-10-competences-les-plus-recherchees-par-les-employeurs
- Dyle, A. (2019, 4 février). Hard Skills vs Soft Skills: What's the difference. *The Balance Careers*. <https://www.thebalancecareers.com/hard-skills-vs-soft-skills-2063780>
- Gray, A. (2016, 16 janvier). The 10 skills you need to thrive in the fourth Industrial Revolution, *World Economic Forum*. <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-10-skills-you-need-to-thrive-in-the-fourth-industrial-revolution/>
- Haverland, A. (2020, 26 juin). Danone, pionnier de l'entreprise à mission. *L'usine Nouvelle*. <https://www.usinenouvelle.com/article/danone-pionnier-de-l-entreprise-a-mission.N977736>
- Lafortune, L. (2010). Pédagogie du projet et développement des compétences transversales: un changement de posture pédagogique. *Éducation Canada*. <https://www.edcan.ca/articles/pedagogie-du-projet-et-developpement-des-competences-transversales-un-changement-de-posture-pedagogique/?lang=fr>
- Longour, M. (2016, 19 décembre). Écoles d'ingénieurs en alternance: une nouvelle voie royale? *Réussir ma vie.net*. https://www.reussirmavie.net/Ecoles-d-ingenieurs-en-alternance-une-nouvelle-voie-royale_a332.html
- Lucas, T. (2016, 22 mars). Écoles d'ingénieurs cherchent entreprises. *Usine nouvelle*. <https://www.usinenouvelle.com/article/ecoles-d-ingenieurs-cherchent-entreprises.N384512>
- Makary, L. (2019, 17 décembre). Que valent les écoles d'ingénieurs ultra spécialisées. *Le Figaro*.

MISS RH DVT (2016, 27 novembre). Soft skills vs hard skills: quelles sont les compétences de demain pour recruteurs? *Innovation pédagogique*. <https://www.innovation-pedagogique.fr/article1087.html>

Tawfik, Andrew A., Rong, H., & Choi, I. (2015, décembre). Failing to learn: towards a unified design approach for failure-based learning. *Educational Technology Research and Development*. doi:10.1007/s11423-015-9399-0

Tremblay-Wragg, É., Raby, C., & Ménard, L. (2018, hiver). En quoi la diversité des stratégies pédagogiques participe-t-elle à la motivation à apprendre des étudiants ? Étude d'un cas particulier. *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*. <http://journals.openedition.org/ripes/1288>

Soft skills : 6 conseils pour optimiser votre Branding personnel (2020, 6 janvier). *Forbes*. <https://www.forbes.fr/management/soft-skills-6-conseils-pour-optimiser-votre-branding-personnel/>

RAPPORTS

ATOS (2018, janvier). *Journey-2020-Ondes de choc digitales dans les entreprises*.

CTI (2020, 14 janvier). *Références et Orientations de la commission des titres de l'ingénieur*. https://api.cti-commission.fr/uploads/documents/backend/document_25_fr_references-et-orientations-livre-1_07-02-2020.pdf

Deloitte. *Tendances RH 2018*. <https://www2.deloitte.com/fr/fr/pages/talents-et-ressources-humaines/articles/tendances-rh-2018.html>

La Fabrique de l'industrie (2019, 3 septembre). *Organisation et compétences dans l'usine du futur*.

McKinsey Global Institute (2018, mai). *Skill shift automation and the future of workforce*.

MIT (2014, 18 juillet). *Institute-wide Task Force on the Future of MIT Education, Final report*.

Pôle emploi (2019, avril). *Besoins en main d'œuvre 2019*.

Think Tank Arts & Métiers (2019, mars). *Technologie(s), quel horizon pour les Arts et Métiers ?*

World Economic Forum 2016 (2016, 18 janvier). *Future of Jobs Report 2016*.

World Economic Forum 2018 (2018, 17 septembre). *Future of Jobs Report 2018*.

World Economic Forum 2020 (2020, 20 octobre). *Future of Jobs Report 2020*.

