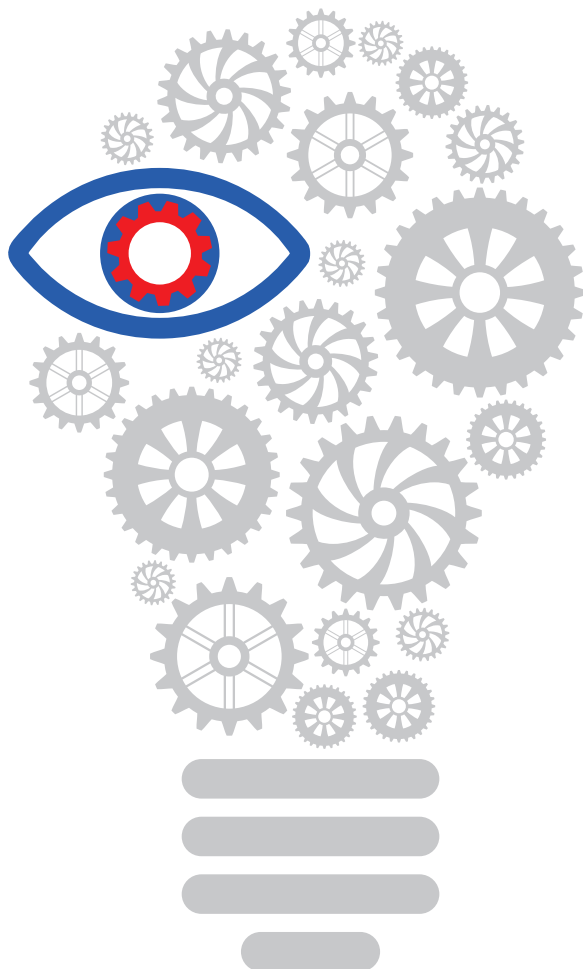
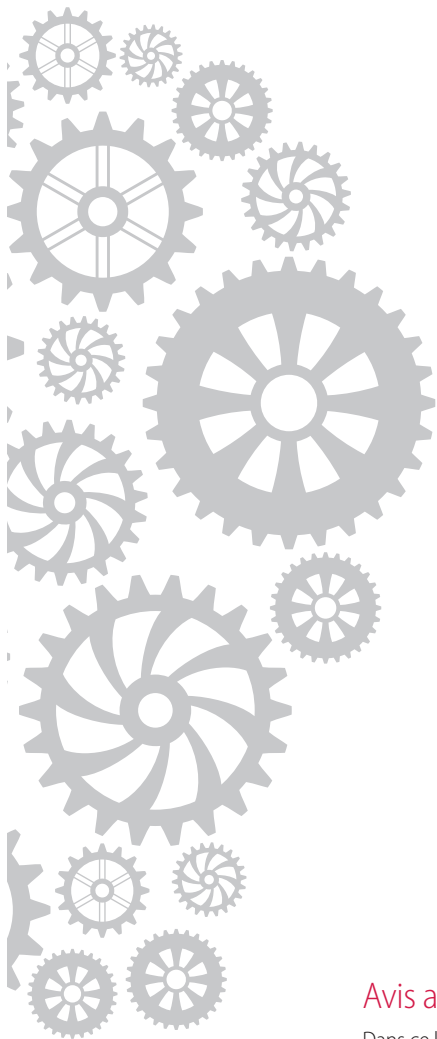




# REGARDS D'INGÉNIEURS

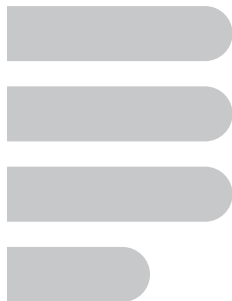
---

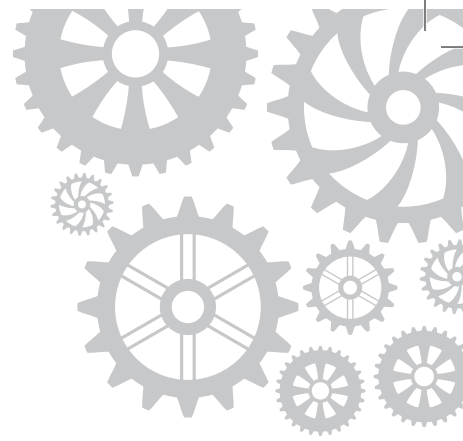
## **VOLUME 1**



## Avis aux lecteurs

Dans ce livre les mots INGENIEUR ou ETUDIANT, désignent tant des hommes que des femmes. Le mot INGENIEUR recouvre tant un ingénieur qu'un scientifique.





# Préface

Depuis l'automne 2021, nous avons assisté à des évolutions considérables de notre environnement particulièrement dans trois domaines :

**Financier**, avec : une dynamique de hausse des taux d'intérêt et le durcissement des conditions de prêts et leur renouvellement qui pèse sur les projets d'investissements privés et publics, la baisse de l'euro de plus de 15% en 1 an par rapport au \$ renchérissant le coût des matières premières et des intrants, une inflation de 10% en Europe et toujours en hausse se traduisant par une pression salariale et une baisse significative du pouvoir d'achat des citoyens, un taux de croissance de la zone euro en berne pour 2022 et 2023.

**Géopolitique**, avec la décision politique de l'Europe d'interdire sans transition les exportations et les importations avec la Russie, en particulier énergétiques, et cela sans s'être assuré de sources d'approvisionnement alternatives conduisant à des pressions sur les chaînes d'approvisionnement conduisant à leur désorganisation et à l'augmentation des coûts, à des cyber-attaques sur des équipements non seulement militaires mais également civils (hôpitaux, administrations.) conduisant à de fortes désorganisations, et enfin à des risques d'une distorsion forte de concurrence industrielle liée au prix de l'énergie non seulement vis-à-vis des Etats Unis mais au sein même de l'UE.

Le retour de blocs (Europe/USA/ Japon) et (Chine/ Inde/ Afrique/ Russie) avec l'émergence de tensions de plus en plus fréquentes (Mali-Taiwan...) entre eux et qui marque un arrêt au développement de « la mondialisation heureuse » et fait émerger une nouvelle attitude de « guerre froide ».

**Sociétal**, en conséquence indirecte de l'expérience des mesures de « confinement Covid », le souhait des personnels des entreprises de « télétravailler » et de changer de lieu de vie devient prioritaire. Il s'accompagne d'un mouvement de « grande démission » en particulier pour le personnel qualifié. La prise de conscience de la matérialité du réchauffement climatique (sécheresse en Chine, perte de navigabilité du Rhin en Europe, incendies, manque d'eau potable...)

Cette version « revue et augmentée » du Livre Blanc paru en novembre 2021 tient compte d'une part des réactions et des contributions générées par les très nombreux lecteurs qui s'en sont saisi mais aussi de certains alignements de planètes constatés durant les 15 derniers mois et dont les annonces du président de la République, tant sur la transition énergétique que le plan de relance France 2030 ou encore sur des sujets thématiques telle la souveraineté à retrouver sur les semi-conducteurs, la chaîne de valeur de l'hydrogène, le bouillonnement observé dans le domaine des mobilités nouvelles, qui en sont les aspects les plus visibles !

Le progrès est très généralement obtenu par un bon usage des innovations technologiques. Pourtant la légitimité et l'autorité de la science et des scientifiques sont souvent remises en cause de manière radicale par une minorité intellectuelle contestataire extrêmement active sur les réseaux sociaux et dans les media conduisant à une assez large défiance dans la population vis-à-vis du progrès technologique. Cette défiance trouve en partie son origine dans la faiblesse de la formation scientifique dans le parcours scolaire mais également, pour beaucoup, dans l'audience des « infox » véhiculées par les réseaux sociaux.

Aussi, ce livre propose-t-il la création d'un « réseau d'influenceurs de culture scientifique » mobilisable pour combattre les « infox » de toute nature. Toutefois, ce réseau qui pourrait être alimenté par les comités techniques d'IESF, devrait d'une part, être réactif sur les sujets d'actualité et d'autre part, être relayé par d'autres « influenceurs ».

L'avertissement en 2021 de 126 prix Nobel conforte l'importance accordée par IESF au rôle de l'ingénieur dans la cité, un rôle qui dépasse de loin le strict domaine de la science et de la technologie. Les ingénieurs dont la mission est de proposer et mettre en œuvre sur le terrain des solutions pertinentes sont confrontés à un double défi :

- Contribuer activement à un développement durable, pour tous.
- Assurer, par leurs valeurs et leur éthique, que le progrès technologique soit compris et accepté, bénéfique pour le plus grand nombre, et socialement équitable.

Les Ingénieurs et Scientifiques de France, (les SIT) comme ils l'ont fait à chaque révolution industrielle et dans leur tradition Saint Simonienne veulent faire entendre et reconnaître leur voix à la hauteur de leurs contributions passées présentes et à venir car ils sont acteurs et au cœur du Plan de Relance qui va transformer la France des 30 prochaines années et par et pour ses jeunes générations qu'il convient de mobiliser.

Ce livre blanc ne prétend pas dicter ni donner UNE vérité mais il se veut contributif à la réflexion et, au-delà, à l'action, deux choses dont les SIT sont des fervents et d'actifs acteurs et contributeurs.

Très bonne lecture, et à utiliser et partager sans modération.

**Marc Rumeau**

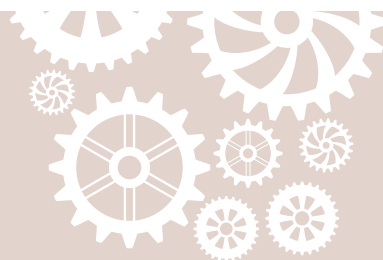
*Président, IESF*

**Philippe Deltombes**

*Responsable du projet Livre Blanc*

# Sommaire

|                                                                                            |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>1 – Education, clé du progrès</b> .....                                                 | page 5  |
| <b>2 – Energie et Environnement</b> .....                                                  | page 15 |
| <b>3 – L'ingénieur dans la cité (I&amp;C)</b> .....                                        | page 24 |
| <b>4 – Compétitivité des entreprises et Réindustrialisation</b> .....                      | page 30 |
| <b>5 - La formation des ingénieurs et des scientifiques face aux nouveaux enjeux</b> ..... | page 36 |



# 1 – Education, clé du progrès

## Préambule

**Pour fille ou garçon, l'enfance et l'adolescence constituent une période capitale dans la construction personnelle**

L'enfance et l'adolescence constituent une période capitale dans la construction de chaque individu. C'est l'époque où les jeunes vont d'abord acquérir les compétences de base pour, s'exprimer à l'écrit et à l'oral, lire, compter et commencer à découvrir leur environnement, culturel, scientifique et technologique, économique, politique, ... Ils vont progressivement s'intéresser, voire se passionner pour certains domaines (le sport, la culture, les sciences, la technologie, l'environnement, ...) et découvrir des parcours de formation, des voies d'insertion dans la société. Les possibilités étant infinies, dès leur plus jeune âge, il est essentiel de leur faire « goûter » à ces grands domaines pour qu'ils découvrent leurs propres centres d'intérêt. On constate un trop faible nombre de filles aspirant aux carrières scientifiques (seulement 25 à 30% dans l'Industrie). Si l'environnement familial peut contribuer à cette découverte, cela ne suffit pas ; l'École a un rôle capital à jouer pour compléter le contexte familial. Progressivement, tous les jeunes doivent être orientés selon leurs moyens et leurs aspirations pour acquérir les compétences et talents adéquats les conduisant vers une vie professionnelle répondant au mieux à leurs motivations et, bien sûr, en regard du marché du travail. L'Education Nationale, par ses enseignements et surtout grâce à ses enseignants, doit garantir aux jeunes une insertion sociale et professionnelle de qualité quel que soit le niveau de cette insertion. Cette recherche d'épanouissement et d'insertion professionnelle est essentielle mais elle ne se déroule pas toujours de façon optimale dans notre pays.

## Contexte

**Un socle de compétences de base incluant sciences et technologie est indispensable pour**

**construire solidement la formation des jeunes.**

Quelle que soit la maison à bâtir, elle ne résistera que sur de solides fondations. En effet, on constate actuellement une multiplication des sujets abordés à l'école qui conduit à des réductions de durée d'enseignement pour des disciplines qui pourtant doivent être prioritaires, notamment le français et les mathématiques, les sciences et la technologie. Au collège, la synergie entre Sciences Physiques et Chimiques, Technologie et Sciences de la Vie et de la Terre et informatique existe et mérite d'être développée, par contre elle disparaît au lycée par l'absence des mathématiques du tronc commun d'enseignement et la concurrence entre trois disciplines scientifiques dans le choix de spécialités en première et sa réduction à seulement deux en terminale.

Tout ceci conduit à un échec dans l'atteinte des objectifs initiaux de la réforme du bac, à savoir repousser le moment d'un choix d'orientation. Actuellement, seuls 165 000 élèves poursuivent en parcours scientifique : c'est près de 20% de moins qu'avant la réforme. De plus, la spécialité Sciences de l'Ingénieur perd 2/3 de ses élèves en terminale et se réduit à seulement quelques 6 000 élèves. Par ailleurs, avant réforme, le volume horaire de la formation scientifique était de l'ordre de 16h30 par semaine. Il n'est plus désormais que de 12h. Ce manque de bases scientifiques et technologiques se poursuit dans l'enseignement supérieur alors que le standard STEM (Science-Technology-Engineering-Mathematics) se développe partout dans le monde.

Au lycée, il importe de développer un socle scientifique diversifié. A l'heure où les grandes avancées scientifiques se concrétisent pourtant à l'interface de différents champs disciplinaires, il faut donc développer la part des pratiques interdisciplinaires associant les différentes disciplines scientifiques et technologiques dans le cadre de projets authentiques, bien représentatifs des mondes scientifiques et/ou industriels.

De nombreux concours (concours aux nombres, concours kangourous, rallyes, maths en jean, olympiades nationales de mathématiques, physique, chimie, biologie et sciences de l'ingénieur...) sont adossés à l'Education Nationale ; Ils permettent de promouvoir cette culture transversale scientifique et technologique et de développer le sens du défi, essentiel à l'innovation. Ainsi, des « challenges » de tous ordres existent déjà, internes ou externes aux entités de formation. Toutefois, s'il est important de s'engager dans les défis régionaux, nationaux ou internationaux pour positionner la France parmi les meilleurs (ex : Olympiades des métiers), il ne faut pas abandonner les défis locaux en y incluant, tous les jeunes, afin d'entraîner tout le monde dans cette dynamique.

### **Un déclassement continu des écoliers français est mis en évidence par de multiples références françaises et internationales.**

Le classement PISA, en est un excellent exemple de ce déclassement. L'une des causes importantes de ce problème semble être le difficile recrutement des enseignants faute de candidats adaptés aux besoins de certaines disciplines notamment scientifiques et technologiques. Cette difficulté est visible dès l'école primaire où la majorité des enseignants possède plutôt une culture littéraire.

### **La place de l'Ecole et des enseignants est mise à rude épreuve dans la société.**

Le comportement d'un grand nombre de jeunes en classe ne facilite pas la tâche des enseignants et induit une gêne notable pour la formation des autres élèves présents ; en effet, le respect de l'enseignant est, bien souvent, de peu d'actualité de nos jours. Ce phénomène dépend beaucoup, de plus, de la nature et de la localisation de l'établissement. Le respect des enseignants est également souvent malmené par le comportement de certains parents. Tout ceci pose, d'une manière générale, le problème de la reconnaissance du métier d'enseignant dans la société et donc l'attrait de cette profession pour les jeunes, sans parler des salaires. Cela est éminemment regrettable car beaucoup d'enseignants ont laissé des traces indélébiles dans la vocation et la carrière de personnes, adultes aujourd'hui.

### **La place du numérique et son accès facilité pour les jeunes ont induit des modifications de comportement.**

Le monde de l'internet, très fortement utilisé par les jeunes et sur des durées quotidiennes très longues, est une alternative importante pour la transmission des savoirs. Les jeunes ont plus de libertés et sont face à une multitude de sollicitations et d'informations diverses qu'il faut leur apprendre à décoder, valider et structurer.

Ce seul mode de formation et d'information ne permet pas actuellement aux jeunes (donc à tout citoyen français dans le futur) d'acquérir les compétences attendues pour répondre aux besoins du monde professionnel et, globalement, à la compréhension des enjeux de la société.

### **La place de la technologie et des sciences dans les médias est insuffisante en France.**

Synonyme d'excellence dans les pays anglo-saxons et germaniques, la technologie est souvent associée en France à une voie de formation pour les élèves en difficulté, dès le collège. Un important travail au sein de l'Education Nationale doit être poursuivi pour expliquer les intérêts professionnels de toutes les filières, aux jeunes, mais surtout aux parents. Ainsi, la communication dispensée par les médias ne porte pas toujours les bons messages vers la société, et donc vers les jeunes, pour mettre en avant les technologies et les innovations qui pourraient générer des vocations. Pourtant, les innovations technologiques ont conduit aux énormes progrès, notamment du 20ème siècle et, a priori, contribueront à la survie de la planète dans le futur : climat, énergie, agriculture et alimentation, gestion de l'eau, santé, ...

Ces dernières années, en particulier avec la pandémie, et une réelle prise en compte des contraintes climatiques, les stratégies industrielles ont fortement évolué et la RSE (Responsabilité Sociétale des Entreprises) s'implante rapidement (loi PACTE<sup>1</sup>).

Il ne faut pas abandonner nos acquis comme le proposent certains mais les maintenir, voire les augmenter et les transformer, en utilisant tous les moyens scientifiques et technologiques à notre disposition et à venir. Les scientifiques, les ingénieurs

<sup>1</sup> LOI n° 2019-486 du 22 mai 2019 relative à la croissance et la transformation des entreprises

notamment, doivent fournir des données fiables aux politiques qui décideront. Ainsi, il faut habituer chacun à s'appuyer sur des faits avérés, vérifier ses sources, maîtriser les ordres de grandeur des entités dont il parle, estimer rapidement un indicateur, avoir un regard critique sur des résultats obtenus. Cette maîtrise est indispensable pour émettre des opinions, des diagnostics et des préconisations fondées ; c'est essentiel à l'exercice démocratique.

### **Un retour de souveraineté nationale, voire européenne, sur des objets et produits stratégiques, est indispensable.**

En lien avec les déclarations du Président de la République, l'école et ses formations, notamment d'ingénieurs, doivent permettre cette souveraineté. Pour permettre à la France de rester en pointe sur plusieurs domaines stratégiques et de redéployer l'industrie en France, les formations dites d'élite à la française sont nécessaires. Les écoles d'ingénieurs et les universités technologiques ont un rôle à jouer dans ces enjeux. Pourtant à la suite de la réforme du cycle terminal, on observe une chute de près de 20% des élèves en classes scientifiques. Ceci impacte donc les filières dites d'excellence que sont les Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles (CPGE). En lien avec les problématiques d'industrialisation, de conception et de production, les Sciences de l'Ingénieur et la Technologie sont centrales notamment en filière PTSI et TSI. Pourtant on observe que les CPGE plus en lien avec les problématiques technologiques et en lien avec le réel (notamment la filière PTSI) enregistrent une baisse marquée de 12% d'étudiants pour une baisse globale d'effectif de 1,5% à l'échelle des CPGE ? scientifiques.

Si les cadres sont nécessaires pour accroître notre souveraineté, cette dernière ne sera réalisable que si des ouvriers et techniciens assurent la concrétisation des productions. Les évolutions de formation doivent donc impérativement toucher tous les niveaux d'études, depuis les écoles de production, en passant par les IUT avec les nouveaux bachelors, ...