CONFÉRENCES

- Aguirre, E., & Raucent, B., (2002, mai). *L'apprentissage par projet... Vous avez dit projet ? Non, par projet !* [Colloque]. Association Internationale de Pédagogie Universitaire (AIPU), Louvain-la-Neuve, Belgique.
- Catoir, C. (2019). *La grande frousse des salariés face à l'innovation* [conférence]. Big Bang Éco 2019. <http://video.lefigaro.fr/figaro/video/christophe-catoir-la-grande-frousse-des-salaries-face-a-l-innovation-big-bang-eco-2019/6028945633001/>
- Denis, B., Leclercq, D. (2000, juin). *Quelques pistes méthodologiques pour développer des compétences d'autoformation chez des apprenants à l'université* [colloque]. V^e colloque sur l'Autoformation, Paris.
- KEYS, L. K. (1989, 25-27 septembre) *University/Industry (and Government) Interdisciplinary Centers, Programs, Consortia, Inter-relations, and Initiatives* [Symposium] Seventh IEEE/CHMT International Electronic Manufacturing Technology, San Francisco, USA
- Liu, T. (2016, 25-27 janvier). *L'école 42: la liberté au cœur de l'apprentissage ?* [colloque]. Didapro6-Didactique de l'informatique et des STIC-Quelles éducations au numérique en classe et pour la vie ? Namur, Belgique.
- Thyagarajan, N. V. (2020, 12 janvier). *4 idées pour que les chefs d'entreprise rendent leur main d'oeuvre durable* [conférence]. World Economic Forum, Davos. <https://fr.weforum.org/agenda/2020/01/4-idees-pour-que-les-chefs-dentreprise-rendent-leur-main-doeuvre-durable/>
- Whitman, L., Toro-Ramos, Z., & Skinner, S. (2007, 19-21 janvier). *Educating the Engineer of 2020: A practical Implementation* [conference]. Proceedings Midwest Section, Conference of American Society for Engineering Education, Wichita, USA.

PAGES INTERNET

- <https://www.simplixi.fr/difference-complexe-et-complique/>
- <https://www.hesam.eu/index.php/article-quest-ce-que-le-centre-michel-serres>

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de mission



Cher Mickael, Cher Eric,

« Depuis sa création en 1780, Arts et Métiers s'attache à répondre aux défis industriels et aux enjeux sociétaux, en constante évolution » peut-on lire en tête de la présentation de l'Ecole.

Dans un monde en changement perpétuel et en constante évolution, il apparaît nécessaire de s'interroger régulièrement sur les attentes, actuelles et futures de l'industrie en général et des entreprises en particulier, pour construire au mieux les réponses à apporter, tant au niveau local qu'international, dans une démarche responsable (économique, sociale et environnementale).

Afin d'éclairer les choix à venir, nous vous confions la mission d'animer un groupe de réflexion pour identifier ces principales attentes et besoins, et leurs facteurs de différenciation, cerner les enjeux dont doit se saisir l'enseignement supérieur et suggérer les principales priorités.

Ce groupe de réflexion sera constitué de volontaires cooptés par vous : personnalités externes et membres de la communauté Arts et Métiers.

Les travaux du groupe pourront notamment reposer sur les points suivants et adresser éventuellement des recommandations spécifiques à chacune des 3 missions de l'Enseignement Supérieur (formation, recherche et valorisation de la recherche).

- Une analyse et une synthèse des études et rapports existants,
- Une synthèse d'interviews de personnalités
- Une grille d'analyse des compétences existantes, à préserver et à développer.
- Un projet d'enquête multi-cibles, puis les résultats de sa mise en œuvre,
- L'identification des éléments qui pourraient être publiés à l'initiative du Conseil d'Orientation.

Un premier ensemble de recommandations devrait idéalement être présenté fin mars 2019, puis échelonné sur l'année 2019.

Le groupe de réflexion est libre de choisir ses méthodes de travail et les moyens requis pour la mission dans l'esprit de prospective et de créativité et d'agilité du Think-Tank Arts et Métiers.

Vous aurez le soutien des instances du Think-Tank et l'accès le plus large à la communauté Arts et Métiers.

Pour le Conseil d'Orientation, mardi 30 octobre 2018.