### **Les activités professionnelles sont très variées, manuelles ou non, et évoluent fortement.**

Devant cette multitude de possibilités, les jeunes doivent acquérir une bonne vision des secteurs professionnels actuels et futurs pour s'engager dans les formations adéquates et y trouver plaisir et mo-

tivation. Il faut toutefois impérativement les guider pour éviter des formations, quasiment sans débouchés, qui existeraient encore (problème des cartes de formation pas assez évolutives), et conduisant au chômage ou à une réorientation démotivante et coûteuse en formation. Inversement, il existe de multiples secteurs (industrie, bâtiment, restauration, électronique, agriculture,...) sans candidats formés en nombre suffisant. Cela met en évidence un besoin impérieux de rééquilibrage de l'orientation entre les souhaits des jeunes et les besoins de la société. Les ouvriers et techniciens sont essentiels à la structure professionnelle de l'industrie, ce sont souvent à ces niveaux que l'on peine à recruter ce qui bloque l'activité (ex : capacité réduite de la production des Airbus face aux engagements de commande, manque de soudeurs pour les centrales nucléaires). La formation en alternance est l'une des clés du succès, y compris pour les futurs ingénieurs, comme dans d'autres pays (Suisse, Allemagne,...) car ce statut de formation montre son efficacité. Ce succès ne sera obtenu en France que si on casse le dogme que les voies dites « professionnelles », voire « technologiques », sont sans issue et qu'il ne faut passer que par la voie dite « générale » pour réussir. Il faut développer des parcours mixtes (inter voies et inter statuts). Toutes les formations doivent devenir « professionnalisantes à certains moments ». Il faut favoriser statutairement la possibilité de proposer des formations en alternance dans tous les établissements.

Il faut également améliorer la formation tout au long de la vie, à tous les niveaux de formation pour progresser régulièrement (ce qui est très motivant).

### **Les femmes sont encore trop peu présentes dans le monde scientifique et technologique.**

Pourtant le monde industriel et de l'entreprise s'accorde à dire qu'elles doivent être présentes dans tous les domaines, pour accroître les effectifs et apporter une sensibilité différente. De nombreuses actions existent pour essayer de sensibiliser et remédier à ces difficultés. On peut citer par exemple des associations comme Elles Bougent, Femmes Ingénieurs, Ingénieures au féminin... qui agissent pour faire évoluer les choses. De nombreuses actions se développent également pour promouvoir les métiers scientifiques au féminin au sein d'IESF. La part de filles suivant les spécialités Numérique et Sciences informatiques (18,1%) et Sciences de

l'ingénieur (15,5%), malgré toutes les actions de terrain, est relativement faible et contribue à renforcer les stéréotypes.

*LOI n° 2019-486 du 22 mai 2019 relative à la croissance et la transformation des entreprises.*

## Synthèse et propositions

**Il faut créer un choc de communication autour du plan de relance pour développer et améliorer la connaissance des métiers de l'ingénieur, du technicien et de l'ouvrier** (CF : le rapport de l'IGEN N°2021-187 d'octobre 2021).

Quatre axes de travail sont mis en évidence :

- Adapter la formation des jeunes aux nécessités de notre siècle, avec un socle scientifique et technologique de compétences de base solide.
- Motiver les jeunes aux carrières scientifiques et technologiques par une culture et une formation scientifique et technologique significative et adaptée.
- Augmenter la part de filles dans les carrières scientifiques et technologiques et développer l'orientation progressive des jeunes vers leur satisfaction personnelle, leur quête de sens, tout en répondant aux besoins de la société française.
- Développer une relation étroite entre le monde professionnel actuel et les jeunes.

### 1) Propositions sur l'adaptation des jeunes français aux nécessités de notre siècle

**Avec des actions telles que :**

**1.a Garantir, en priorité, l'acquisition d'un socle minimal de compétences en mathématiques pour tous les jeunes**, sans exception, dès le plus jeune âge, de l'école primaire au cycle terminal du lycée.

Ce bagage est indispensable pour permettre aux jeunes de comprendre et assimiler les enseignements qu'ils vont suivre et participe de la culture de base. Ce point a été largement mis en évidence dans plusieurs rapports : Villani / Torossian (février 2018), Longuet (juin 2021), Académie des Technologies, ... Leur mise en application est urgente et on doit vérifier que leurs effets portent bien sur tous

les enfants, quels que soient leur milieu social et leur localisation. La confirmation de cet acquis impose aux enseignants, quelle que soit leur spécialité, d'insister constamment sur le respect de l'orthographe, de la grammaire (véritable algorithmique de la langue française), et des mathématiques dans tous les travaux des jeunes. Cette action est primordiale pour réduire les disparités sociales et même pour les meilleurs car le niveau global régresse régulièrement. Ce constat est maintenant permanent notamment au niveau du recrutement des élèves dans les grandes écoles.

**Un retour des mathématiques dans le tronc commun de formation du cycle terminal du lycée permettrait d'améliorer l'acquisition de ce socle minimal.**

**1.b Rétablir l'équilibre entre les mathématiques et les sciences et technologies pour tous les jeunes**, sans exception, dès le plus jeune âge, de l'école primaire au cycle terminal du lycée.

Au niveau de la construction des programmes de formation du cycle primaire à la terminale, il faut revoir la place des mathématiques et de toutes les autres disciplines scientifiques. En relation avec les besoins de l'industrie notamment, les mathématiques doivent aussi être enseignées comme outil de et pour l'Ingénieur, notamment. En intégrant les mathématiques dans les programmes des disciplines autres que mathématiques, tout en s'assurant de la cohérence globale des programmes officiels de formation, une approche originale et moderne des problématiques scientifiques permettrait de diversifier le profil des élèves, d'augmenter les flux d'élèves vers des formations scientifiques et d'ingénieurs. Cette approche se rapprocherait notamment des besoins actuels de jeunes capables de travailler aux interfaces de plusieurs problématiques scientifiques et technologiques.

**Le maintien de 3 spécialités au cycle terminal du baccalauréat concourt à cet objectif surtout si on crée du lien entre ces enseignements.**

**1.c Donner le goût, essentiel pour les jeunes, de l'émulation** afin qu'ils s'impliquent personnellement dans leur formation grâce à une stimulation de l'envie de progresser et par le travail en équipe.

Les concours, notamment ceux adossés à l'Éducation Nationale, demandent un travail en équipe et contribuent, ainsi, à l'acquisition par les jeunes de capacités personnelles (soft skills) que les recruteurs recherchent. Cette mise en équipe des élèves permet de sensibiliser au travail en mode projet auquel ils seront confrontés plus tard. Elle permettra aussi la formation, la sensibilisation et l'initiation des jeunes filles et jeunes garçons au travail en mixité, en continuité avec la formation effectuée au cycle primaire et collège.

A noter, au cycle terminal du lycée, le cas des Olympiades nationales de Sciences de l'Ingénieur qui réunissent innovation scientifique et technologique en lien avec les problématiques de l'ingénierie moderne et le travail en équipe, en mode projet ; tout cela est réalisé en lien avec des entreprises. Elles intègrent d'ailleurs dans leurs critères d'évaluation l'interdisciplinarité des approches (sciences de l'ingénieur, mathématiques, sciences physiques et chimie, sciences de la vie et de la terre, éducation physique et sportive).

**Le développement des concours existants par une implication massive des élèves et des équipes de professeurs scientifiques doit permettre de répondre à cet objectif.**

**1.d Maintenir et développer la formation d'une élite à la française** pour répondre aux objectifs de réindustrialisation sur le territoire national.

En plus des grandes écoles d'ingénieurs et universités scientifiques, grandes pourvoyeuses de profils ingénieurs et scientifiques, les BUT, BTS et Universités Technologiques forment également les jeunes aux sciences et aux technologies. Nombreuses sont celles et ceux qui intègrent les formations d'ingénieurs à niveau bac + 5 via ces dispositifs de formation.

Parmi les autres voies d'intégration dans ces formations, le système CPGE fournit des jeunes alliant formation d'excellence et « softskills » attendues. Les CPGE à forte valeur ajoutée en Sciences et Sciences de l'Ingénieur existent et contribuent à répondre aux problématiques actuelles de réindustrialisation. En revanche, leur nombre est insuffisant et les possibilités d'intégration insuffisantes pour attirer les jeunes.

**Un rééquilibrage entre les différentes voies de formation scientifiques et technologiques à haute valeur ajoutée, notamment en CPGE, doit permettre de former et d'orienter plus de jeunes compétents en problématiques d'industrialisation, de conception et de production.**

**1.e Développer la pratique de l'oral et de l'expérimentation avec un retour au « réel ».**

La pratique de l'oral est essentielle pour donner aux jeunes les moyens de s'expliquer, se justifier, démontrer, se positionner, argumenter... Cependant, même si le grand oral du bac est une concrétisation de cette évolution, son efficacité reste à être évaluée. Par ailleurs, les compétences associées et recherchées, notamment par l'enseignement supérieur, ne peuvent pas être exclusivement orales. Le second point concernant le « réel » et l'expérimentation est également important car les jeunes sont baignés dans un monde du virtuel et perdent de multiples facettes du « réel ». Ce principe doit être pris en compte dans les enseignements par le recours aux travaux pratiques et à l'expérimentation. Au cycle primaire, la méthode Montessori exploite au maximum ce principe ; de telles expérimentations sont essentielles, dès le plus jeune âge. Il est également important de comprendre l'utilité de tout ce qui nous entoure. On pourra noter que certaines disciplines telles que la Technologie au collège ou les Sciences numériques et celles de l'ingénieur, s'appuient sur l'approche de systèmes réels. Pour finir, l'augmentation du nombre et de la durée de stages, réglementaires ou volontaires, est également un bon moyen pour prendre en compte des problèmes concrets. Le tuteur de stage doit pouvoir garantir ces acquis du « réel », par son implication dans le travail du jeune.

**Les enseignements de Sciences de l'Ingénieur et du Numérique doivent être maintenus et développés. Comme cela existe au collège, il faut des stages au lycée permettant d'aider les jeunes à mieux découvrir le monde professionnel afin de mieux s'orienter.**

**1.f Coordonner, voire regrouper les différents comités décisionnaires ou conseils consultatifs de formation.**

Bien sûr, cette entité centrale aura une constitution assurant une bonne représentation des mondes éducatif et professionnel. On veillera à bien tenir compte des priorités indispensables pour les secteurs d'activités à maintenir ou développer, notamment dans l'ingénierie et les sciences. Les régions, responsables des formations locales, seront à la base de ces entités de concertations. Les CMQ (Campus des métiers et des qualifications) font un excellent travail et doivent être développés.

**Les actions de formation doivent être pilotées conjointement par les entités de formation et les industriels, en fonction des besoins régionaux.**

**Ces actions doivent être menées avec des objectifs tels que :**

- **Gagner régulièrement des places dans les classements internationaux** (ex : au moins une place tous les 5 ans au PISA).
- **Développer la participation d'élèves aux divers défis existant déjà dans le secteur éducatif en veillant à une implication de toutes les académies.** La première année permettra la création d'une cartographie de l'existant pour servir de référence et engager les actions dans toutes les écoles, collèges et lycées.
- **Utiliser au maximum les indicateurs annuels de l'Education Nationale** pour mesurer et faire évoluer les diverses évaluations au collège (6e) et au lycée (2de).

## **2) Propositions sur le développement de la culture scientifique et technologique**

**Avec des actions telles que :**

### **2.a Positionner les sciences et la technologie comme des éléments clés de la culture générale.**

Des quotas d'émissions de vulgarisation de la culture scientifique et technologique doivent être instaurés ; cela impose que des scientifiques et des ingénieurs s'impliquent dans les autorités de décisions en charge du contrôle des médias. L'émission « C'est pas sorcier » est un bel exemple qui devrait être à nouveau développé et présenté à des heures de forte écoute (et sur les réseaux). Universcience

est aussi un excellent contributeur de cette action. Un grand nombre de chaînes YouTube existent également.

La présence des sciences et de la technologie doit être déjà significative dès le collège pour permettre une orientation adaptée et positive, notamment pour bien s'orienter dans les formations professionnalisantes. La cité des sciences de La Villette est un outil remarquable mais hélas seulement francilien. « Exploradôme », situé à Vitry, également en région parisienne, est un petit musée mais particulier car, ici, les jeunes « doivent toucher » les expériences présentées : son clonage dans de multiples régions française serait idéal.

Une communication à destination des jeunes peut se faire par la valorisation et la diffusion de réalisations d'élèves ou de conférences, notamment dans le cadre de concours nationaux, tels que les diverses Olympiades.

En rapport avec le besoin de féminisation des métiers scientifiques et technologiques, des travaux impliquant les différentes cultures disciplinaires doivent permettre d'attirer plus de jeunes filles et les motiver à s'engager dans ces voies de formation. En effet, beaucoup de disciplines autres que celles réputées « scientifiques » utilisent le traitement de données, l'instrumentation, la modélisation. Par exemple, les domaines du patrimoine (analyse de matériaux, modélisation 3D de structures, réalité augmentée, analyse numérique des textes anciens ...) et de la santé (IA au service du suivi de l'évolution, biochimie, équipements de détection et d'analyse, humain « augmenté ») offrent de nombreux postes d'ingénieurs et de chercheurs.

**Les initiatives locales et les réalisations** lors des olympiades nationales scientifiques sont à développer pour s'en servir de **vecteurs de communication vers les jeunes.**

**Les témoignages des scientifiques** des domaines généralement atypiques pour les ingénieurs (santé, patrimoine, lutte pour le climat, ...) sont **indispensables** pour mettre en évidence les composantes scientifiques de ces domaines. Ils constitueront de bons arguments pour aider à **capter plus de jeunes**, notamment les jeunes filles, vers les métiers d'ingénieurs et scientifiques.

## **2.b Valoriser les découvertes et réalisations scientifiques ou technologiques auprès de tous : jeunes, parents, médias et enseignants.**

Les aspects positifs des découvertes et réalisations doivent être mis en valeur au détriment des négatifs, plus souvent médiatisés. Il faut aussi expliquer que l'industrie, via ses entreprises, est à la base de la défense de la planète afin d'en convaincre les jeunes et les prescripteurs d'orientation (parents, conseillers, professeurs). L'innovation est l'un des moyens importants pour permettre la décarbonation de l'industrie, des transports, du bâtiment ... Par ailleurs, toute entreprise prépare son avenir et, pour cela, l'un de ses points clés est le recrutement de son personnel ; elle doit donc s'impliquer dans l'orientation et la formation de ses futures recrues. La formation en alternance et l'offre de stages, constituent les premières réponses fort utiles mais elles sont insuffisantes ; il faut accentuer ces actions en développant des implications temporaires de collaborateurs : exposés, visites, enseignements ponctuels, ... voire détachements ou accueil d'enseignants. En pratique, chaque entreprise devrait avoir un responsable des relations avec les collèges et lycées voisins pour parrainer des classes. Dans le même contexte, il faut imposer une capacité d'accueil de stagiaires, notamment en ne se limitant pas aux enfants des employés. Des stages volontaires pendant les vacances d'été sont une bonne réponse à l'attente de jeunes voulant découvrir, qui une activité, qui un domaine. Ces formations visent les jeunes mais aussi les enseignants qui seront des relais permanents vers leurs élèves.

**Les scientifiques de tous domaines doivent mettre en évidence et valoriser leur contribution propre à leur domaine. Les interactions entre l'industrie et les établissements d'enseignement doivent être accentuées afin de transmettre les acquis actuels. Les entreprises doivent appliquer la Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE), en particulier les actions de formation.**

**2.c Former et sensibiliser les enseignants aux métiers scientifiques et technologiques.** Pour rapprocher les jeunes des sciences, les enseignants doivent être engagés dans cette mission.

Il faut mettre en place et développer une formation

mathématique, scientifique et technologique pour tous les enseignants, des écoles, collèges et lycées afin d'équilibrer les origines humanistes, littéraires des enseignants du premier degré. Cette intensification doit commencer pour la formation initiale des professeurs de l'école élémentaire puis se poursuivre en formation continue pour mieux répondre aux besoins de tous les enseignants. Les actions de formation scientifiques et technologiques proposées par l'IGEN STI sont à appuyer et à accompagner.

Par ailleurs, il faut faire venir des professionnels de l'industrie et de la recherche au sein de l'école, du collège et du lycée. Les sociétés savantes, les syndicats professionnels sont aussi de bons relais entre entreprises et écoles. De même, les associations d' alumni et IESF sont une source significative d'informations externes. Un travail conjoint entre Education Nationale et le milieu associatif permet de conserver l'expérience des seniors en l'injectant aux juniors. A noter également que ces associations sont à la pointe de la communication concernant la féminisation des métiers scientifiques et technologiques.

De même, une formation à la pédagogie des personnes impliquées dans cette formation externe aura des retombées sur les transferts de compétences en interne aux entreprises de formation ou de recrutement. Un binôme enseignant-ingénieur peut être mis en place.

Les seniors constituent un capital de compétences et de savoir-faire essentiel à retransmettre aux jeunes. Les réalisations menées à terme sont généralement publiées et donc accessibles à tous mais les échecs, les erreurs ne le sont jamais ; Cela constitue pourtant une expérience à transmettre qui est demandée par les jeunes en début de carrière. En fin de carrière et au début de leur retraite, beaucoup peuvent enseigner et beaucoup en ont envie ; hélas, en France, il existe des contraintes d'enseignement dans les écoles publiques liées à l'âge, il est indispensable de les supprimer.

**Les futurs enseignants (de tous les niveaux d'enseignement) doivent être formés aux sciences et technologies modernes en les faisant travailler avec des ingénieurs en partenariat, par exemple, avec des associations telles qu'IESF.**

## 2.d Développer l'attractivité du métier, notamment pour les enseignants des disciplines scientifiques et technologiques.

Travailler sur l'attractivité du métier d'enseignant s'impose pour régler le problème crucial du recrutement des enseignants, notamment en mathématiques, sciences physiques, sciences de l'ingénieur et numérique/informatique, et attirer des candidats qui font défaut.

En début, mais aussi tout au long de leur carrière, les salaires des professeurs ne permettent pas d'attirer les jeunes esprits brillants vers les métiers de l'enseignement pourtant précieux pour notre pays.

En complément de cette mesure, les possibilités de secondes carrières des militaires, de certains ingénieurs et techniciens pourraient aussi être un axe de travail. Notamment, l'intégration d'ingénieurs et plus globalement de professionnels de l'industrie dans les équipes d'enseignement scientifiques et technologiques pourrait donner tout leur sens aux disciplines associées et à leur développement. Tout ceci est aussi valable pour le domaine des formations professionnelles.

**Les carrières d'enseignants doivent être revalorisées, notamment par accroissement des rémunérations. Le nombre de professeurs associés dans le secondaire doit être augmenté.**

## 3) Proposition sur le développement de « l'orientation professionnelle »

**Avec des actions telles que :**

**3.a Promouvoir les voies de formation mal reconnues en France.** Deux orientations, importantes mais guère retenues, sont à valoriser, en les expliquant aux jeunes (et aux parents) et en développant les supports officiels pour les intégrer au mieux dans la préparation à la vie professionnelle.

**a) La voie dite « professionnelle », quelle que soit le statut (statut scolaire et apprentissage)** est encore très décriée en France et conduit à engager beaucoup de jeunes vers la filière dite « générale ». Pourtant, la voie professionnelle rapproche rapidement les jeunes du concret et peut permettre un parcours de formation, plus long mais par étapes

successives (de l'opérateur à l'ingénieur). Cette filière doit être rapidement revalorisée en communiquant largement sur les débouchés, les salaires et même de grandes carrières en mixant expérience et formation tout au long de la vie.