Erik LEROY

Alexandre RIGAL

Annexe 2 : Acteurs du groupe de travail

LES ANIMATEURS

- Mickaël RIVETTE, maître de conférences, directeur des relations entreprises d'Arts et Métiers
- Éric DHENIN, Trans-Formateur, dirigeant fondateur de PerfHomme Centre Val de Loire, cabinet de conseil en RH et performances

LES PARTICIPANTS RÉGULIERS

- Patrick BOURGEOIS, directeur délégué pour le développement des compétences, chez Assystem
- Alain DOVILLAIRE, consultant, ancien directeur de campus ENSAM,
- Jean-Claude HUBERT, retraité, High Tech R&D, product design, industrial and technological applications with a priority to materials science engineering
- Sylvie NURIA NOGUER, coach d'équipes et de dirigeants, auteure
- Florence OSTY, sociologue intervenante, collectif SAFIR
- Éric PINEAU, directeur société BLUEWEST prestation de services à l'industrie
- André RAULT, retraité, ex directeur R&D Electronics PSA, ex administrateur Sherpa Engineering

LES PARTICIPANTS OCCASIONNELS

Ho-IL BAE, Jacques BOUHELIER, Arnaud DEMAY, Stéphane LAPUJOULADE, Marc LASSAGNE, Stéphanie ROBISSON MONTILLET, Philippe ROUCH et Christine OLLENDORF,

Annexe 3 : Contributeurs (personnalités interviewées et/ou rencontrées)

- Vincent BOUFFARD, DGA, VINCI Energies France
- Fabrice BRÉGIER, président de PALANTIR³² France, ancien PDG d'AIRBUS
- Gérard BRESCON, DRH, EXPLEO Group (ex ASSYSTEM France)
- Emmanuel CHIVA, directeur de l'agence de l'innovation au sein du Ministère des Armées (depuis septembre 2018)
- Louis GALLOIS, président CS de PSA, président de la Fédération des acteurs de solidarité
- Jean Paul HERTEMAN, président du CA du CNAM, cx Pdt de SAFRAN
- Benoît LEGUET, directeur du I4CE (Institute for Climate Economics), membre du Haut Conseil pour le climat
- Frédéric LISSALDE, President and Chief Executive Officer de BorgWarner (Equipementier Auto US)
- Henri MARCHETTA, PDG groupe MECALAC
- Gérard MARDINE (accompagné de Gabriel ARTERO et Jean Marie BERTHO), respectivement secrétaire général confédéral, président et secrétaire national de la Fédération métallurgie, syndicat CFE CGC
- Philippe PORTIER (accompagné de Laurent MAHIEU et Augustin BOURGUIGNAT), secrétaire national, membre du Bureau national CFDT
- François TADDEI, Directeur du CRI (Centre de Recherches Interdisciplinaires) à Paris
- Jean BRUNET, ex PdG et co-fondateur de Sherpa Engineering³³
- Jean SOUCHAL, président du directoire POMA

32 / Palantir Technologies est une entreprise de services et d'édition logicielle spécialisée dans l'analyse et la science des données, communément appelé Big data ou mégadonnées.

33 / Société experte en modélisation et contrôle-commande.

Annexe 4 : « TREND » des principales compétences

Pour tenter d'apprécier l'importance des compétences, nous avons choisi de les visualiser dans un graphique de dispersion en quatre quadrants (ci-après) sans y ajouter de pondération, critère trop aléatoire en l'absence de paramètres d'échantillonnage (tous les spots rectangulaires ont la même taille). Ce mode de représentation est tendanciel sans rupture entre quadrants, il permet de dégager les besoins actuels et les probables évolutions futures sans porter de jugement sur les compétences en régression ou en progression à l'instant de l'évaluation.

Les compétences listées ont été réparties dans sept groupes génériques rappelés en bas des graphiques.

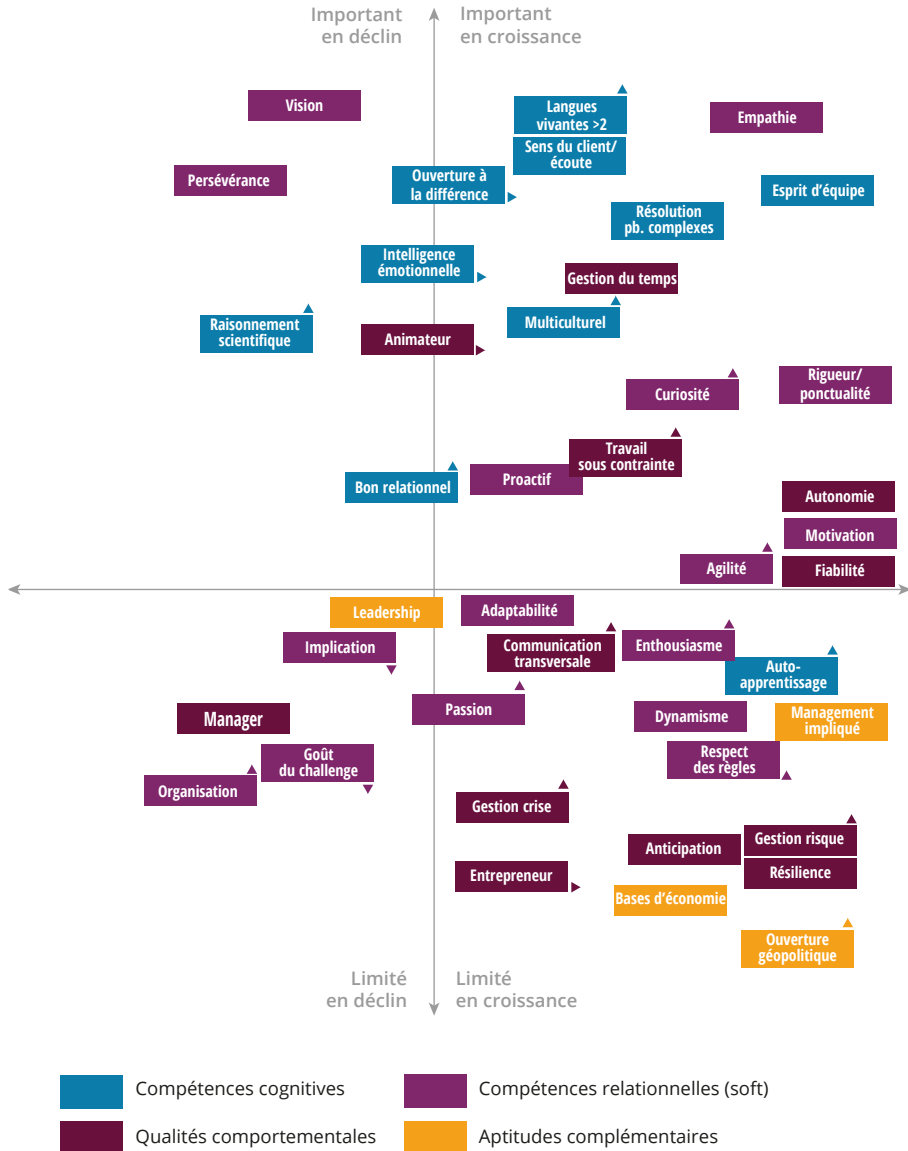
Les compétences placées dans le quadrant supérieur droit sont perçues comme très importantes aujourd'hui et leur besoin devrait être croissant à l'avenir. Dans le quadrant inférieur droit, se trouvent des compétences qui sont classées comme moins importantes aujourd'hui mais en forte croissance à l'avenir. Ce peut être considéré comme le « réservoir » d'évolution de la pédagogie. Le passage dans le quadrant supérieur pour ces nouvelles compétences est possible, mais le glissement dans l'un des quadrants de gauche ne peut pas être exclu. Dans ce cas, certaines n'auront été que des modes.