**b) Les formations en alternance** doivent être fortement valorisées et encouragées. Les avantages sont nombreux :

- *Premier salaire fort utile pour beaucoup de jeunes.*
- *Apprentissage avec des tuteurs spécialistes et dans un environnement réel.*
- *Embauche plus aisée par pré intégration dans l'entreprise pendant la formation initiale.*

**Les diverses orientations possibles sont toutes pertinentes ; elles doivent toutes être utilisées selon les moyens et les souhaits des jeunes.**

**3.b Intensifier la prise en compte de l'orientation professionnelle en formant mieux les acteurs chargés de l'information** avec une formation adéquate pour connaître les secteurs professionnels et leurs principales caractéristiques et connaître également toutes les ressources mobilisables. Cela revient, en pratique, à réconcilier le monde professionnel et celui de l'éducation. Cette action d'orientation existe actuellement mais reposant généralement sur les professeurs principaux, non formés et rarement scientifiques, et à des conseillers d'orientation très souvent occupés par les problèmes sociaux de quelques élèves.

**Avec des actions telles que :**

**a) Structurer l'information sur les métiers et le monde professionnel de manière plus continue (pas uniquement quelques stages ponctuels) avec une entité de pilotage** chargée de répartir la formation à l'orientation sur le collège et le lycée. Cette entité proposera des exemples de parcours d'information et les modalités pratiques.

**b) Former les acteurs chargés de cette information** avec une vue générale sur les multiples secteurs d'activités associée à la connaissance des débouchés à court terme (passage à la vie active des élèves) et une estimation du futur. Ce contenu étant fort évolutif, une formation continue sera

indispensable pour ces formateurs. Ils devront être aussi d'excellents conseillers vis-à-vis des parents en étant porteurs d'arguments solides.

**Avec des objectifs tels que :**

- **Mettre en place une expérimentation de cette organisation de l'information** dans les trois ans, dans une dizaine de départements. Généraliser dans les 5 ans.

- **Mettre en place un référentiel des estimations de besoins du marché du travail, à court et moyen termes, pour contrôler énergiquement les accès aux formations.** Cet outil et de rapides formations permettront aux enseignants d'accroître l'efficacité des formations.

**3.c Développer un programme progressif de la connaissance du monde professionnel, en termes de contenu, mais aussi de méthodes de travail, de développement de carrière.**

Cette progression est essentielle compte tenu de la distance à la vie professionnelle des collégiens et lycéens. Les sujets à traiter sont multiples. Les forums (*action PMIS – Promotions des métiers d'Ingénieurs - par l'IESF*), actuellement souvent organisés avec beaucoup de dynamisme, mais très ponctuels et ne permettant pas une vue intéressante pour les enfants, pourront ainsi évoluer avec une formation progressive et réalisée par des professionnels du sujet. Ce programme inclura une forte activité de la connaissance de soi même pour mettre en évidence les goûts des jeunes, leurs motivations, mais aussi leurs talents innés (softskills) indispensables pour réussir dans la vie en se faisant plaisir. « Choisissez un travail que vous aimez, et vous n'aurez pas à travailler un seul jour de votre vie » a dit Confucius.

**Tous les aspects de la vie professionnelle doivent être esquissés aux jeunes pour qu'ils s'orientent, au mieux, en connaissance de cause.**

**4) Proposition sur l'implication des collaborateurs responsables des entreprises et centres de recherche à la formation des jeunes**

**Avec des actions telles que :**

**4.a Inclure une action de formation sur la Responsabilité Sociétale des Entreprises (RSE).**

Toute entreprise prépare son avenir et l'un des points clés en est le recrutement de son personnel. La formation en alternance est une première implication fort utile mais il faut traiter en amont en rendant obligatoire des détachements temporaires de collaborateurs responsables pour parrainer des classes, des écoles. Dans le même contexte, il faut imposer une capacité d'accueil de stagiaires, notamment en ne se limitant pas aux enfants des employés. Des stages volontaires pendant les vacances d'été sont une bonne réponse à l'attente de jeunes voulant découvrir, qui une activité, qui un domaine. Ces formations visent les jeunes mais aussi les enseignants qui seront des relais permanents vers leurs élèves.

**L'implication des entreprises à la formation initiale est une clé de leur futur recrutement via la motivation des jeunes pour les sciences et la technologie.**

**4.b Faciliter la participation des ingénieurs aux associations professionnelles et à l'enseignement.**

Quelques entreprises (ex : Google) ont montré qu'un certain temps laissé sans contrainte productive est efficace vis-à-vis de l'innovation, notamment. Se confronter avec d'autres spécialistes dans les sociétés savantes ou académies, les syndicats professionnels, les associations d'alumni, IESF, ... n'est pas du temps perdu mais une source significative d'informations externes.

On peut noter que l'accentuation des actions IESF (dont ce Livre Blanc) vers les jeunes, le monde éducatif en général, ... confirme son rôle d'utilité publique et de sa RSE. Pour l'enseignement, c'est le même effet car cela impose d'avoir les idées claires pour expliquer aux jeunes. C'est également un excellent moyen de conserver l'expérience des seniors en la réinjectant chez les juniors.

Les publications présentent généralement les résultats positifs acquis mais ne disent rien des échecs qui sont pourtant à la base d'une bonne expérience des experts. Une formation à la pédagogie des per-

sonnes impliquées dans la formation externe aura des retombées sur les transferts de compétences en interne aux entreprises de formation ou de recrutement ...

### Avec des objectifs tels que :

- Atteindre en 5 ans, 30 % des collègues avec un parrain scientifique ou technique. Veiller à ce que la représentation féminine soit bien respectée.
- Impliquer 1 à 2% des collaborateurs (ingénieurs, techniciens, compagnons) dans une activité temporaire d'éducation, dans les 3 ans.

## Conclusion

### ➤ Au niveau sociétal

- Créer un choc de communication autour des sciences, de la technologie et de l'ingénierie, de manière plus générale.
- Créer un choc de communication autour du besoin de femmes dans les métiers des sciences et de la technologie.
- Développer les cultures scientifiques et technologiques de tous les citoyens.

### ➤ Au niveau de la formation des élèves

- Remettre en place un enseignement de trois spécialités scientifiques au lycée pour permettre aux jeunes de développer leur culture et faire un choix d'orientation positif en connaissance de cause.
- Remettre les sciences et la technologie au cœur de la formation des jeunes, notamment par le développement de la synergie entre Technologie/Sciences de l'Ingénieur, Sciences Physiques et Chimie et Sciences de la Vie de la Terre, du primaire au lycée.
- Revoir la cohérence globale des programmes de mathématiques et des autres disciplines scientifiques du cycle terminal avec les besoins de formation en Ingénieur.
- Revoir la place des mathématiques dans la formation des scientifiques et des ingénieurs notamment en introduisant celles-ci comme outil adapté, selon les besoins, de l'ingénieur dans les programmes des différentes formations scientifiques et technologiques.
- Renforcer l'enseignement des sciences et de la technologie dans le cycle terminal, avec des interrelations entre les disciplines afin de mettre en place

toutes les compétences et démarches utiles pour l'Ingénieur de demain.

- Accroître le travail autour du réel et de l'expérimental et ceci en mode projet, par exemple au travers des sciences expérimentales que sont les Sciences de l'Ingénieur, les Sciences Physiques et Chimiques et Sciences de la Vie et de la Terre.

### ➤ Au niveau de la formation des enseignants

- Revaloriser les salaires et les carrières des enseignants en disciplines scientifiques et technologiques pour créer des vocations, du primaire au lycée.
- Mêler ingénierie et enseignement dès la formation initiale des enseignants mais aussi des jeunes ingénieurs.

### ➤ Au niveau de l'orientation

- Mener l'orientation professionnelle, art difficile mais essentiel pour les jeunes, en amont, et pour l'industrie française, en aval, par des acteurs formés continuellement pour s'adapter à la situation.
- Assurer la continuité des « parcours d'informations d'orientation » de façon progressive, du collège au lycée, sa richesse en modalités rendant les élèves acteurs. La promotion des métiers techniques et scientifiques aux jeunes filles doit être favorisée par leur forte implication dans ces actions.
- Remettre en cause le dogme de la hiérarchie des voies de formation pour développer l'alternance et les formations professionnelles comme parcours de réussite.

### Membres du Groupe de travail

Gérard LARUELLE : animateur  
Jean-Pierre COLLIGNON  
Gérard DUWAT  
Vincent HONORAT  
Sébastien PLANCHENAUT  
Marie-Claude PONCHON  
Mickael PROST  
Patrick TEJEDOR

# 2 - Energie et Environnement

## Introduction

Une série d'événements climatiques récents : canicules, avec températures extrêmes favorisant des incendies cataclysmiques de forêts, irrégularité des précipitations conduisant à l'alternance de périodes prolongées de sécheresse, suivies d'inondations, a conforté les prévisions du GIEC relatives au dérèglement climatique. Même si les modèles climatiques sur lesquels s'appuient ces prévisions sont encore loin de converger vers un modèle de référence, les prévisions de ces modèles sont considérées comme qualitativement fiables. Elles conduisent à affecter une très haute priorité à la baisse des émissions de CO<sub>2</sub> jusqu'à la neutralité carbone, et même probablement à mettre en œuvre des puits de carbone (reforestation, capture directe du CO<sub>2</sub> à partir de l'air), de manière à compenser les émissions irréductibles de CO<sub>2</sub> et des autres gaz à « effet de serre » (méthane, oxyde d'azote N<sub>2</sub>O) liées notamment à l'agriculture. Pour ce faire, l'essentiel des usages des combustibles fossiles devrait être éliminé (une partie pouvant être conservée en relation avec les technologies de captage et stockage du CO<sub>2</sub>).

Or l'essentiel (80%) de l'énergie disponible actuellement repose sur les énergies fossiles : charbon, pétrole, gaz au niveau mondial, pays développés et pays émergents confondus. Très peu de pays font exception (on peut citer la Norvège et son recours à l'hydroélectricité). En ce qui concerne la France, son score en apparence honorable doit en réalité tenir compte des émissions induites par les produits importés de pays tiers (en relation avec sa désindustrialisation).

La transition vers des énergies décarbonées s'avère difficile, car posant le problème de la disponibilité des quantités requises de ces « nouvelles énergies » en des temps très brefs.

Au niveau de l'Union Européenne, des plans succésifs portant en particulier sur le développement des énergies éolienne et photovoltaïque ont conduit à

des baisses limitées des émissions de CO<sub>2</sub>. La résilience des schémas de transition proposés n'ayant été ni étudiée ni assurée, il a suffi d'une interruption de livraison de gaz de la Russie (en relation avec la guerre en Ukraine) pour provoquer une crise énergétique majeure dans les pays de l'Union, affectant non seulement la fourniture de gaz, mais également la production d'électricité. La France, qui aurait pu faire exception pour la production d'électricité, s'est retrouvée dans la même situation par suite de l'indisponibilité de la moitié de ses centrales nucléaires. Les hausses de prix concomitantes sont difficilement supportables à la fois pour les particuliers et les industriels, ces derniers étant confrontés au choix de l'arrêt d'une partie de leurs opérations les plus énergivores et/ou à la délocalisation vers des pays à faible coût de l'énergie.

Ces difficultés conduisent, en dehors d'efforts d'efficacité énergétique et de l'adoption d'attitudes de sobriété énergétique, à la mise en place d'une stratégie long terme explicitée quant au rôle dévolu aux diverses énergies décarbonées par opposition à une approche type agenda inversé aboutissant à une réduction des émissions via une limitation de l'énergie disponible.

Nous examinons dans une première partie les problèmes généraux liés à la dégradation de l'environnement, en faisant ressortir d'une part les effets du changement climatique, d'autre part les difficultés liées à la mise en place des technologies requises pour la transition énergétique. Nous nous intéressons dans une deuxième partie aux propositions et aux recommandations dans les principaux secteurs concernés par la décarbonation de l'économie.

## 1ère partie Changement climatique et environnement

### L'accès à l'eau douce

Le changement climatique va rendre plus difficile l'accès à l'eau douce, suite d'une part à l'irrégula-

rité des précipitations survenant dans des régions jusqu'à présent « normalement arrosées » notamment pendant la période estivale, d'autre part au recul des glaciers et au manque de neige, qui va diminuer le débit de nombreux fleuves. Ceci aura des conséquences directes sur la production de biomasse, notamment agricole, mais aussi sur l'existence même de surfaces forestières. Le changement climatique pourrait rendre problématique l'implantation en bordure de fleuve de technologies de production énergétique nécessitant un refroidissement par l'eau, et bien entendu pourrait rendre aléatoire une partie de la production hydraulique, qui serait par ailleurs en concurrence avec l'utilisation de l'eau des réservoirs pour l'irrigation.

### **Le recul du trait de côte et les événements extrêmes**

Le recul du trait de côte, conséquence de l'élévation du niveau de la mer, ainsi que les événements extrêmes que constituent les tempêtes doivent être pris en compte dans la conception et le choix d'implantation des technologies de production énergétique marines. Une grande incertitude quant à l'évolution de ces facteurs amène à adopter un point de vue pessimiste, compte tenu de la durée de vie d'une partie des équipements concernés.

### **La perte de biodiversité**

Ce problème a diverses causes, que nous n'avons pas la prétention d'examiner en détail ici. Un facteur fondamental est l'occupation par l'homme du milieu naturel, au détriment des autres espèces, avec la disparition ou la diminution, accompagnée de fragmentation, des espaces « sauvages » (disparition quasi-totale dans l'UE). La mise en place des nouvelles technologies requises par la transition énergétique doit tenir compte dans des arbitrages raisonnés des tentatives de restauration de la biodiversité sur certaines portions de territoire ou dans le domaine côtier (tentatives pouvant aller jusqu'au « réensauvagement »).

### **L'usage des sols**

Mis à part quelques pays peu densément peuplés, comme l'Australie ou la Russie dans sa partie septentrionale, partout ailleurs règne une compétition plus ou moins sévère pour l'usage du sol : agricul-

ture, élevage, forêts, bâtiments, voies de communication, implantations industrielles et commerciales. Le développement de certaines technologies doit tenir compte de cette compétition (notamment usages énergétiques de la biomasse).

L'artificialisation doit être limitée afin de faciliter la pénétration de l'eau dans le sol, et de lutter à la fois contre la sécheresse et les inondations.

### **Les pollutions locales**

Les pollutions locales liées à l'usage des combustibles fossiles ont été progressivement réduites, sinon éliminées. On attend de la transition énergétique une amélioration de ce point de vue, ce qui peut conduire à ne pas adopter certaines technologies (telles que le chauffage au bois dans des installations de taille réduite, en particulier dans les zones urbaines). La mise en place des technologies associées à la transition énergétique pourrait induire de nouvelles nuisances, voire des problèmes de santé inconnus jusqu'alors (bruit, ondes électromagnétiques, pollutions visuelles ...).

### **Le traitement des déchets et le recyclage**

Dans la nature et sauf exception, le recyclage est sinon parfait, du moins très poussé, la matière organique et végétale retourne majoritairement, via des processus d'oxydation en plusieurs étapes, à un mélange de CO<sub>2</sub> et d'eau, les autres éléments et notamment les éléments minéraux servant pour la construction d'une nouvelle matière organique. C'est le cas des forêts non exploitées. L'existence des ressources fossiles (charbon, pétrole, gaz) montre que ce recyclage n'a pas toujours été parfait au cours des âges. Il faut noter que les gisements exploitables d'éléments minéraux sont liés à des processus de concentration de genèse lente et de répartition géographique souvent fortuite (avec une exception importante : la formation des gisements de minerai de fer). La disponibilité de certains éléments apparaît d'ores et déjà comme une difficulté pour certaines technologies comme par exemple les batteries et les moteurs électriques.

En ce qui concerne les productions associées à l'activité humaine, leur recyclage s'impose, après un traitement approprié, de manière à aboutir à une économie circulaire avec le minimum de déchets «

ultimes ». Ceci s'applique évidemment aux produits et matériaux relevant de la chimie dite organique, notamment les matières plastiques, mais aussi aux matériaux inorganiques, dont les métaux issus de gisements « rares » (c'est-à-dire presque tous, à l'exception du fer). Dans ce domaine, on ne doit pas se reposer entièrement sur le civisme des citoyens, ce qui implique de faire des choix de production « écologiques » quant à la nature des matériaux et développer les procédés requis, réservant les taux de recyclage élevés aux matériaux incontournables.

### **Les ingénieurs détiennent une bonne partie de la clef des solutions**

La « transition énergétique » implique de déployer des technologies existantes et d'en introduire de nouvelles dans la production d'énergie et les produits proposés aux consommateurs. Pour traiter les problèmes de pollution, émissions de GES comprises, les ingénieurs et scientifiques sont au cœur des solutions. En effet, ils jouent un rôle majeur dans la définition des modes de production d'énergie, des méthodes de conception et des procédés de fabrication, sur la base de technologies existantes ou en développement avancé, et sont capables d'avoir une vue d'ensemble permettant d'éviter les fausses bonnes idées. **Cette voie semble plus performante en termes de levier d'efficacité et de motivation des parties prenantes que des solutions réglementaires, fiscales ou tarifaires de limitation de la consommation perçues comme punitives, même si des efforts importants sont nécessaires en termes de sobriété (comportement des citoyens) et d'efficacité énergétique.**

### **Le besoin de formations initiales et permanentes adaptées aux enjeux énergétiques et écologiques**

Il semble donc fondamental de mettre en évidence dans la formation des ingénieurs, dans une approche systémique, le rôle crucial de leur cœur de métier (méthodes de conception, process de production, science des matériaux, gestion globale par des chaînes « capteurs-données et programmes informatiques-IA-actionneurs » dans l'écologie du XXI<sup>ème</sup> siècle.

## **Propositions par secteur**

### **1- L'énergie primaire**

La consommation d'énergie primaire pourrait augmenter de 30% entre 2020 et 2050 du fait principalement des pays émergents, où les usages de l'énergie croissent tandis que leur PIB triple et que leur population croît fortement sur la période, alors que les économies avancées (essentiellement l'OCDE) voient leur consommation globale se stabiliser.

Face à ces besoins, quelles sont les énergies décarbonées susceptibles de remplacer les énergies fossiles en dehors de la fraction associée au captage et stockage du CO<sub>2</sub> ? Ce sont d'une part les énergies renouvelables (ENR) hydraulique, éolienne, photovoltaïque, géothermique, biomasse, d'autre part l'énergie nucléaire. Parmi les ENR, les énergies éolienne et photovoltaïque présentent le plus grand potentiel de développement. **A l'exception de la biomasse (et accessoirement la géothermie), toutes ces énergies primaires servent à la production d'électricité, intermédiaire imposé, ceci impliquant à terme une importante électrification des usages.**

Le développement des ENR est fortement encouragé et même encadré au niveau européen, avec un calendrier toujours plus contraignant. Par ailleurs, une « taxonomie » des énergies propres a fait l'objet d'un compromis au niveau européen. Les énergies éoliennes et photovoltaïques en font partie, ainsi que le nucléaire et le gaz, avec des considérations limitantes à long terme.

**Les ENR à fort potentiel de développement présentent une difficulté particulière liée à leur production variable (qualifiée « d'intermittente ») non pilotable**, ce qui complique leur intégration dans un réseau électrique global, et pose de nouveaux problèmes relatifs à sa régulation en temps réel, à la cybersécurité et à la qualité du courant électrique. Les énergies non pilotables ne peuvent pas, à elles seules, remplacer les unités de production charbon-hydrocarbures (gaz naturel). Elles ont besoin soit d'une réserve pilotable de puissance disponible adéquate, soit d'un stockage suffisant. Aujourd'hui la réserve est essentiellement constituée par des hydrocarbures (principalement gaz naturel) ou du charbon.

**Le problème du stockage de l'électricité à grande échelle et long terme (inter-saisonnier) est donc posé.** Aucune des technologies actuellement disponibles : batteries, Stations de Transfert d'Énergie et de Pompage (STEP) n'est à la hauteur du problème. La solution proposée au niveau de l'Union Européenne ferait jouer ce rôle au vecteur hydrogène vert produit par électrolyse à partir d'électricité ex ENR et/ou décarbonée, solution dont la compétitivité doit être largement améliorée. C'est en partie l'objet du Plan Hydrogène.

### 1-1 Énergie éolienne terrestre

Outre son intermittence (taux de marche nominal 20-25%), son développement se heurte à des problèmes : oppositions locales aux implantations destructrices de paysage et aux nuisances sonores (infra-sons) et visuelles (effets stroboscopiques) ; recyclabilité insuffisante (pales, ancrage au sol) ; peu de retombées économiques en France, compte-tenu du fait que la production des éoliennes a lieu à l'étranger. Il faut noter que la densité de puissance récupérable est limitée (quelques MW/km<sup>2</sup>) et en première approximation indépendante de la taille des éoliennes. Il faut donc installer un grand nombre d'éoliennes pour obtenir une production comparable à une centrale thermique actuelle. D'où notre première recommandation.

**Recommandation :** le développement accéléré de l'éolien terrestre n'apparaît toujours pas comme une priorité aujourd'hui en France.

### 1-2 Énergie éolienne en mer

La situation est nettement plus favorable. Le taux de marche nominal de 40% peut atteindre 50% pour les futures éoliennes géantes en développement. Le potentiel d'implantation mise en œuvre dans le domaine maritime français est élevé, en posé ou en flottant. Par ailleurs une intervention industrielle d'opérateurs français porteuse d'emplois à forte valeur ajoutée se développe. En revanche, la mise en œuvre de quantités très importantes de matériaux métalliques implique d'étudier de très près le remplacement des éoliennes et le recyclage des matériaux en fin de vie. Raccourcir les délais de mise en œuvre des projets est nécessaire pour éviter de démarrer des installations avec des technologies dépassées.

**Recommandation :** Après la mise en œuvre des premiers champs d'éoliennes en mer, faire un retour d'expérience pour définir la meilleure utilisation de l'énergie produite.

### 1-3 Énergie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque a une productivité élevée en France (20-30 MW/km<sup>2</sup>). Son développement se heurte a priori à 2 types de difficultés : des intermittences multiples : intra journalière (soleil/nuage), journalière (jour/nuit), moyen terme (quelques jours), variation saisonnière, et une occupation au sol importante. Les intermittences journalière et intra journalière peuvent être corrigées par association avec une batterie de capacité convenable, ce qui permet de tirer pleinement partie de la production (mais ne résout pas le problème des intermittences moyen/long terme, qui lui, est du ressort du stockage long terme de l'électricité). Pour les centrales photovoltaïques de puissance importante (100 MW et plus), le problème du foncier se pose, une fois les friches épuisées. Les essais réalisés pour rétablir la « biodiversité sous des centrales photovoltaïques » ne sont pas toujours couronnés de succès. En revanche, il reste d'importantes possibilités sur le bâti, parkings couverts, bords de voies ferrées, autoroutes ..., avec autoconsommation favorisée.

**Recommandation :** favoriser le développement du photovoltaïque sur surfaces déjà artificialisées, avec autoconsommation efficace.

### 1-4 Énergie nucléaire

L'énergie nucléaire basée sur la fission représente aujourd'hui 70% de la production d'électricité en France. Cette électricité est à la fois décarbonée et compétitive. Les centrales actuelles présentent beaucoup d'avantages : taux de marche élevé (supérieur à 80%), modulation de puissance pilotable sur une large plage (30 à 80%), avec des transitoires courts. En outre, et contrairement aux énergies précédentes, l'énergie nucléaire ne requiert qu'une faible implantation au sol et une utilisation limitée de matériaux critiques. La technologie de traitement des déchets est à un stade avancé en France. L'ensemble correspond à une implantation industrielle forte, avec l'appui d'un grand centre de recherche (le CEA). Il faut ajouter l'existence d'une organisation de sûreté indépendante de tout pre-

mier plan. La question du remplacement des centrales en fin de vie d'ici à 2050 par des centrales de nouvelle génération est donc posée, et ceci dès aujourd'hui.

Il nous paraît essentiel d'assurer la pérennité de la filière nucléaire française pour garantir la sécurité et l'indépendance énergétique en toutes circonstances, tout en contribuant au maintien d'emplois hautement qualifiés, avec un potentiel à l'export sur un marché en expansion dans le monde.

**Recommandation :** conserver une part importante à l'énergie nucléaire, en prévoyant en temps utile (c'est-à-dire rapidement) le remplacement des centrales actuelles en fin de vie par des centrales de nouvelle génération (EPR).

Abandonner l'objectif « production électrique nucléaire inférieure à 50% » et maintenir un seuil minimum de 70% afin de ne pas obérer notre capacité de réindustrialisation à moyen terme. Par ailleurs, ce pourcentage minimum est indispensable pour assurer notre souveraineté énergétique et contribuer à celle de l'Europe, ainsi que l'atteinte de ses objectifs d'émissions de CO<sub>2</sub> (contrairement à des pays comme l'Allemagne, dont la dépendance aux fossiles va se maintenir via l'importation de gaz, et qui est actuellement contrainte de rouvrir des capacités charbonnières, très contreproductives en termes de lutte contre le changement climatique).

Une généralisation mondiale de l'énergie nucléaire sous la forme actuelle -probable au niveau mondial- débouche à long terme sur une pénurie d'uranium (bon marché). Il est donc très important de s'intéresser au « nouveau nucléaire », à savoir les réacteurs surgénérateurs, et notamment les réacteurs à neutrons rapides à caloporteur sodium. La France a été au meilleur niveau dans ce domaine pendant des décennies (Super Phénix). Il faut noter que ces réacteurs ne sont surgénérateurs qu'avec du plutonium comme combustible, plutonium qu'il faut au préalable générer avec de l'uranium enrichi. Il y a donc une date « limite » pour la mise en œuvre de cette technologie si l'on veut en disposer avant la fin du siècle. Cette technologie offre des perspectives remarquables sur plusieurs points : niveau de sécurité élevé, bénéfice de stocks considérables d'uranium appauvri, possibilités de réduire la quantité de déchets à haute activité et longue durée de

vie. L'abandon du projet Astrid est donc tout à fait regrettable.

Le développement de petits réacteurs modulaires SMR (*Small Modular Reactor*) pourrait être également un axe important.

**Recommandation :** l'industrie nucléaire doit s'intéresser activement à la génération IV ainsi qu'aux SMR.

**Une remarque :** l'abandon éventuel de l'énergie nucléaire serait paradoxal, alors que la France participe au premier chef au développement de la fusion sur la plateforme ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*), pour un éventuel développement industriel avant la fin du siècle !

#### 1-5 La biomasse : une énergie d'appoint discutable

La biomasse lignocellulosique (bois, pailles, déchets divers) apparaît comme la solution pour une transition énergétique « douce » vers la décarbonation. En effet, moyennant une transformation appropriée, elle peut conduire à des produits de substitution des fossiles : assez directement pour le charbon (charbon de bois) et le gaz (biogaz), moins facilement pour des combustibles ou carburants liquides analogues aux coupes pétrolières. La combustion de ces produits conduit à des émissions de CO<sub>2</sub> « licites », car la biomasse a été formée à partir de CO<sub>2</sub> extrait de l'air. La biomasse n'est malheureusement pas la solution de tous les problèmes pour 2 raisons. Tout d'abord, son rendement de production en France, hors cultures particulières, est de l'ordre de 1-2 tep/ha/an, soit 0,1-0,2MW/km<sup>2</sup> (100 fois moins que le photovoltaïque). Ensuite, le rendement de sa transformation en produit utilisable est limité, seul 50% maximum du carbone se retrouve sous forme de produit énergétique final prêt à l'usage, le reste partant sous forme de CO<sub>2</sub> (la combustion directe du bois faisant exception). Une amélioration des rendements est possible par apport d'hydrogène (vert), mais dans ce cas l'apport énergétique de la biomasse n'est que partiel. Le principal problème provient des trop nombreuses utilisations prévues pour la biomasse : bois de chauffage, biogaz, bio-carburants, bois d'œuvre, bois d'ameublement, bois comprimé ..., sans compter la concurrence pour l'utilisation des terres (alimentation, développement de la biodiversité ...).

Concernant les ressources en biomasse, il faut tenir compte du dérèglement climatique et des événements extrêmes associés, qui entraînent une plus grande variabilité des rendements, et dans le cas de la forêt, la nécessité de repeuplements suite à des déperissements, donc des arrêts de production pour plusieurs décennies.

**Recommandation :** définir clairement les priorités à long terme quant à l'utilisation de la biomasse, donc les types de production (cultures énergétiques, forêts de rapport, agriculture/élevage) et la part réservée aux espaces naturels.

## 2- L'industrie

La décarbonation de l'industrie (en France) ne pose pas de problème de principe puisqu'il « suffit » (suffirait) de remplacer les combustibles fossiles par de l'électricité supposée décarbonée. Encore faut-il que cette électricité soit « de qualité » et compétitive par rapport à l'électricité disponible dans les pays concurrents, de manière à favoriser la « réindustrialisation » souhaitée. Le processus nécessitera le développement de nouveaux procédés, en particulier dans le domaine de la chimie organique, en parallèle d'un usage intensif des technologies 4.0 (capteurs, IoT, IA...). Les quelques cas difficiles à traiter correspondent à des procédés produisant intrinsèquement du CO<sub>2</sub>. C'est le cas de la production de l'acier et du ciment. Une première solution est fournie par le captage et le stockage du CO<sub>2</sub>. Pour l'acier, il est possible de passer par la voie hydrogène et du traitement au four électrique. Dans le cas du ciment, la décarbonation peut être progressive en modifiant et le combustible de calcination et la composition du ciment. Une alternative pour le secteur du BTP est de faire moins appel à moins de ciment et d'utiliser des matériaux non associés à des émissions de CO<sub>2</sub>.

## 3- Le transport

### 3-1 Transport terrestre

La voiture est le mode de transport le plus mis en cause, car de très loin le plus gros émetteur de gaz à effet de serre par passager/km après l'avion. En dehors des alternatives décarbonées à la voiture (courtes distances : marche à pied et vélo, transports en commun, moyennes et longues distances : train)

il existe désormais une solution technologique : la voiture électrique à batterie (sous réserve bien entendu de disposer d'électricité décarbonée). Longtemps limitée à des créneaux marginaux, la voiture électrique à batterie bénéficie du développement des batteries Li-ion qui lui confère une autonomie (comprise entre 200 et 400 km) compatible avec une bonne partie des usages actuels de la voiture individuelle. Les progrès espérés de ces batteries (batteries Li-ion tout solide), ainsi que l'apparition de nouvelles batteries permettront d'atténuer ces limitations. Le passage au tout électrique se heurte dans l'immédiat au coût plus élevé des véhicules, ainsi que par la mise en place insuffisante des réseaux de recharge, notamment pour la recharge rapide indispensable pour les usages intensifs ou les déplacements longue distance. Une alternative à la voiture électrique à batterie : la voiture à pile à combustible alimentée en hydrogène (vert ex électrolyse) dans l'immédiat, hors flottes particulières bénéficie d'une maturité technologique avancée, un écosystème français est en action et les constructeurs coréens et japonais nous alerte sur les voitures thermiques à hydrogène.

Un problème essentiel devra cependant être étudié et réglé : le recyclage poussé des éléments rares ou semi-rares entrant dans la composition complexe des batteries. Ces éléments ayant pour certains (la plupart ?) un caractère stratégique, les usines devraient être établies dans les pays utilisateurs, en parallèle des giga factories de production des batteries.

**Recommandation :** assurer le recyclage des éléments entrant dans la composition des batteries Li-ion.

Pour certaines utilisations intensives telles que les VUL (Véhicules Utilitaires Légers) à fort trafic, c'est la solution hydrogène + pile à combustible qui pourrait s'imposer à condition qu'un réseau de distribution d'hydrogène soit mis en place.

Pour les poids-lourds et les cars, la solution batterie convient pour des circulations locales ou moyennes distances. Pour les longues distances, plusieurs schémas sont en compétition : pile à combustible (à hydrogène) + batterie de capacité limitée, motorisation thermique à hydrogène, alimentation électrique sur grands axes de circulation (autoroutes)

par caténaires ou rail. Les technologies correspondantes (adaptées au poids-lourds) sont à un stade avancé de développement. Le transfert modal vers le rail ou le fluvial (à décarboner ...) d'une partie du trafic poids-lourds longue distance offre une solution complémentaire. A noter que la partie non électrifiée du transport ferroviaire (majoritaire dans certains pays) mise sur la solution pile à combustible + hydrogène, pour laquelle il existe un champion français (à encourager : Alstom).

### 3-2 Transport maritime

Le transport maritime est un pilier de l'économie mondiale (plus de 90% des marchandises transportées), avec une flotte de plus de 60 000 navires. Le secteur anticipe une croissance de 100 à 250% d'ici 2050. L'Organisation Maritime Internationale a adopté des objectifs ambitieux tant en termes de réduction de la pollution par le soufre qu'en terme de réduction par phases successives des GES de -40% d'ici 2030 et -70% d'ici 2050. A court terme, les solutions sont soit la baisse de vitesse (ce qui réduit le volume transporté), soit le changement de carburant. Le gaz naturel liquéfié commence à être utilisé, et pourrait être substitué à plus long terme par du biogaz. Parmi les autres carburants envisagés, on peut citer l'ammoniac, qui a l'avantage d'être compatible avec les moteurs à gaz à haut rendement, tout en ne conduisant pas à des émissions de CO<sub>2</sub>. Ceci nécessite non seulement de concevoir des navires adoptant ces technologies, mais aussi de faire évoluer les infrastructures, non seulement en France, mais aussi dans tous les ports où ces navires font escale.

Pour les navires sur courtes et éventuellement moyennes distances, la motorisation électrique sur batterie ou hydrogène + pile à combustible est possible. Les solutions hybrides véliques sont prometteuses, et pour certaines en développement avancé, notamment en France.

**Recommandation :** Compte tenu de son espace maritime (2<sup>ème</sup> rang mondial), positionner la France comme fournisseur de solutions pour la transition énergétique maritime.

### 3-3 Transport aérien

Bien que n'étant responsable que d'une faible partie

des émissions de CO<sub>2</sub>, une forte pression s'exerce sur le transport aérien pour les réduire, ce qui pourrait menacer son développement. Contrairement aux autres modes de transport, aucune des technologies proposées ne semble s'imposer. Si le buzz est particulièrement important en France sur l'avion à hydrogène (liquide) à réacteur dans le cadre du Plan Hydrogène, les obstacles considérables à son apparition sur la scène mondiale ne doivent pas être sous-estimés : masse et encombrement à bord (indice gravimétrique trop faible pour l'emport d'énergie d'un moyen ou long courrier), sûreté de fonctionnement et certification des systèmes à bord d'hydrogène liquide et gazeux, effets climatiques non CO<sub>2</sub> éventuels, alors que l'efficacité énergétique globale n'est pas supérieure à celle des diverses solutions au kérosène à cycle neutre en carbone. L'hydrogène est pour l'instant limité à des marchés de niche.

Les performances actuelles des batteries limitent l'avion électrique à de faibles autonomies (100 km) pour un nombre réduit de passagers. Pour des réalisations plus ambitieuses, il faut gagner un ordre de grandeur sur l'énergie massique des batteries et maîtriser les courants forts à bord. Ces gains ne sont pas en vue, même au niveau de la recherche. Par contre, une électrification poussée des avions actuels (notamment l'hybridation électrique des moteurs thermiques permettrait des gains en consommation).

Dans l'immédiat, et dans un proche avenir, la solution retenue vise à remplacer progressivement le kérosène ex pétrole par du kérosène de synthèse ex biomasse, ou dans un deuxième temps par un carburant PtL (Power to Liquid) ex CO<sub>2</sub> (extrait de l'air), et hydrogène « vert ». Compte tenu de la place éminente de l'industrie aéronautique en France, ainsi que l'importance du Hub aérien parisien, il est indispensable de mettre en place des capacités de production de « kérosène propre ».

**Recommandation :** soutenir la mise en place en France de la production de kérosène de synthèse décarboné. **Ne pas laisser croire que son usage ne sera que temporaire au point de décourager les investisseurs.**

Cependant, devant les doutes sur la quantité d'énergie « verte » disponible pour produire des PtL,

sur la concurrence des carburants « bio » avec la filière alimentaire et sur les difficultés et les coûts de collecte de matière lignocellulosique issue de déchets forestiers, une nouvelle idée consiste à continuer à fonctionner partiellement au kérosène fossile et capter et séquestrer la quantité de CO<sub>2</sub> fossile produite (des compagnies aériennes aux États-Unis commencent à acheter du stockage de CO<sub>2</sub> à des entreprises se développant sur ce marché).

#### 4-Le bâtiment

Principal émetteur de CO<sub>2</sub> en France, le bâtiment a entamé sa rénovation-décarbonation de manière peu dynamique, ce qui est lié à des éléments techniques et surtout législatifs et réglementaires variés. Tout d'abord, les normes d'isolation et leur évolution, extrêmement sévères, rendent très coûteuse, voire difficilement réalisable la rénovation des bâtiments anciens. Ce point est aggravé par une législation et une réglementation des copropriétés inadaptées à l'évolution des immeubles mal isolés et à chauffage collectif (il y a des millions construits jusque vers 1980...).

Ensuite, ces normes emploient un calcul complexe de l'énergie grise, alors que la production des matériaux, même conventionnels, va se décarboner avec la décarbonation générale. Plus précisément, par exemple, la décarbonation de la production du ciment et de l'acier, déjà évoquée, et le recyclage du béton, aujourd'hui très peu pratiqué alors que les déchets du bâtiment et des travaux publics (BTP) sont de très loin les plus pondéreux et volumineux en France, supprimeront l'énergie grise du BTP, liée à la construction et à la démolition des bâtiments. Enfin, elles ne prennent pas en compte la nécessité de la climatisation dans de nombreuses situations, et entérinent des va et vient dans la nature des énergies de chauffage.

Sans vouloir faire à ce stade de recommandations, nous proposons deux observations. D'abord, on privilégiera pour le chauffage et la climatisation la solution électrique avec pompe à chaleur, en l'absence de réseau collectif de chaleur et de froid à portée.

Ensuite, on abaissera les normes d'isolation requises dans le cas de rénovation, car la solution proposée, décarbonée, conduira à une consommation suffisamment faible.

#### 5-Agriculture et forêt

La forêt est une source importante d'énergie renouvelable, soit directement (bois de chauffage), soit indirectement comme matière première pour la synthèse d'analogues de carburants, de combustibles et de produits chimiques d'origine pétrochimique. Il est prévu de développer la production de la forêt française, notamment le bois énergie. Outre le problème déjà évoqué de l'utilisation des sols en concurrence avec l'agriculture et l'élevage, le changement climatique pourrait dresser de sérieux obstacles à ces projets de développement. Du fait des canicules répétées, et de précipitations irrégulières, la forêt française a vu apparaître récemment le dépérissement de plusieurs espèces. Le choix des « bonnes espèces » est crucial compte tenu des temps caractéristiques de croissance des arbres. La mise en œuvre des technologies les plus avancées en biotechnologies serait d'un grand secours dans ce domaine, mais ce n'est pas envisageable pour l'instant en France, au grand dam des chercheurs. C'est en tout cas une raison supplémentaire pour ne pas prévoir un rôle trop important de la biomasse dans le cadre de la transition énergétique, comme discuté précédemment. Il faut aider la nature à reprendre ses droits, dans les endroits adéquats, et en l'organisant autant que possible, dans une perspective long terme. L'exploitation commerciale des forêts devrait également évoluer, certaines des pratiques actuelles telles que les coupes rases étant défavorables à la régénération.