Dans les quadrants du côté gauche, se trouvent les compétences dont les employeurs s'attendent à avoir moins besoin à l'avenir. Dans le quadrant supérieur gauche, plusieurs compétences, essentielles aujourd'hui, connaîtront (peut-être) un déclin dans les années à venir. Par exemple, la pratique des « méthodes expérimentales » est perçue comme moins importante aujourd'hui et diminuera à l'avenir. Il faut noter, que « l'intelligence émotionnelle » si souvent mentionnée il y a trois ou quatre ans, régresse aujourd'hui, tout comme le « raisonnement scientifique » (à corrélérer aux « méthodes expérimentales » citées ci-dessus), ce sont pourtant des compétences de référence encore largement utilisées dans les activités professionnelles actuelles.

Il est rassurant de constater que le nuage « socle de connaissances » est dans le quadrant supérieur droit « important en croissance ».

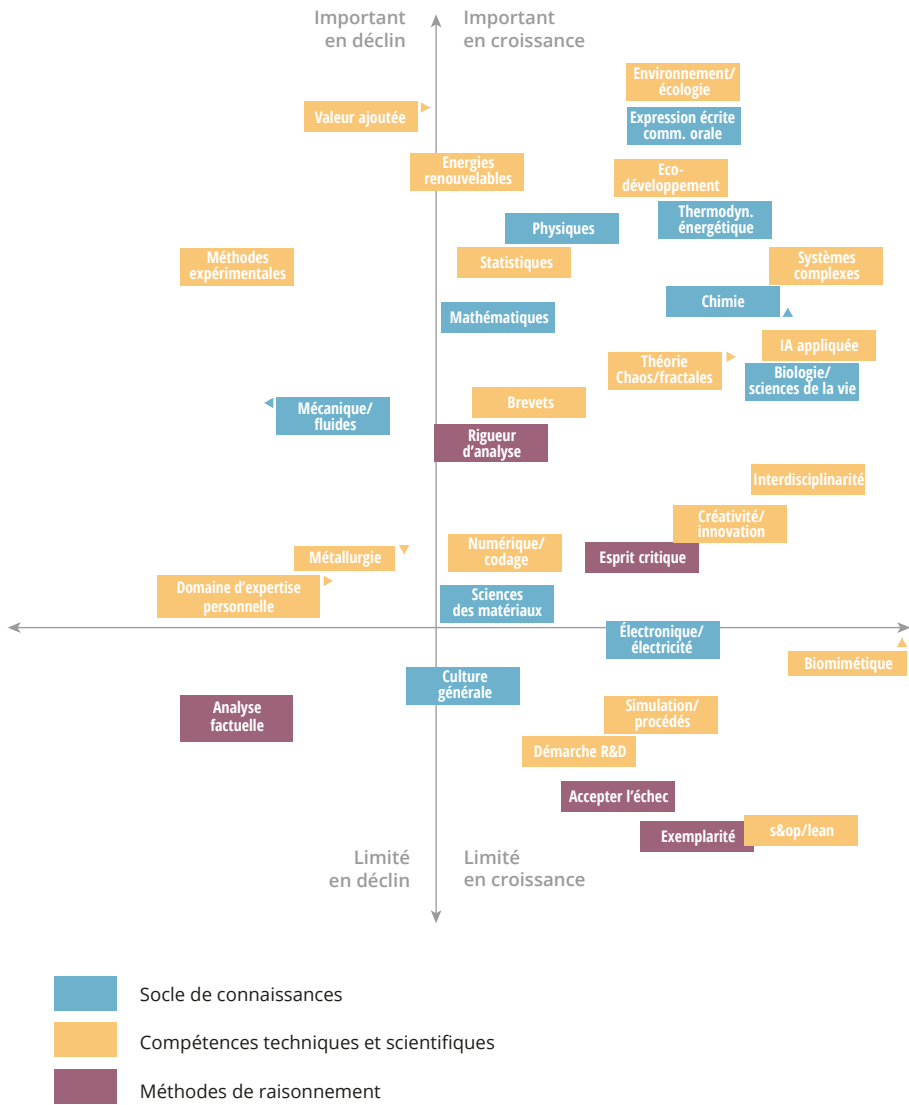
Les compétences requises ne sont pas toutes en accord avec les métiers en tension. En 2019, l'enquête Pôle Emploi des besoins en main d'œuvre donnait au 27^e rang (premier rang pour la catégorie « ingénieurs et cadres ») le métier « d'ingénieurs et cadres d'étude, R&D (Industrie) » avec un déficit de plus de 9 500 postes.