L'agriculture doit faire face à un maximum de difficultés : contraintes climatiques, apparition de nouvelles maladies, et de ravageurs venus d'ailleurs, sévères restrictions quant aux traitements possibles et réduction des rendements (culture bio). Au-delà des accidents climatiques tels que gelées tardives et de grêle, la récurrence de sécheresses prolongées vont rendre l'irrigation nécessaire dans une bonne partie des régions se reposant jusqu'à présent sur l'agriculture pluviale. Ainsi, des conflits surviennent entre production hydroélectrique et irrigation.

C'est dans le domaine de l'agriculture que les apports de la biotechnologie devraient être massivement mis en œuvre, en surmontant les interdits résultant parfois d'une application déviante. Une utilisation intelligente du principe de précaution via notamment la mise en œuvre de procédures d'évaluation des risques adaptée devrait permettre à ce

secteur de bénéficier des avancées spectaculaires de la biotechnologie. Les démarches d'autres secteurs tels que chimie et perturbateurs endocriniens, ou pharmacie et vaccins à ARN pourraient être pris comme modèles. Le cas est-il désespéré en France et en Europe ?

Par ailleurs, l'agriculture est totalement dépendante d'un accès à une énergie bon marché, soit directement (consommation des puissantes machines mises en œuvre pour la culture), et indirectement (production des engrais et auxiliaires de culture). La crise énergétique actuelle s'accompagne de graves difficultés dans le domaine alimentaire, entraînant des pénuries y compris sur des produits de base tels que les céréales, mettant en évidence la fragilité du système mondial de production alimentaire.

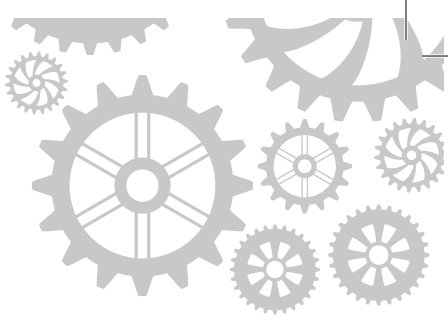
## Conclusion

La transition énergétique implique l'introduction de nouvelles technologies dans le domaine de la production d'énergie, et dans celui des produits et services proposés aux consommateurs. A ce titre, et au-delà de la crise énergétique actuelle, elle doit être considérée comme une opportunité de développement, et non pas comme un repli sur l'essentiel dans une optique de décroissance. Ces technologies devront tenir compte des contraintes générales présentées dans la première partie, tout en étant effectivement disponibles et fonctionnelles dans le court laps de temps qui nous sépare de 2050, ce qui apparemment ne présente pas de difficultés insurmontables. Il s'agit d'un travail relevant typiquement des sciences de l'ingénieur, y compris dans certains domaines qui n'en font aujourd'hui qu'incomplètement partie, tels que celui de l'alimentation ou de la santé. Rappelons que la France représente qu'environ 1 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> et donc évitons les postures et politiques punitives. La France ne peut régler à elle seule la question du réchauffement climatique, elle ne représente que 1 % du monde, mais dans sa tradition du pays des lumières elle peut montrer la voie au monde et porter l'innovation et la croissance raisonnée et raisonnable au centre de l'action publique.

## Membres du groupe de travail

Michel BRUDER : initiateur  
Magali ANDERSON  
Xavier BOUIS  
Edouard FREUND  
Catherine GABAY  
Jean Eudes MONCOMBLE  
Nathalie RICARD  
Michel SALEM SERMANET  
Pierre TARISSI

# 3 - L'ingénieur dans la cité (I&C)



## Préambule

Le progrès est très généralement obtenu par un bon usage des innovations technologiques. Pourtant la légitimité et l'autorité de la science et des scientifiques sont souvent remises en cause de manière radicale par une minorité intellectuelle contestataire extrêmement active dans les réseaux sociaux et les media conduisant à une assez large défiance dans la population vis-à-vis du progrès technologique<sup>2</sup>. Cette défiance trouve en partie son origine dans la faiblesse de la formation scientifique dans le parcours scolaire mais également, pour beaucoup, dans l'audience des « infox » véhiculées par les réseaux sociaux<sup>3</sup>. Le GT I&C note que la création d'un « réseau d'influenceurs de culture scientifique » mobilisable pour combattre les « infox » de toute nature serait très utile. Toutefois, ce réseau qui pourrait être alimenté par les comités techniques d'IESF, devrait d'une part, être réactif sur les sujets d'actualité et d'autre part, être relayé par d'autres « influenceurs ».

L'avertissement en 2021, de 126 prix Nobel conforte l'importance accordée par IESF au rôle de l'ingénieur dans la cité, rôle qui dépasse de loin le strict domaine de la science et de la technologie. L'extrait suivant de ce rapport illustre bien la nécessité et même l'urgence d'une action plus globale.

Les ingénieurs dont la mission est de proposer et mettre en œuvre sur le terrain des solutions pertinentes sont confrontés à un double défi :

- Contribuer activement à un développement durable, pour tous,
- Assurer par leurs valeurs et leur éthique, que le

progrès technologique soit compris et accepté, bénéfique pour le plus grand nombre, et socialement équitable.

Les thèmes retenus, selon la terminologie de l'ONU : **la santé et le bien-être, l'égalité entre les sexes** (égalité des chances à tous les niveaux), **travail décent** (confort et qualité de vie) **et croissance économique** (l'équilibre des territoires), **villes et communautés durables** (grâce à l'engagement citoyen), **paix, justice et institutions efficaces** (par une nouvelle gouvernance). Bien que non explicitée, l'exigence d'efficacité organisationnelle et économique est en dénominateur commun de toutes les propositions.

Le GT I&C a proposé initialement quelques recommandations structurées autour de cinq objectifs de développement durable<sup>4</sup>. Ces recommandations paraissent toutes pertinentes que ce soit sur la santé, l'égalité entre les sexes, l'équilibre des territoires, l'engagement citoyen, et plus particulièrement la gouvernance.

L'année 2022 a mis sur le devant de la scène l'urgence climatique, aussitôt presque supplantée par les questions de transition énergétique exacerbées par la guerre Russie-Ukraine. Si cette crise a permis de réhabiliter les énergies décarbonées comme l'énergie nucléaire, elle a aussi induit l'exigence de sobriété énergétique contrainte dans un environnement économique extrêmement difficile. Dans un tout autre registre, l'année a été marquée par des prises de position de jeunes diplômés de grandes écoles d'ingénieurs critiques sur l'enseignement reçu et le « système »<sup>5</sup>.

2 <https://www.academie-technologies.fr/blog/categories/actualites/posts/les-francais-et-le-progres-technologique-71-des-francais-inquiets-face-au-progres-technologique>

3 Sur Twitter, le faux plus fort que le vrai – {Sciences?} (lemonde.fr) <https://www.lemonde.fr/blog/huet/2018/03/08/sur-twitter-le-faux-plus-fort-que-le-vrai/>

4 L'ingénierie au service du développement durable UNESCO <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375644.locale=en>

5 <https://www.novethic.fr/actualite/environnement/climat/isr-rse/ens-polytechnique-agroparistech-quand-les-futures-elites-claquent-la-porte-150794.html>

Ces événements illustrent les conséquences de la prise en compte rapide, dans l'urgence, de mesures de transition énergétique de toute façon nécessaires pour la décarbonation de l'énergie. Toutefois, au quotidien des priorités doivent être soigneusement calibrées entre les contraintes immédiates de type économique, industriel, de marché et le pilotage de transitions structurelles majeures pour arriver à un développement durable. Surtout, rien ne pourra se faire sans une prise en compte systémique des implications sociales comme : les inégalités de diverses natures, l'éducation, le rapport au travail pour ne citer que quelques dimensions critiques. C'est dans cet esprit que le GT I&C a complété ses propositions par une réflexion sur les exigences de gouvernance à prendre en compte.

## Contexte

### La santé et le bien-être

La santé est un domaine qui a des caractéristiques voisines de la défense et sécurité au sens large : tous les citoyens sont concernés, l'autonomie voire la souveraineté sont des enjeux majeurs, la maîtrise de la technologie par l'industrie (recherche et production) joue un rôle clé et il y a une combinaison du temps court -la gestion des crises- et du temps long pour la préparation du futur et l'alerte. La pandémie du SARS-CoV2 a conduit à un désastre sanitaire et économique mondial de première grandeur<sup>6</sup>. L'ingénierie peut sans conteste apporter des contributions via la technologie et l'expertise des ingénieurs en compréhension des systèmes complexes et conduite de projets.

### L'égalité entre les sexes (égalité des chances à tous les niveaux)

Les femmes occupent 3 % des 120 postes potentiels de président et/ou directeur général, selon l'Observatoire Skema de la féminisation<sup>7</sup>. Et elles représentent 17 % des comex, pour un tiers de la population cadre. La loi Copé-Zimmermann de

2011 a permis d'atteindre une proportion de 40% dans les conseils d'administration. Par ailleurs, la proportion de femmes ingénieures stagne à 28% depuis des années. Plus en amont, les femmes sont sous-représentées dans les formations scientifiques où elles ne représentent qu'environ 30% des effectifs dans le domaine des sciences fondamentales et de leurs applications.

### Travail décent (confort et qualité de vie) et croissance économique (équilibre des territoires)

L'explosion contrainte de l'utilisation du télétravail et des visioconférences est un ébranlement dont il faut profiter pour recréer de nouveaux équilibres entre les territoires et remembrer les régions désertées. La cohabitation entre les « cols bleus » et les « cols blancs » sera d'autant plus fluide que notre pays pourra relocaliser très fortement ses activités « de terrain » sur l'ensemble de son territoire aujourd'hui trop concentré<sup>8</sup>. La vie des cols bleus dans et autour d'une ville moyenne est très sensiblement plus facile qu'à la périphérie (imposée pour des raisons de coût immobilier) des grandes métropoles.

### Villes et communautés durables (engagement citoyen)

Pour accompagner un développement durable du pays et de ses territoires, les ingénieurs doivent s'investir dans la politique locale ou nationale. La composition de l'Assemblée Nationale actuelle comprend 34 ingénieurs et 34 docteurs (incluant le droit et l'économie mais hors médical) sur 577 députés, alors qu'on recense 408 députés ayant un diplôme de l'enseignement supérieur<sup>9</sup>. De plus les cadres du privé et chefs d'entreprise sont peu représentés. En effet, un des freins à l'engagement des ingénieurs et des cadres scientifiques, hors fonction publique, réside dans la fin de mandat qui est une difficulté majeure pour les intéressés<sup>10</sup>. Au niveau local, relativement plus accessible aux salariés, une enquête IESF récente évaluait à environ 400 ingénieurs élus

6 <https://www.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/276679.pdf>

7 [https://www.haut-conseil-egalite.gouv.fr/IMG/pdf/synthese\\_rapport-parite-gouvernance\\_17122019.pdf](https://www.haut-conseil-egalite.gouv.fr/IMG/pdf/synthese_rapport-parite-gouvernance_17122019.pdf)

8 Etude La France en morceaux - Baromètre des Territoires 2019 | Institut Montaigne

9 [https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2017/06/26/les-diplomes-de-grandes-ecoles-surrepresentes-a-l-assemblee-nationale\\_5151066\\_4355770.html](https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2017/06/26/les-diplomes-de-grandes-ecoles-surrepresentes-a-l-assemblee-nationale_5151066_4355770.html)

10 <https://www.ifrap.org/fonction-publique-et-administration/lanalyse-socio-professionnelle-des-elus-nationaux>

(pour 55 000 réponses) et les dernières statistiques de l'INSEE situent à 16% la proportion des maires qui ont une formation de l'enseignement supérieur ce qui conduit à une estimation de 2-3% de maires ayant une formation scientifique.

### **Paix, justice et institutions efficaces (nouvelle gouvernance)**

Enfin, toute action doit être placée dans son contexte politique. Jamais, depuis plusieurs siècles, la science et les scientifiques n'ont connu une remise en cause aussi radicale de leur légitimité et de leur autorité. Plus encore, pour de nombreux citoyens le concept même de progrès est dorénavant considéré comme obsolète<sup>11</sup> ou ne répond pas à des attentes relativement immédiates de qualité de vie améliorée.

### **Bilan**

Les propositions suivantes ont pour ambition mobiliser les compétences des ingénieurs au service de la mise en œuvre du progrès technologique, du développement durable et de l'équilibre des territoires tout en agissant avec équité dans le respect profond de leurs valeurs et de leur éthique. Ces différents registres ne peuvent pas être priorisés. Ils s'inscrivent dans le thème de « l'ingénieur dans la cité » en apportant un regard différent des autres thèmes du Livre Blanc. Elles sont complétées par une vue plus approfondie des questions éthiques et du rôle essentiel des ingénieurs dans ce domaine.

### **Quelques propositions :**

#### **Sur la santé et le bien-être**

1. Développer des outils de modélisation simples pour les décideurs. Corréler les modèles avec la réalité en utilisant les techniques statistiques. Améliorer les outils de suivi épidémiologique (taux d'incidence, létalité, etc.) pour leur donner la rigueur statistique.

2. Constituer à partir d'éléments existants (SGDSN, DGS, Santé publique France, DGE, SGPI, DGA...) une entité de 50 à 100 personnes comprenant

jusqu'à 50% d'ingénieurs dont les missions pourraient être les suivantes :

- préparation de l'avenir des technologies de santé.
- financement total ou partiel des innovations à haut risque.
- suivi industriel (qualité, compétitivité) et identification des ressources industrielles stratégiques.
- conduite des opérations logistico-industrielles, aide à l'exportation pour les PME/ETI.

Nb 1. L'entité proposée ci-dessus traiterait de la dimension assurantielle du domaine de la santé (risques incertains tels que les pandémies) qui relève de l'Etat.

2. La mise en place d'une agence de l'Innovation dans les domaines de la santé (AIS) répond en partie à la 2ème mission identifiée ci-dessus. Il en est de même pour la mise en place au niveau européen de l'agence HERA (Autorité européenne de préparation et de réaction en cas d'urgence sanitaire).

### **Sur l'égalité entre les sexes (égalité des chances à tous les niveaux)**

3. Dynamiser la carrière des femmes scientifiques, techniciennes et ingénieures, et permettre l'accès par des femmes à plus de responsabilités et plus de pouvoirs pour plus d'équilibre dans toutes les organisations. Encourager et accompagner les évolutions législatives et réglementaires correspondantes. Par exemple : l'enseignement supérieur a besoin d'un symbole fort sur la féminisation de l'environnement pédagogique et administratif des Ecoles d'Ingénieur, appliquer les principes de la loi pour extension du périmètre de la loi Coppé Zimmermann aux CA des établissements d'enseignement supérieur en intégrant une obligation de parité de femmes administratrices. Idéalement le faire au niveau exécutif.

Valoriser la féminité et la place des femmes dans les sciences fondamentales : influencer pour cela les médias, les familles, les écoles en y développant des images positives, en produisant des trajectoires de femmes ingénieurs ou scientifiques, en utilisant

<sup>11</sup> L'ADN, 57% des français pensent que nous devons changer de modèle économique, consultable ici : <https://www.ladn.eu/nouveaux-usages/usages-et-style-de-vie/etude-francais-changer-modele-economique/>

mieux les médias et les réseaux sociaux, la semaine de l'industrie, les colloques.

### **Sur travail décent (confort et qualité de vie) et croissance économique (équilibre des territoires)**

4. Redynamiser le tissu industriel des territoires, ce mouvement s'accompagnant d'un effort concomitant de renforcement des enseignements supérieurs scientifiques en régions, porté par un élargissement de l'autonomie des établissements et de leurs évaluations ouvertes<sup>12</sup>. Ces établissements devront impérativement apprendre à maîtriser et intégrer les outils de formation à distance.

### **Sur villes et communautés durables (l'engagement citoyen)**

5. Encourager et aider les candidats ingénieurs et scientifiques -en activité et tout particulièrement en retraite- à s'engager dans la vie publique en incitant les syndicats professionnels à mettre en place des « congés d'élus » facilitant un retour convenable dans la vie économique en mutualisant les charges.

Créer un institut spécialisé en sciences politiques pour soutenir les formations d'accompagnement des ingénieurs et scientifiques dans la vie active et en retraite.

6. Amplifier le rôle de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques (OPECST). Faire en sorte qu'une proportion significative de ses membres ait bénéficié d'une formation et d'une pratique scientifique ou industrielle. Institutionnaliser l'intervention des « Académies », notamment l'Académie des Technologies, dans les études menées par l'Office.

### **Éthique et gouvernance**

Alors que depuis la première révolution industrielle, progrès technique et humain paraissent parfaite-

ment assimilables, force est de constater, après plus de 200 ans de développement technologique « industriel » que cette corrélation n'est pas systématique et que le progrès technique ne représente pas ipso facto un progrès humain.

Comme la science, le progrès technique n'est pas neutre. Souvent ambivalentes, tel le *Pharmakon* grec - en même temps poison et remède - les technologies peuvent être tantôt favorables à la vie, tel le vaccin contre la rage tantôt s'inscrire dans un projet mortifère à l'instar du *Zyklon B*. Aujourd'hui encore certaines applications numériques apparaissent émancipatrices, comme Wikipédia, tandis que d'autres, telles que Tik Tok, laissent plus volontiers entrevoir leur caractère aliénant.

Alors que les nouvelles technologies conduisent les individus à s'inscrire dans de nouvelles relations avec leur Univers et ce jusqu'aux vertiges du *Metavers* et de la déconnexion avec le réel, la rapide et violente dégradation de l'environnement (dérèglement climatique, pollution diverses, effondrement de la biodiversité) met en péril les conditions d'habitabilité de la Terre et interroge la survie des civilisations humaines telles qu'établies jusqu'ici. Le paradoxe est saisissant : l'extrême puissance technologique contemporaine semble à la hauteur de l'extrême vulnérabilité des humains face à un environnement dégradé.

Dans ce contexte, les plus éminents scientifiques n'hésitent plus à écrire : « Dans l'ensemble, les progrès technologiques réalisés jusqu'à présent nous ont précipités sur la voie de la déstabilisation de la planète<sup>13</sup> ».

Cet état de fait suscite d'ailleurs de vives interrogations et remises en cause de la part des plus jeunes populations d'ingénieurs<sup>14</sup>. Certains d'entre eux, souvent parmi les plus brillants éléments, refusent dorénavant de participer à ce « système » et n'imaginent plus de carrières dans des grands groupes autour de « mégaprojets »<sup>15</sup>.

12 Voir l'étude Rééquilibrer le développement de nos territoires | Institut Montaigne Mars 2021, Paul Hermelin

13 Traduction libre de la tribune signée en 2021 par 126 prix Nobel, disponible ici : <https://www.nationalacademies.org/news/2021/04/nobel-prize-laureates-and-other-experts-issue-urgent-call-for-action-after-our-planet-our-future-summit>

14 Voir par exemple : <https://www.novethic.fr/actualite/environnement/agriculture/isr-rse/des-etudiants-d-agroparis-tech-appellent-a-deserter-l-agro-industrie-en-pleine-remise-de-diplome-150785.html>

15 Voir par exemple : [https://www.lemonde.fr/campus/article/2019/02/14/grandes-ecoles-les-etudiants-interpellent-leurs-futurs-employeurs\\_5423417\\_4401467.html](https://www.lemonde.fr/campus/article/2019/02/14/grandes-ecoles-les-etudiants-interpellent-leurs-futurs-employeurs_5423417_4401467.html)

Parallèlement, l'accumulation massive et croissante de données – le Big Data – ainsi que le perfectionnement des techniques algorithmiques et d'intelligence artificielle semblent devoir conditionner de plus en plus strictement la conduite des individus et des organisations, faisant craindre une restriction croissante de l'autonomie humaine.