FIG. 5 : L'importance perçue des compétences aujourd'hui



Source: Think Tank Arts & Métiers

FIG. 6 : L'importance perçue des compétences aujourd'hui (suite)



Source: Think Tank Arts & Métiers

Annexe 5 : Approche de la Commission des Titres de l'Ingénieur

La CTI (Commission des Titres d'Ingénieur) préconise que l'analyse en termes d'acquis de l'apprentissage (*learning outcomes*) soit tout d'abord fondée sur les besoins des futurs métiers auxquels sont préparés les élèves, puis élargie par une analyse qui tiendra compte des évolutions de carrière des diplômés, de leur insertion dans la société et de leur épanouissement personnel. Tout en étant au cœur de la logique de la formation, le caractère professionnel finalisé vers des métiers spécifiques sera donc complété par cette analyse en termes plus généraux.

La CTI modifie tous les trois ans, ses documents de référence et d'orientation (R&O)³⁴. L'édition 2020 est présentée en quatre livres. Elle liste un ensemble d'acquis d'apprentissages en cohérence avec l'évolution du métier d'ingénieur. Parmi ces acquis (objectifs de la formation des ingénieurs) on pourra noter dans le livre I :

- L'adaptation aux exigences propres de l'entreprise et de la société et la prise en compte des enjeux suivants :
 - L'entreprise : dimension économique, respect de la qualité, compétitivité et productivité, exigences commerciales, intelligence économique.
 - Les relations au travail, d'éthique, de responsabilité, de sécurité et de santé au travail.
 - L'environnement, notamment par application des principes du développement durable.
 - Les enjeux et besoins de la société.
- La prise en compte de la dimension organisationnelle, personnelle et culturelle :
 - S'insérer dans la vie professionnelle, à s'intégrer dans une organisation, à l'animer et à la faire évoluer : exercice de la responsabilité, esprit d'équipe, engagement et leadership, management de projets, maî-

34 / Références et Orientations de la commission des titres de l'ingénieur, 14 jan. 2020. https://api.cti-commission.fr/uploads/documents/backend/document_25_fr_references-et-orientations-livre-1_07-02-2020.pdf

- trise d'ouvrage, communication avec des spécialistes comme avec des non-spécialistes
- Entreprendre et innover, dans le cadre de projets personnels ou par l'initiative et l'implication au sein de l'entreprise dans des projets entrepreneuriaux
 - Travailler en contexte international : maîtrise d'une ou plusieurs langues étrangères et ouverture culturelle associée, capacité d'adaptation aux contextes internationaux
 - Se connaître, s'autoévaluer, gérer ses compétences (notamment dans une perspective de formation tout au long de la vie), opérer ses choix professionnels



Retrouvez l'ensemble des travaux du Think Tank sur :
think-tank.arts-et-metiers.fr

Et suivez nous sur les réseaux sociaux :



À propos du Think Tank

Le Think Tank Arts & Métiers a été créé en 2018, conjointement par l'École nationale d'Arts et Métiers et la Société des ingénieurs Arts et Métiers. Il se donne pour double mission de mener des réflexions prospectives sur l'industrie et la technologie dans une démarche d'intérêt général ainsi que d'alimenter la réflexion sur l'avenir de l'École et son identité.

Le Think Tank est politiquement et financièrement indépendant. Composé de personnalités provenant d'horizons professionnels, politiques et académiques variés, il agit dans la plus totale indépendance et dans le but d'éclairer la communauté des Arts et Métiers, en particulier, et, plus généralement, le monde de l'enseignement supérieur et de la recherche autant que le monde industriel.

© Think Tank Arts & Métiers

This work is licensed under Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International © ⓘ Ⓢ Ⓢ

Photo couverture : © Rolls-Royce PLC pour www.thisisengineering.org.uk

Directeur de la publication : Stéphane Lapujoulade

Auteurs : Mickaël Rivette et Éric Dhenin

Mise en page : Cécile Chemel, Copy-writing : Estelle Djazayeri