Alors que plusieurs dizaines de prix Nobel appellent à ce que « la révolution technologique à venir soit guidée de manière stratégique au cours des prochaines décennies afin de soutenir les objectifs sociétaux <sup>16</sup> » il semble désormais critique de s'interroger sur les conditions susceptibles de permettre au progrès technologique d'être également un progrès humain, à même de préserver la Planète et de respecter les libertés fondamentales ainsi que le principe démocratique.

A ce titre, il convient d'être vigilant et de ne pas laisser quelques acteurs du marché définir les trajectoires technologiques futures et de rappeler l'importance pour les instances publiques de jouer leur rôle de régulateur au niveau national comme international.

### Propositions :

Les propositions qui suivent sont ambitieuses et paraîtront à beaucoup comme utopistes, voire néfastes. Elles sont de deux natures : celles qui concernent directement les ingénieurs et l'industrie (1, 4, 7, 8, 9, 10) et celles qui portent sur la régulation à l'échelle au minimum du pays mais plus utilement des grandes régions mondiales (2, 3, 5, 6). Dans ce dernier groupe, l'attention est attirée sur les problématiques soulevées plus que sur la faisabilité.

1. **Créer un Haut Conseil de l'Éthique**, composé de représentants des entreprises, d'ONG, du monde universitaire et de la société civile capables de construire un référentiel de l'éthique et de disposer d'outils d'aide à la décision en matière de choix technologiques.

2. Concevoir de nouveaux modes de consultation capables d'associer les citoyens à la prise de décision en créant des comités d'éthique « de proximité », lo-

caux, consultés pour l'adoption de technologies critiques sur le territoire et capables de remonter au niveau national les préoccupations locales des populations.

3. Organiser des conventions citoyennes préalablement à l'adoption de technologies ou trajectoires technologiques pouvant avoir des effets significatifs sur les individus et/ou l'organisation de la société.

4. Rappeler que le rôle de l'éducation est majeur, non seulement pour les enfants et adolescents, mais tout le long de la vie humaine. L'accumulation du savoir n'est plus prioritaire, toutes les connaissances étant sur les smartphones. En revanche, apprendre à trier, hiérarchiser et interpréter les données est essentiel. Le vrai savoir passe par l'affirmation du « Que sais-je ? » pascalien.

5. Mettre en place au niveau mondial des organes de contrôle sur la place et le rôle du développement technologique dans le respect des grands principes démocratiques et éthiques. Un exemple serait la constitution d'une Organisation Mondiale du Numérique (OMN).

6. Réguler au moins au niveau des grandes régions mondiales le progrès technologique au moyen de contraintes légales (analyses d'impact obligatoires, lutte contre l'obsolescence et garanties obligatoires, seuils d'efficacité énergétique minimale obligatoire, interdiction des produits les moins durables) et/ou d'incitations fiscales (conditionnement des subventions, et/ou du taux d'imposition à la soutenabilité des applications technologiques proposées), sans création de distorsions de marché excessives...

7. Repenser le rôle et la mission des « tiers-instruits » et des scientifiques dans la gouvernance de la planète afin qu'ils puissent concevoir et imposer des axes politiques et stratégiques à long terme, sans esprit partisan ou enjeux idéologiques.

8. Former les ingénieurs aux sciences sociales notamment : l'histoire et la sociologie de la technique, l'éthique des technologies, la théorie des systèmes complexes appliquée aux relations entre monde

<sup>16</sup> Ibid.

technique, monde économique et monde biologique.

9. Favoriser la signature de la charte éthique de l'ingénieur de l'IESF dans les écoles d'ingénieurs sur le modèle du « serment d'Hippocrate ».

10. Consacrer les principes de l'innovation responsable (Anticipation – Réflexivité – Inclusion – Réactivité), avec une obligation de transparence des impacts notamment eu égard à la préservation de l'environnement et au respect de la dignité et de l'autonomie humaines de toute nouvelle technologie.

## Conclusion

Deux lignes d'action se dégagent dans nos réflexions :

- Une ligne d'action concrète basée sur les données, l'écoute de terrain, les débats apaisés et l'action dans les territoires. Cette ligne, avec les recommandations appropriées, peut être considérée comme un socle, et une demande adressée au monde politique d'impliquer davantage, les ingénieurs dans la vie publique, à tous les niveaux.

- L'autre ligne, complémentaire, voire essentielle pour certains, s'intéresse aux problèmes de société actuels, parfois induits par un mauvais usage des technologies nouvelles. Il vaut certainement mieux faire face aux dérives telles que principe de précaution, écologisme, infox voire complotisme pour le côté défensif, mais surtout proposer une approche constructive des questions de gouvernance, éthique, qualité du travail, équilibres territoriaux.

## Membres du groupe de travail

François LUREAU : animateur  
Didier BRUGERE  
François-Xavier MARTIN  
Christian COLAS  
José MASSOL  
Louis COLIN  
Grégoire POSTE-VINAY  
Marc EMONET  
Dominique LAMOUREUX  
Marc RUMEAU

# 4 - Compétitivité des entreprises et Réindustrialisation

**L'ambition européenne de souveraineté : une réponse au « Nouveau Monde » et de nouvelles opportunités pour réindustrialiser l'Europe et la France**

*La réindustrialisation est un sujet pour chaque pays européen.*

*Par exemple, l'Allemagne veut faire passer son industrie de 20 à 25% de son PIB (Plan Altermaier 2019) d'où l'urgence pour la France (avec une industrie représentant 10% de son PIB) de se transformer profondément pour être à même de capter sur son territoire ces nouvelles opportunités de réindustrialisation.*

Les opportunités de développements industriels sont nombreuses pour permettre à l'Europe :

**1) D'atteindre son objectif de souveraineté** avec en particulier :

**- a) L'indépendance énergétique** qui nécessite :

(i) une forte relance du nucléaire actée politiquement mais dont l'écosystème industriel doit être reconstruit,

(ii) le développement et la production des technologies innovantes améliorant l'efficacité des énergies renouvelables (smart grid, stockage...),

(iii) la mise en œuvre de nouveaux procédés décarbonés et de nouveaux équipements pour les industries à forte consommation énergétique (acier, verre, ciment...).

**- b) L'indépendance en termes de matières premières** qui implique en particulier :

(i) le développement de technologies permettant une exploitation écologique des ressources minières.

(ii) le développement d'une filière de recyclage dédiée à l'alimentation des usines européennes minimisant ainsi les difficultés d'importation mais également en intégrant cette contrainte nouvelle lors de la conception des produits, voir en reconcevant des

produits existants (batteries, panneaux solaires, ...) basés sur les ressources de matériaux disponibles en Europe.

**- c) L'indépendance, en terme de ressources agricoles**, qui implique en particulier le déploiement des technologies de génie génétique pour développer des végétaux adaptés à l'évolution climatique.

**- d) L'indépendance technologique et de défense** conduisant à développer des programmes de R&D et des programmes technologiques à la mesure de ceux développés par la Chine et les USA. On peut mesurer le déficit actuel de R&D européenne et française par le nombre de brevets déposés par les grandes sociétés aux USA, en Asie et en Europe.

*Entreprises ayant le plus breveté en 2021 :*

1. IBM ~8600 brevets (plus que la somme de brevets de nos 10 entreprises en France ayant déposé le plus de brevets)

2. Samsung ~6400

3. Canon ~3200

4. TSMC ~2800

*Safran qui est #1 en France n'a déposé « que » 540 brevets. Il est suivi du CEA puis dans l'ordre de Valeo, St Gobain, Sanofi, Thales, Renault, Inserm, Michelin, Arkema, Schneider, Air Liquide.*

*Airbus n'est pas dans la liste car une NV hollandaise ...*

Cela confirme le mauvais rendement du système « Recherche publique, universités, entreprises » en Europe et particulièrement en France.

*L'union européenne avec un PIB de 14KB\$, équivalent à celui de la Chine (14KB\$) et inférieur d'1/3 à celui des USA (21KB\$), a, en théorie, les moyens de son indépendance mais certains pensent que l'effort est trop important et qu'il faut mieux s'intégrer davantage au sein de l'alliance de l'atlantique nord... (technologie militaire, GNL de schiste, santé (Pfizer, moderna), Gafam...) créant ainsi une ambiguïté préjudiciable au*

*bon choix des investissements.*

**2) De capter les domaines nouveaux de forte croissance** répondant aux enjeux écologiques économiques et sociétaux tels que :

- Les ingénieries de décarbonation et de dépollution pour lesquelles la France peut devenir un leader mondial du XXI<sup>ème</sup> siècle.
- La réparabilité et la recyclabilité des produits dans une économie circulaire.
- Les services à haute valeur ajoutée dans l'éducation, la santé et les services à la personne compte tenu en particulier du vieillissement européen.
- Les technologies d'infrastructures pour s'adapter au réchauffement climatique.

**3) De profiter de l'attractivité du marché intérieur européen**, qui est un des premiers du monde, pour exiger une localisation forte en Europe de technologies de pointe lors d'achats européens permettant un recaptage de know-how par implantation en France et en Europe de filiales de groupes non européens créant ainsi un écosystème favorable à une ré-industrialisation à forte valeur ajoutée.

*Exemples :*

*Réindustrialisation à bas carbone avec l'installation de la gigafactory de batteries de Vekor à Dunkerque (1 200 salariés), et le projet de la vallée de la batterie dans cette même région. Il s'agit d'un vaste plan européen (Alliance européenne des batteries) et le projet est soutenu par des actionnaires de premier plan. Vekor a pour mandat d'accélérer l'industrialisation à grande échelle de batteries en Europe. Ce projet initialement prévu à Rodez a échoué en 2021 à cause du manque d'une bonne infrastructure de transports.*

*A l'inverse, le choix de Tesla pour implanter à Berlin l'usine prévue sur le site francilien de Melun-Villaroche peut être considéré comme un échec. De même l'implantation de l'usine INTEL à Berlin alors que le bassin grenoblois semblait un choix évident.*

Les facteurs de succès des investissements sont les compétences techniques offertes, les terrains et infrastructures accessibles à prix raisonnables et le soutien administratif. Concernant ce dernier facteur, un rapport important de Laurent Guillot, an-

cien dirigeant de Saint-Gobain, pointe le problème sous-estimé des délais d'approbation des sites industriels et logistiques par l'État, à l'heure où se multiplient justement les projets concurrents d'ouvertures en Europe.

*Selon le rapport Guillot du 17 mars 2022, alors que le délai théorique (d'approbation ou de refus) affiché par l'administration s'élève à 9 mois, le délai réel s'élève presque au double, 17 mois, une « éternité », pour les secteurs industriels confrontés à la concurrence mondiale. Ce délai est en Allemagne de quatre à six mois, durant lesquels l'industriel n'a globalement affaire qu'à un seul interlocuteur administratif, de haut rang. L'Europe centrale, devenue cœur productif du continent, se montre également très réactive, avec un délai de quatre mois seulement pour la Pologne par exemple. Dans le cas français, la multiplication des interlocuteurs suit les innombrables demandes d'ajouts de documents divers et de recours. Parmi les mesures annoncées, destinées à fluidifier l'action de l'administration, le gouvernement va diffuser une circulaire pour encourager les administrations et les porteurs de projets à échanger davantage en amont des dépôts de demande d'installation. Treize sous-préfets dédiés à l'investissement, un par région, sont aussi nommés pour suivre les projets d'implantation.*

**Recommandations pour permettre aux ETI, PME et start-up industrielles françaises de saisir ces nouvelles opportunités.**

*Nicolas Dufourcq (directeur de la BPI) a récemment publié un ouvrage « La désindustrialisation de la France (1995-2015) chez Odile Jacob ». Il y donne la parole en juin 2021 à une quarantaine de chefs d'entreprise (ETI et PME) qui ont traversé cette période. Par-delà leur analyse de la désindustrialisation, certains expriment des idées très intéressantes, « rafraîchissantes » et très pragmatiques pour réindustrialiser la France. Nous nous en faisons ici le porte-voix.*

**Les conditions de succès pour réindustrialiser la France :**

**(1) Un haut niveau technologique : condition de survie dans les pays à coûts élevés**

- Mettre les entreprises à niveau (Lean, analyse de la valeur, discipline des process), ce qui est un préalable à la digitalisation et la robotisation,

- Faire un focus sur le progrès technologique et la métamorphose vers le digital 4.0 permettant
  - (i) de passer de la production de gros volumes de produits standards à des petites séries de produits non standards,
  - (ii) de créer des plateformes d'industrialisation digitale polyvalentes multiproduits et multi filières avec une automatisation massive voire totale.
- Renforcer la solidarité régionales (universités, grandes entreprises, ETI/PME/start-up) pour (re) former massivement et aider à la mise en œuvre des nouvelles technologies,
- Favoriser et acheter le « made in Europe » à base de technologies innovantes versus le Low cost extra européen afin de renforcer l'indépendance stratégique européenne. Cela devrait devenir un indicateur de RSE associé un certain temps à un soutien sous forme fiscale. La concurrence en Europe est suffisante pour garder les acteurs « honnêtes » sans devoir les challenger avec des prix subventionnés dans les régions extra-européennes. La situation l'exige !

## **(2) Un fort niveau d'innovation : source de fierté, d'attractivité, et moteur du dialogue social**

- Le benchmark doit être fait avec les Allemands sur la qualité des fabrications, l'innovation et l'excellence à l'export.
- Les start-up doivent avoir dans leur mission la ré-industrialisation et pas seulement un objectif de valorisation financière à court terme. Cela doit être une condition de leur financement public.
- Se focaliser sur les priorités France 2030 : énergies décarbonées, transport du futur, alimentation durable.
- Favoriser l'intérêt des élèves-ingénieurs et des ingénieurs pour les processus innovants de production automatisés et les méthodes. Il faut plus de robots dans nos usines et donc plus d'ingénieurs process. Ce type de formations n'est pas valorisé dans le classement de Shanghai d'où la nécessité d'un autre classement européen intégrant cet aspect industriel.
- Encourager la transformation digitale, source de croissance car elle permet de changer la relation fabricant-distributeur-consommateur en offrant plus d'agilité et de rapidité par le contact direct avec le consommateur (produits et services).
- Encourager la mutualisation des besoins inter-filières (exemple : moteurs électriques) permettant

une consolidation des volumes et une automatisation poussée. Rappelons que les creative-labs, les fab-labs ou les digital-labs sont des accélérateurs puissants d'innovation.

- S'assurer que la baisse planifiée des quotas d'émissions gratuits accordés aux industries les plus intensives en émissions, sera bien accompagné par une taxe carbone aux frontières sur les importations en provenance des pays hors Union européenne, afin d'éviter les délocalisations par perte de compétitivité (acier, aluminium, ciment...).
- Poursuivre le processus des appels à projets (APP) :

*Rappel du dispositif : Le financement apporté par l'État se traduit par la subvention de projets choisis dans le cadre d'un appel à projets global, pour soutenir les secteurs stratégiques.*

## **(3) Une implication forte pour attirer les jeunes vers l'industrie et assurer la formation**

La promesse politique trompeuse de porter une classe d'âge au niveau du BAC ouvrant sans sélection la porte à l'enseignement supérieur a remplacé la « sélection » d'un concours par « l'attrition » en université et a détourné un nombre considérable de jeunes des formations techniques jugées dévalorisantes qui manquent gravement aujourd'hui à notre industrie.

### **Pour attirer les jeunes :**

- Faire en sorte qu'aucun jeune Français ou Française n'atteigne le Brevet ou le BAC sans avoir au moins passé quelques heures dans une usine pour appréhender la réalité industrielle.
- Organiser des classes (profs et leurs élèves) en entreprises, d'au moins une semaine, pour que les jeunes prennent conscience qu'un métier de technicien est plus enrichissant qu'un job de vendeur en magasin ou de caissier et afin qu'ils voient in-situ l'application concrète des enseignements en Maths/ Physique /Chimie qu'ils reçoivent.
- Remettre des cours de technologie au lycée.
- Mettre en avant des aventures industrielles des entreprises par des visites systématiques d'entreprises et salons comme « global industry » par les écoles pour soulever l'intérêt et l'enthousiasme pour la technologie et l'aventure industrielle.
- Mieux utiliser la démarche de GPECT (Gestion Prévisionnelle des Emplois et des Compétences Territoriales) qui est une démarche partenariale coor-

donnée entre les acteurs locaux, les entreprises, les acteurs de la formation et de l'emploi, les branches professionnelles, les chambres consulaires, les associations d'industriels... visant à accompagner l'évolution des besoins d'emplois et de compétences des entreprises et à sécuriser les parcours professionnels des salariés.

#### **Pour former les jeunes :**

- Créer des écoles d'entreprises pour palier la carence de l'éducation nationale et relever le niveau moyen de compétence des français qui est parmi le plus faible de l'OCDE. Exemple : Fives a créé des écoles de soudeurs, de techniciens de maintenance, de mécanicien mais aussi ... d'apprentissage de la lecture.

*Les écoles de production sont une voie alternative aux lycées professionnels et aux centres de formation des apprentis. Les jeunes à partir de 15 ans réalisent des commandes passées par de « vrais clients » et l'objectif est l'atteinte de critères de qualité sur les produits réalisés. Ces écoles sont des établissements privés reconnus par l'Etat. Il faut poursuivre l'objectif d'en ouvrir 100 de plus d'ici 2028.*

- Former et aider des nouveaux entrepreneurs à la création de leurs entreprises grâce aux structures d'incubateurs et d'accélérateurs qu'il faut continuer à promouvoir en particulier au sein des Grandes Ecoles.

#### **(4) Une évolution culturelle des acteurs**

- Favoriser un récit ou le patriotisme a son rôle. Faire de la ré-industrialisation une aventure collective. Pousser les entrepreneurs à développer pour leur entreprise une ambition de conquête attirante pour les talents.

- Recréer le lien perdu lors du Covid. Le télétravail tue la créativité, la machine à café est essentielle.
- Faire évoluer le comportement des Grandes Entreprises françaises (et la toute-puissance des directions d'achats) dans leur relation avec leur chaîne de fournisseurs. Les acheteurs des grandes entreprises exigent de l'offshore a priori car ils ne pensent pas que la France puisse être compétitive. C'est un point établi et critique en comparaison avec les pratiques des grandes filières industrielles de nos voisins européens qui « tirent » leurs fournisseurs nationaux vers le haut afin de s'assurer d'un écosystème très compétitif.

- Faire la promotion de filières de carrières tech-

niques : L'opérateur d'aujourd'hui doit pouvoir être le chef de demain. Supprimer les plafonds de verre corporatistes et chasses gardées (grands corps, ENA...).

- Mettre en valeur des succès collectifs d'entreprises qui collaborent et « chassent en meute », Enfin, disons que le mépris manifesté (jusqu'à récemment) par les dirigeants politiques envers les dirigeants de PME (et la compréhension et le respect de leurs objectifs patrimoniaux) a créé un ressentiment profond, peu propice à la mobilisation des énergies face aux enjeux de notre temps.

#### **(5) La prise en compte de la problématique Cybersécurité dans les PME.**

A la différence des grandes entreprises qui ont les moyens de développer des organisations compétentes et de savoir s'appuyer sur un réseau complexe de spécialistes de niveau international, les PME se trouvent dépourvues de moyens et de compétences spécifiques pour aborder ce domaine de la protection de leurs outils numérisés et de leurs données sensibles.

Dans le constat illustré dans le récent ouvrage-témoignage de Nicolas Dufourcq sur l'histoire (et les causes) de la désindustrialisation de la France entre 1995 et 2015, l'un des thèmes identifiés relève du rôle (défaillant) des filières industrielles et du devoir (défaillant) des grands donneurs d'ordres, leaders de ces filières, dans l'accompagnement de leur chaîne de fournisseurs.

Ce sujet de la cybersécurité peut être un exemple d'application pour redonner une dynamique forte à cette notion de filière, avec une sensibilité nationale et européenne. Les Grandes Entreprises leaders pourraient, dans le souci de protéger et d'élever la performance de leurs PME essentielles, piloter des plans de sensibilisation (des dirigeants) et de prise de conscience des enjeux pour chaque entreprise, de formation (des équipes opérationnelles) et des plans d'actions précis pour toute leur chaîne de fournisseurs, en s'appuyant sur leur réseaux internes et externes de spécialistes du domaine. Ces actions à la fois de groupe et individualisées pour chaque entreprise, pourront être soutenues par des ressources publiques nationales et européennes.

On se référera, dans ces actions à destination des ETI

et PME aux différents guides et formations développés notamment par l'ANSII et tout récemment par Bpifrance en coopération avec Cybermalveillance.gouv.fr. L'IESF avait rédigé en nov. 2020 un cahier de recommandations très complet auquel on se référera.

Notons qu'une démarche similaire (et connexe) peut être lancée dans le domaine de la numérisation et de l'automatisation des process de production (Industrie 4.0).

1 ANSSI : Agence Nationale sur la Sécurité des Services d'Information

1 Cybermalveillance.gouv.fr : Service d'information et d'assistance pour les services publics

1 Cahier IESF « Cyber-risques : Les bonnes pratiques de PME pour y faire face ». Nov. 2020.

## **(6) Un allègement des handicaps publics actuels des entreprises industrielles Françaises**

- Réduire les impôts de production français pour le mettre au niveau de l'Allemagne et financer cet alignement d'impôts par la réduction des frais généraux publics. Le poids relatif de la sphère Publique / Privé est de  $57/43 = 1,32$  en France. En Allemagne, il est de  $44/56 = 0,78$ . La sphère publique française est donc 69% ( $1,32/0,78$ ) plus chère qu'en Allemagne. Le jockey public est trop lourd pour les chevaux entreprises françaises. Les 35h restent une plaie dans l'efficacité de nos services publics en comparaison avec leurs homologues européens.

- Éliminer l'écart de durée du travail entre la France et l'Allemagne (+150h/an et + 4 ans de durée de travail).

- Mettre un terme à la culture syndicale et la politique sociale du pays dominés par des entités non soumises à la concurrence internationale (par exemple les hausses des salaires des fonctionnaires devraient être fonction des hausses de salaire du secteur concurrentiel et non l'inverse).

- Rendre la commande publique favorable au « made in France ».

- Faire évoluer la culture des services publics qui devraient plus aider et orienter les ETI/PME parmi les centaines de textes et réglementations et être moins dans une relation encore trop souvent conflictuelle et punitive.

- Développer le patriotisme des élites françaises au

niveau des élites de nos voisins.

- Régler les trois difficultés françaises :

(i) la retraite par répartition versus une proportion en capitalisation

(ii) le coût du chômage

(iii) le mille-feuilles administratif en ayant dans les préfectures et dans les CCI des gestionnaires de projets qui coordonnent les administrations et intègrent les divers textes et règlements, au plus près du besoin des industriels de leurs territoires.

- Favoriser la présence de plus de chefs d'entreprise et d'ingénieurs parmi les élus locaux pour favoriser les implantations d'usines.

- Nécessité de créer un statut de l'élu local ou national issu du secteur privé.

- Dénoncer les médecins trop complaisants sur les arrêts de travail et pas assez exigeants pour les addictions.

- Laisser leurs ressources financières aux entreprises : Passer d'un schéma : « profits / taxes & impôts / subventions & aides / investissements » long, coûteux et inefficace à « profits / investissements / taxes & impôts » les entreprises étant plus compétente dans le calendrier et le choix des investissements que l'Administration.

### **Des propositions pour créer les conditions d'un électrochoc pour aller plus vite.**

Les causes de la désindustrialisation de la France sont bien analysées, mais ce qui est fait est fait et les dommages « culturels » subsisteront longtemps. De nombreuses initiatives ont été mises en œuvre mais tout reste très, trop lent face à l'urgence à ne pas rater cette fenêtre nouvelle créée par la volonté européenne de souveraineté. Ci-dessous sont énoncées quelques propositions qui, sans sous-estimer le courage politique nécessaire pour les mettre en œuvre seraient à même de créer les conditions d'un électrochoc pour aller plus vite.

(i) Étendre le système du CIR (**Crédit Impôt Recherche**) aux dépenses de décarbonation et de transformation digitale en créant un CIR2 (crédit d'impôt recherche, décarbonation, digitalisation), permettant de fixer et créer des implantations industrielles du futur sur notre territoire et pas seulement de la R&D,

(ii) créer un « **Buy European Act** » orientant la commande publique vers les entreprises européennes dans des proportions au moins identiques au « **Buy**

*American Act* » des USA qui stipule que les achats publics (600B\$ in 2021) devront être d'origine domestique à 75% !!! (Biden Juillet 2021- industrial american strategy). De plus, « The Inflation Reduction Act » signé par le président Biden le 19 août 2022 focalise ses aides aux énergies decarbonnées sur des équipements exclusivement « American made ». L'UE s'est opposée jusqu'à ce jour à ce « **Buy European Act** » (proposition Sarkozy, Macron...) ce qui pose la crédibilité de la volonté réelle de souveraineté de l'Europe. La France pourrait à minima imposer une telle règle à son administration en intégrant progressivement les pays européens qui s'y aligneraient,

(iii) lever les freins et interdits pour exploiter la richesse géologique, en particulier de notre sous-sol profond en métropole, dans les territoires Outre-mer, mais également de notre immense espace marin (10,76millions de km2et ses nodules polymétalliques) pour contribuer non seulement au rétablissement de notre balance commerciale mais également à l'indépendance de l'Europe en termes de matières premières. Le champ minier est à reconquérir.

*On rappellera que 71% des terres sont immergées ce qui donne une idée des potentiels gigantesques de minéraux disponibles ! L'abondance est réelle !*

(iv) Remettre les services de l'Etat en support des besoins des entreprises industrielles et réduire drastiquement et très rapidement leurs coûts de fonctionnement en améliorant leur productivité. Déployer des process Lean, de la RPA (Robotic Process Automation -robotisation des tâches administratives) ou encore consolider les services informatiques et les surfaces immobilières en ligne avec les benchmarks des grandes entreprises et des administrations des pays voisins.

(v) Sortir enfin de la CERFA nation.

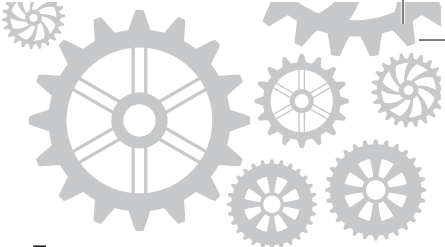
## Conclusion

Objectivement à l'heure où nous publions ces lignes, les nuages s'accumulent et vouloir ré-industrialiser dans ce contexte semble être une gageure. Paradoxalement, la prise de conscience de l'Europe de son besoin de souveraineté ouvre **des opportunités nouvelles** et une redistribution des cartes entre les entreprises. Au-delà des Plans France Relance, France 2030, France Hydrogène c'est maintenant aux élites politiques de tous bords et aux acteurs sociaux de faire preuve de courage pour **créer les conditions d'un consensus national** permettant de se réinventer et de mettre les ressources publiques (recherche, universités, administration...) en support des entreprises et gagner la « **guerre de la ré-industrialisation** » avec et pour nos jeunes qui seront aux manettes au delà de 2030.

## Membres du groupe de travail

Charles DEHELLY : animateur  
Pierre BREESE  
Jean CANTONI  
François DECLERCQ  
André HUON  
Yves IGNAZI  
Jacques LEFEVRE  
José MASSOL  
François Xavier OLIVEAU  
Jordi SANIGER-PARÉ





# 5 - La formation des ingénieurs et des scientifiques face aux nouveaux enjeux

## Préambule

Le monde a grand besoin d'ingénieurs, correctement formés, pour faire en sorte que la technologie, désormais omniprésente, constitue une opportunité et non une menace pour nos sociétés.

En effet, si les sciences et les technologies ne répondront pas seules aux enjeux de notre siècle, elles sont essentielles tant pour poser correctement les problèmes que pour leur apporter des solutions, que ce soit pour le développement durable mais aussi le renforcement de la souveraineté économique, la transformation des entreprises ou l'éducation, pour ne citer que les enjeux traités dans ce chapitre (d'autres enjeux n'ont pas été traités dans ce volet du livre blanc, mais doivent être également pris en compte dans la formation des ingénieurs).

Le cinquième volet de ce livre blanc s'attache donc dans un premier temps à décrire les fondamentaux de quatre de ces enjeux nouveaux, à identifier la place des sciences et des technologies dans la réponse à ces enjeux et les évolutions des métiers et rôles de l'ingénieur qui en résultent, ainsi qu'à formuler quelques recommandations aux pouvoirs publics.

Dans un deuxième temps il s'attache à identifier les conséquences de ces enjeux sur les formations des ingénieurs et des scientifiques et exprime des recommandations à l'intention des diverses parties prenantes (pouvoirs publics, mais aussi les écoles d'ingénieurs elles-mêmes, leurs étudiants et leurs Alumni).

Enfin, sont abordées dans cette section du Livre Blanc, deux enjeux importants pour l'avenir des formations d'ingénieurs, celui de leur financement ainsi que celui de la singularité du système français des grandes écoles d'ingénieur, que l'IESF entend

bien promouvoir et accompagner dans son effort permanent d'adaptation aux enjeux de son temps.

## L'enjeu écologique, conséquences sur les métiers et rôle de l'ingénieur

### L'urgence de se mobiliser pour un développement respectueux de l'environnement ne fait plus débat :

Alors qu'en 2017, il restait beaucoup de personnes, qui sans être nécessairement climatosceptiques, pensaient qu'on avait encore du temps pour réfléchir aux actions à mener, aujourd'hui une majorité écrasante de la population est convaincue de l'urgence de répondre aux enjeux du développement durable au vu de l'accélération des impacts perçus.

### La technologie apparaît trop souvent au grand public comme un frein plutôt que comme un levier du développement durable :

S'agissant de l'apport des technologies au développement durable, tout d'abord, il est un fait que l'immense majorité des technologies, quelles qu'elles soient, consomment des matières premières et de l'énergie, ces 2 « ressources » dont aujourd'hui le monde a pris conscience du caractère limité, ou, pour la seconde, dont le monde a compris que la production avait un impact considérable sur le réchauffement climatique.

Dans le même temps, les technologies sont la clé pour développer la production d'énergie neutre en carbone, pour réduire la consommation de matières premières ou accroître leur taux de recyclage.

Le bilan du numérique est-il par ailleurs écologiquement positif (avec ses effets sur la réduction des déplacements) ou négatif (avec la consommation

électrique qu'il nécessite) ?

La place de la technologie fait ensuite aujourd'hui « débat » dans la société, que l'on pourrait résumer par « l'innovation est-elle le progrès ? ». Pour autant, s'il existe un courant qui prêche la décroissance, la plus grande part de la population des pays développés n'est pas prête à abandonner le confort de vie (et même l'espérance de vie) que les technologies lui ont apporté et continueront à lui apporter et celle des pays en développement aspire légitimement à y avoir également accès.

Il importe alors que nos ingénieurs et nos scientifiques continuent à faire de l'innovation technologique le ressort des progrès de l'humanité et le moyen de parer ce qui la menace, comme ils viennent de le faire brillamment en développant en un temps record des vaccins contre la Covid-19. Pour cela, il importe également qu'ils soient les premiers à promouvoir la foi dans le pouvoir de la science et de la technologie à répondre aux défis du 21<sup>ème</sup> siècle.

## L'enjeu de diversité sociale dans les écoles d'ingénieurs

La Conférence des Grandes Ecoles (CGE) rappelait, dans la préface de son livre blanc sur la diversité sociale de 2010 « *La France, sous couvert d'égalité formelle, a trop longtemps délaissé l'égalité des chances, qui consiste à donner à chacun, quelles que soient son origine et sa situation personnelle, les moyens de développer son potentiel. Résultat : des écarts qui se creusent au fil de la scolarité entre les enfants d'ouvriers ou inactifs... et les enfants des classes sociales supérieures* » « *Une ouverture sociale qui ne sacrifie pas l'excellence, c'est un projet collectif... (et) un objectif plus exigeant que les quotas, mais aussi plus respectueux de nos valeurs et surtout, bien plus efficace à long terme.* »

### Or, les résultats sont depuis 20 ans mitigés :

Malgré des mesures prises ces 20 dernières années, **73 %** des enfants dont les parents sont diplômés de l'enseignement supérieur auront un diplôme de l'enseignement supérieur contre **17 %** pour les enfants de parents non diplômés. Et la diversité sociale chez les élèves ingénieurs n'a cru que très faiblement et, sauf exception, est restée d'autant plus faible que l'école est prestigieuse. Par ailleurs, le système (éducatif) français conduit à ce que les effets s'amplifient depuis le début de la vie jusqu'à l'âge adulte, ... et les différentes parties prenantes se rejettent la responsabilité du manque de diversité sociale dans les entreprises.

**Cette diversité insuffisante est socialement dangereuse (ouvrant la voie à toutes formes de populismes, ou de décisions symboliques), avec des conséquences directes sur la qualité de l'ingénierie.**

### Les mesures prises depuis le milieu des années 2000 avaient pourtant été nombreuses :

- Diversification des voies d'accès aux écoles d'ingénieurs.
- Tutorat/mentorat d'élèves de milieu social défavorisé par des étudiants ou diplômés de grandes écoles : les initiatives sont très nombreuses.
- Conférences dans les écoles pour faire connaître les métiers de l'ingénieur (ex : PMIS, -Promotion des Métiers de l'Ingénieur et du Scientifiques- d'IESF, actions de la CGE, Cap Ingénierie, de la CDEFI...).
- Promotion de la formation en alternance.
- Déploiement de la fresque de la diversité pour changer le regard sur la diversité.

### Les écoles d'ingénieurs sont les révélateurs d'un système défaillant et non la cause :

Malgré leurs efforts, les grandes écoles ont donc très souvent été montrées du doigt pour leur insuffisante diversité. Mais elles ne sont que le thermomètre et non la cause de cette insuffisante diversité, qui puise ses racines dans :

- L'éviction progressive des jeunes de milieux modestes dans le système éducatif, du fait de réalités géographiques, puis d'un système scolaire qui, en abaissant ses exigences sous couvert de lutter contre les discriminations, les accroît en fait (recours au privé par les plus aisés, aide à domicile, accès aux meilleurs établissements).
- Un système éducatif primaire et secondaire qui amplifie les différences d'autant plus qu'il les nie. A vouloir proposer le même programme scolaire pour tous, il décourage et exclut ceux qui sont les moins bien armés pour le suivre et ne stimule pas assez ceux qui ont le potentiel intellectuel pour aller plus loin.

Les solutions à cette situation qui persiste ne sont pas simples et nécessitent constance dans l'effort de la part de toutes les parties prenantes :

- Les pouvoirs publics, tout particulièrement dans une politique de l'éducation qui renforce les exigences d'apprentissage en primaire et secondaire ainsi que les moyens d'y parvenir en zones d'éducation prioritaire. Et qui, dans le même temps, reconnaisse mieux la diversité des potentiels et qui les

accompagnent de façon plus individualisée.

- Diplômés et entreprises ont un rôle important à jouer, en s'engageant davantage financièrement et en nature, dans les dispositifs de soutien des jeunes de milieu modeste pour compléter les efforts de l'éducation nationale.
- Les grandes écoles d'ingénieurs et leurs étudiants, doivent encore renforcer leur engagement dans ce type de dispositif et mieux valoriser la présence d'étudiants issus de la diversité en leur sein.
- Enfin, il faut soutenir les associations engagées dans le développement de la diversité sociale tout au long de la chaîne éducative.

## L'enjeu de souveraineté industrielle nationale/européenne, conséquence sur les métiers d'ingénieur

### Constats et définition

La crise sanitaire actuelle a mis sous les feux des projecteurs les notions de souveraineté et d'indépendance industrielle, avec un besoin de réindustrialisation. D'autres événements plus récents ont pu mettre en évidence la fragilité logistique mondiale, l'exemple le plus récent ayant été donné par l'échouement en 2021 d'un cargo en travers du canal de Suez.

Cette souveraineté nécessaire doit être nationale mais aussi européenne, notamment en matière industrielle, aucun pays n'ayant la capacité à soutenir seul avec son marché domestique l'étendue des savoir-faire et des infrastructures technologiques et industrielles nécessaires. Les ingénieurs seront indispensables pour réindustrialiser ou relocaliser certains pans de l'industrie. Encore faut-il être en mesure de définir une stratégie. Faut-il miser uniquement sur les nouvelles technologies, ou miser également sur des pans plus classiques ? Il est clair que l'innovation, la détection des technologies émergentes, la compréhension des atouts rendent indispensable que les métiers d'ingénieurs se situent sur toute la chaîne du niveau de maturité technologique, allant de la recherche amont à la réalisation de systèmes.

La réindustrialisation se heurte par ailleurs à la méfiance des populations riveraines, réticentes à l'installation d'installations industrielles, que ce soit au nom de l'environnement ou du principe de précaution. Des interrogations auxquelles il faut pouvoir répondre. Un frein supplémentaire à cette réindustrialisation est la fuite des cerveaux, qui concerne directement les ingénieurs et qui peut avoir plusieurs sources :

- La réalisation de formations ou de stages en fin de parcours de formation accroît un risque d'implantation naturelle dans un pays étranger. La France aura donc investi dans une formation qui bénéficiera à d'autres pays.

- Les étudiants peuvent se sentir bridés dans leur désir d'innovation, par la stigmatisation bien française de la réussite dans certains milieux ou des conditions financières et réglementaires encore insuffisamment favorables (aversion au risque) comme l'a montré récemment l'exemple de S. Bancel, ingénieur Centrale Paris, qui a trouvé aux Etats-Unis les conditions favorables à l'éclosion de sa société Moderna.

- Une approche individualiste encourage les jeunes à considérer leur propre situation avant le bien commun.

- La désaffection de la France pour son industrie et pour les métiers d'ingénieur conduit les futurs ingénieurs à exercer leurs capacités hors de France.

## Transformation de l'organisation du travail et du management en entreprise, conséquences sur les métiers d'ingénieur

### Les mutations des entreprises des vingt dernières années ont eu un impact profond sur leur management et leur organisation :

L'appareil productif est entré dans le vingt et unième siècle sous le signe d'une triple mutation : la mondialisation des échanges, le développement de l'omniprésence du numérique et la prise en compte croissante des impératifs de développement durable (au sens défini par l'ONU). Tout ceci sur fond d'élévation continue du niveau d'éducation des populations.

Les dix dernières années, ont été celles de l'accélération de ces mutations, dont les manifestations les plus emblématiques ont été la crise des subprimes de 2008, les ruptures d'approvisionnement liées aux crises politiques ou aux accidents industriels, la crise sanitaire de la covid-19 (et le développement massif du télétravail, ainsi que les difficultés d'approvisionnement), ou la multiplication de catastrophes climatiques locales touchant aussi bien les pays développés qu'en développement. Ce à quoi on peut rajouter l'accélération du déploiement du numérique tant dans l'usine et la chaîne logistique, que dans tous les pans des activités économiques.

Ces mutations conduisent les entreprises à accélérer leurs évolutions en termes de management et d'organisation du travail, mobilisant l'ingénieur dans ses métiers et dans ses rôles :

- Tout d'abord parce que les sciences et les technologies sont un levier important de ces évolutions.
- Ensuite parce que l'ingénieur est un concepteur et un organisateur, et que son esprit de méthode est bienvenu pour penser les organisations et les processus.
- Enfin parce que l'ingénieur est le plus souvent un manager ou un chef de projet, chargé du pilotage et de l'entraînement d'autres collaborateurs de l'entreprise.

### **Les rôles et métiers de l'ingénieur s'en sont trouvés profondément impactés**

Dans ce contexte de transformation des entreprises, parmi ses cinq champs de compétences transverses, l'ingénieur doit aujourd'hui tout particulièrement développer :

- Son influence, c'est-à-dire sa capacité à entraîner et à créer de la confiance, à construire sa légitimité (plutôt que de l'autorité) et à organiser les réalisations collectives, avec des collaborateurs de plus en plus souvent à distance (avec une rupture depuis la crise sanitaire), plus autonomes, et aspirant à être gérés par le sens plus que par la règle.
- Son agilité, c'est à dire la capacité à reconfigurer les équipes ou à changer les règles presque sans préavis, dans un cadre où le fonctionnement « normal » sera de plus en plus traité par les outils de l'automatisation, que ce soit l'intelligence artificielle ou les robots, dans le cadre de l'industrie 4.0.
- Son ingéniosité, la capacité à trouver la rupture et à porter un regard différent sur le risque, par un détour par une autre discipline, voire une autre culture, dans un cadre où l'innovation de rupture est devenue un impératif permanent pour les entreprises, et la clé de leur pérennité.
- Sa responsabilité, qui a fait l'objet de mentions spécifiques dans les chapitres précédents, que ce soit au titre de la contribution à la lutte contre le réchauffement climatique et l'épuisement des ressources naturelles, au respect de l'être humain ou au développement de la diversité dans l'entreprise et la société.

Les formations des écoles d'ingénieurs ont déjà beaucoup évolué ces dix-quinze dernières années pour développer les « softskills » de leurs étudiants, particulièrement par l'évolution des pratiques pédagogiques, avec des limites liées aux nécessaires arbitrages sur un volume horaire maximal alors qu'il faut toujours maintenir un haut niveau d'exigence, aussi bien dans les sciences et les technologies que dans les outils et les méthodes de l'ingénieur, mais aussi parce que certaines « habiletés » nécessitent pour être acquises une maturité suffisante.

## **Conséquences pour la formation initiale des ingénieurs et recommandations**

### **Une formation moderne en lien direct avec la recherche, l'industrie et l'innovation.**

Les problématiques que devront résoudre les futurs ingénieurs sont beaucoup plus complexes que ne l'étaient celles de leurs aînés car les solutions apportées doivent aujourd'hui obligatoirement intégrer les enjeux sociétaux et environnementaux souvent délaissés dans le passé et dont les conséquences ont un impact mondial majeur.

Si par définition un ingénieur est un spécialiste de l'optimisation sous contraintes via la mise en place d'approches systémiques basées sur un socle scientifique très rigoureux, force est de constater que l'évolution des sociétés et des enjeux stratégiques amène à redéfinir profondément les notions de besoin, de performance, de coût, de risque ou d'impact. La formation des futurs ingénieurs doit donc obligatoirement intégrer un corpus de connaissances de référence (scientifiques, économiques, juridiques, sociétales, historiques, etc..) très régulièrement actualisées autour des enjeux et des impacts (sanitaires, sociétaux, économiques, géopolitiques, etc.), et de la question des ressources (matières, énergies, hommes) et ce quelle que soit la spécialité de la formation.

Ce socle est l'élément essentiel sur lequel seront construits les débats, les analyses, les réflexions ainsi que les propositions de solutions. Il se doit donc d'être le plus complet possible dans l'état actuel de nos connaissances afin de ne pas amener à de fausses solutions basées sur des analyses tronquées ou erronées. Ce corpus doit être la référence permettant de revisiter les enseignements en y intégrant, dès que faire se peut, des éléments de contextualisation et d'application autour du développement durable et de la responsabilité sociale ainsi que des éléments d'intelligence économique, de stratégie et de souveraineté.

Dans ce contexte, la formation par une approche systémique (qui a l'avantage de pouvoir embrasser l'intégralité d'un problème) et par la recherche joue et jouera un rôle majeur en apportant un cadre méthodologique optimisé alliant analyse de problématiques complexes, culture du doute et de la confrontation d'idées, défrichage de l'inconnu et recherche de solutions innovantes.

Enfin, la crise COVID19 a amené un grand nombre d'établissements à profondément bousculer leur

pédagogie et à tester massivement des modalités d'enseignement jusqu'à lors assez confidentielles : enseignement à distance, modules d'auto-formation, mutualisation et co-développement sur des plateformes, etc. Ces nouvelles pratiques doivent faire l'objet d'un retour d'expérience permettant de réfléchir aux évolutions des formations d'ingénieurs afin qu'elles soient plus en phase avec leur temps, avec les besoins de la société ainsi qu'avec les attentes des étudiants (peut-être assez éloignées d'un modèle traditionnel cours, travaux dirigés, travaux pratiques).

Enfin, il convient d'encourager, intégrer et valoriser l'engagement et les initiatives étudiantes comme un élément clef dans le développement de formations qui font sens comme doit l'être l'interaction entre étudiants et société éducative (CPGE, pré-bac, etc.) ou civile.

## Quelles recommandations pour la formation initiale des ingénieurs ?

**Recommandation 1 :** Pour que les futurs ingénieurs soient encore davantage impliqués et pertinents dans leurs contributions, **avoir un véritable « tronc commun » dans les formations donnant à tous les futurs ingénieurs le minimum à savoir sur les grandes thématiques sociétales** des trente prochaines années dans le cadre d'une approche encore plus systémique. **Intégrer pour cela**, si ce n'est déjà fait, dans les divers modules spécialisés des cursus d'ingénieurs, **une approche pluri-disciplinaire et systémique du développement durable, sous les angles juridiques, techniques, économiques, sociales.**

**Recommandation 2 :** Encourager (voire intéresser) leurs étudiants et Alumni à faire massivement de l'information et du soutien (tutorat/mentorat) aux jeunes en lycée et collège.

**Recommandation 3 :** Dans un monde en mutation permanente, **il est essentiel de donner de l'agilité aux écoles d'ingénieurs et à leurs directeurs** et notamment les moyens et latitudes pour qu'elles puissent répondre plus rapidement aux besoins de nouvelles formations.

**Recommandation 4 :** Amplifier encore les investissements des écoles d'ingénieurs pour développer l'influence, l'agilité et l'inventivité de leurs diplômés dans :

- Des hybridations accrues avec des établissements d'enseignement supérieur d'autres domaines, en

particulier dans les domaines des arts et humanités.

- La formation par la recherche, qui prépare à affronter l'inconnu et à gérer l'essai/erreur.
- La valorisation accrue de l'engagement dans les activités associatives dont le fonctionnement entrepreneurial stimule de nombreuses softskills.

## Conséquences sur la formation continue des Ingénieurs et des Scientifiques tout au long de la vie

### Compétence et formation

L'évolution rapide des technologies et du contexte environnant ne permettent plus aujourd'hui aux ingénieurs et aux scientifiques de vivre sur les acquis de leurs diplômes. La formation continue tout au long de la vie est un moyen placé au service de l'amélioration et de l'optimisation des compétences individuelles comme des compétences collectives présentes au sein des entreprises voulant rester durablement parmi les meilleures.

Il convient d'aligner progressivement ces compétences sur les objectifs stratégiques de chaque entreprise. Ces compétences sont à décliner selon les domaines d'activité de l'entreprise, ses processus-clés et ses projets, jusqu'aux collaborateurs concernés, notamment nos Ingénieurs et Scientifiques. Le contexte environnant évolue lui-même rapidement, de nouveaux enjeux apparaissent : *impératifs de développement durable et de responsabilité sociétale, nouvelles réglementations, évolution de l'organisation des entreprises et du fonctionnement de l'économie, transformations géopolitiques, transformation numérique, réindustrialisation nationale, enjeux énergétiques...* De nouveaux métiers vont donc émerger, le métier exercé aujourd'hui sera peut-être obsolète demain. La concrétisation des besoins de formation en découle, pour acquérir des compétences nouvelles ou consolider des compétences déjà acquises : formation initiale pendant les cursus d'études, formation continue, *e-learning*, AFEST, expérience professionnelle éprouvée...

### Évaluation des compétences

«On me maîtrise que ce que l'on mesure». Il convient donc de se préoccuper, en amont, d'identifier et d'évaluer les compétences acquises. Cette évaluation peut prendre diverses formes, selon les enjeux et les risques encourus en matière de compétence, tant pour les personnes concernées (en particulier nos ingénieurs et nos cadres scientifiques), que pour les employeurs : obsolescence des compétences, perte de savoir-faire, compétences orphe-

lines, départ en retraite des sachants... Selon les cas, cette évaluation se traduit par de simples attestations, des habilitations formalisées, des micro-certifications, ou des certifications de compétence par tierce partie. Ces évaluations peuvent être internes, réalisées par un prestataire de formation ou par une tierce partie indépendante (accréditée selon la norme ISO 17024 pour délivrer une certification de personnes).

La « certification de personnes » (ou « certification de compétence » est définie comme « *l'action d'évaluer et de reconnaître formellement les compétences nécessaires à l'exercice d'une activité professionnelle précise, en conformité avec un référentiel métier élaboré et validé par des experts* ».

Les certifications de compétence sont spécifiques à un domaine précis, et limitées dans le temps à la différence d'un diplôme universitaire ou d'un titre d'ingénieur. Elles constituent un passeport professionnel crédible et valorisant vis-à-vis d'employeurs ou de clients. Elles sont des éléments déterminants souvent indispensables pour faire évoluer une carrière, en France comme à l'Etranger, en complément de diplômes de nature généraliste. Elles sont délivrées à l'issue d'un processus de certification déclenché à l'initiative de la personne concernée ou de son employeur.

Concrètement, une certification de personnes est conditionnée à une expérience professionnelle démontrée factuellement, et à une actualisation régulière des connaissances et des compétences, par le biais, par exemple, de la Formation Tout au Long de la Vie, du Développement Professionnel Continu... Le Compte Personnel de Formation (CPF) permet aujourd'hui à tous les actifs d'acquérir des droits pour maintenir et améliorer leur employabilité.

*Par exemple, un «ingénieur diplômé» titulaire d'un titre d'ingénieur reconnu par la CTI pourra, au cours de sa carrière, devenir aussi un «ingénieur certifié» pour une compétence reconnue, à un moment donné, dans un domaine particulier (gestion de projet, sécurité des systèmes d'information...). Cette certification est alors totalement indépendante de son employeur, de ses clients, ou de tout organisme de formation.*  
*Autre exemple : le titulaire d'un diplôme universitaire dans une discipline scientifique (Licence, Master, Doctorat) pourra aussi obtenir, au cours de sa carrière professionnelle, une certification dans un domaine particulier pour une compétence dûment démontrée.*

Pour exercer certains métiers en France, des certifications par tierce partie délivrées par un organisme

dûment accrédité sont obligatoires, par exemple dans certains secteurs sensibles en matière de santé ou de sécurité. C'est également fréquent à l'Etranger : des certifications peuvent être, de fait, obligatoires, indépendamment des diplômes détenus. En France, AFNOR Certification, APAVE, SGS ICS, SNIPF, SOCOTEC... sont accrédités par le COFRAC (Comité Français d'Accréditation) pour la certification de personnes. Cette certification avec accréditation permet certaines reconnaissances intra-Européennes, et au-delà.

### La Loi de 2018 «*avenir professionnel*» et ses décrets d'application

La loi n°2018-771 du 5 sept. 2018 pour la liberté de choisir son avenir professionnel a entièrement refondu l'organisation de la formation professionnelle en France et a induit de profondes modifications. Cette loi consacre la notion de compétence, et la place de la «certification professionnelle». Elle introduit la notion de «blocs de compétences» et instaure le plan de développement des compétences. Enfin, elle augure la création de l'organisme **France Compétence**, qui centralise depuis 2019 les missions du système de la formation professionnelle et de l'apprentissage en France.

La création de cette nouvelle autorité nationale avait notamment pour objectif de garantir la pertinence des certifications professionnelles et leur adéquation avec les besoins de l'économie Française.

Les recommandations qui suivent s'appuient tout particulièrement sur les opportunités ouvertes par cette loi de 2018 dans le contexte de besoin d'acquisition permanente de nouvelles compétences par les Ingénieurs et par les Scientifiques, au regard des enjeux précédemment développés. Elles s'inscrivent également en cohérence avec certaines pistes illustrées dans l'ouvrage IESF : Manuel de l'Ingénieur, « Organiser son Développement Professionnel Continu » publié en juin 2021.

**Recommandation 5 : Pour une mise en œuvre pleine et entière de la Loi «avenir professionnel» de 2018, proposer et faire adopter des simplifications administratives dans le processus actuel d'instruction des dossiers transmis à France Compétences en vue de l'enregistrement de modules de formation par blocs de compétence.**

**Recommandation 6 : Pour les Ecoles d'Ingénieurs et les Associations d'Alumni, promouvoir la certification de compétence par tierce partie, en complément et en cohérence avec la délivrance de diplômes d'ingénieur reconnus par la CTI, en parallèle avec des actions programmées de Développement Personnel Continu (formation continue...) et une expérience professionnelle démontrée.**

## Le financement de l'enseignement supérieur en France

**Les moyens et l'attractivité de l'enseignement supérieur français décrochent sur le plan international**

Selon l'OCDE, la France consacre désormais 1,5 % de son PIB à l'enseignement supérieur (financement à 1,2 % public et 0,3 % privé). C'est très proche de la moyenne OCDE, nettement mieux qu'en Italie (< 1 %) mais en décrochage par rapport aux leaders. Deux modèles se distinguent parmi ceux qui investissent plus :

- Dans le modèle nordique, l'effort public plus élevé d'un quart (autour de 1,5 % du PIB), et le financement privé marginal ➤ 1,6 à 1,7 % au total.
- Dans le modèle anglo-saxon, l'effort public plus faible (0,6 à 1,2%) mais le financement privé massif (entre 50 et 70 % du total) ➤ total 2 à 2,3 %.

Les écarts se creusent quand on regarde la dépense par étudiant : là où l'Europe continentale (dont la France) dépense entre 10 et 12 k\$/étudiant, les US sont à 29, UK à 22 et l'Australie à 14. Ces 3 pays anglo-saxons, dont le modèle de financement privé coûte le plus cher aux étudiants, se taillent la part du lion du marché en forte croissance des étudiants internationaux. Sur ce marché, la France est passée en deux ans de la 4e à la 6e place, doublée par l'Allemagne et la Russie et talonnée par le Canada.

Enfin, les derniers chiffres publiés par le ministère de l'enseignement supérieur indiquent que la dépense par étudiant a baissé en 2019 en France pour la 6e année consécutive. Tous ces éléments convergent : **la France est en train de décrocher du peloton de tête, et doit fournir un effort significatif si elle veut y recoller.**

**En France, l'enseignement supérieur privé se développe quand le public fait du surplace**

La sempiternelle opposition entre universités et classes prépas/grandes écoles publiques est de moins en moins pertinente. Du point de vue finan-

cier, en particulier, le soutien public annuel rapporté au nombre de diplômés est à peu près le même à l'université, en CPGE et en grande école publique. Ainsi, si l'université réduisait le taux d'échec de ses étudiants par une sélection accrue, elle disposerait du même financement par étudiant que les grandes écoles.

C'est plutôt entre établissements publics et privés que les dynamiques diffèrent alors que le nombre total d'étudiants, nationaux et internationaux, augmente tous les ans. Les premiers ont bien de la peine à augmenter leurs promotions avec un financement public stable. Leur modèle économique ne leur permet pas de « passer à l'échelle », contrairement aux établissements privés dont les moyens croissent avec les effectifs.

C'est le phénomène le plus marquant de ces vingt dernières années où les effectifs du privé ont crû de près de 80 % quand ceux du public n'augmentaient que de 5% ; **la part du privé a presque doublé pour passer de 12 à 20 % du total.**

Ces dernières années, certains établissements publics ont trouvé de nouvelles sources de financement en développant leurs cursus par apprentissage, pour bénéficier des crédits de la taxe d'apprentissage. Mais ils ont désormais atteint un plafond.

## Quels leviers pour réagir ? Quelles recommandations ?

**Recommandation 7 : Comme de nombreuses études le recommandent, et à l'instar de l'Australie il y a trente ans, autoriser les établissements publics à augmenter leurs frais de scolarité, et mettre simultanément en place un système de prêts étudiants à remboursement contingents garantis par l'Etat, couvrant à la fois frais de vie et frais de scolarité, de manière à éviter les effets d'éviction par l'argent. Réaliser un bilan au bout d'une durée significative pour s'assurer des impacts de la mesure.**

**Le système français des grandes écoles : un outil exceptionnel créé il y a plus de deux siècles, qui sait évoluer pour répondre aux enjeux de son époque.**

**Le système français des CPGE – Classes préparatoires aux grandes écoles /GEI-Grandes écoles d'ingénieurs a su retenir et adapter les meilleures pratiques reconnues au niveau mondial :**

- Sélectivité des classes préparatoires suivie d'un concours d'entrée républicain avec une sélection équitable fondée sur le mérite et non l'argent ou d'autres critères liés aux origines du candidat (origine géographique, sexe...).
- Taux d'encadrement élevé des élèves par des professeurs du meilleur niveau et des enseignants-chercheurs, assurant l'accès aux dernières connaissances et un contact avec le monde de la recherche.
- Forte exposition au monde professionnel (projets, stages en entreprise, en laboratoire, etc..., cours et conférences assurés en partie par des acteurs du monde de l'entreprise, parrainage) assurant une excellente employabilité.
- Enseignement scientifique pluridisciplinaire de très haut niveau. Les deux premières années en CPGE à un rythme soutenu suivies d'un enseignement en grande école plus ouvert que dans les formations de 2nd cycle en général, y compris sur les sciences humaines et sociales, l'apprentissage des langues, les techniques de communication, la gestion de projets, et dispensé par des enseignants issus du monde académique ou de l'entreprise.
- Préparation de leaders ayant une forte compétence scientifique, technique, de management et de négociation, et une ouverture sur le monde et les sujets actuels.

Les classes préparatoires développent, outre l'apport de connaissances scientifiques, des capacités d'organisation, d'apprentissage et d'assimilation d'un grand nombre de sujets :

- Gouvernance équilibrée entre les diverses parties prenantes qui procède à la nomination du chef d'établissement.
- Scolarité peu onéreuse comparée à certains pays anglo-saxons.
- Forts liens de solidarité entre étudiants puis réseaux d'Alumni efficaces.

Si la plupart des caractéristiques rappelées ci-dessus se retrouvent dans d'autres systèmes étrangers le système français CPGE/GE est le seul à les réunir toutes ; il a démontré sa force et sa pertinence, jusqu'à aujourd'hui (regardez l'origine des prix Nobel français récents, du fondateur du laboratoire Moderna, ou du plus récent spationaute français, Thomas Pesquet, diplômé d'ISAE/SUPAERO) et il s'exporte dans certains pays avec succès (Afrique du Nord, Chine, ...).

**Ce système, régulé par la Commission des Titres d'Ingénieurs, a su s'adapter dans plusieurs voies essentielles :**

Tout en restant une référence dans le système des grandes écoles, la voie CPGE n'est plus la seule, loin de là, d'accès aux GE. Les recrutements post licence, post Bachelor universitaire de technologie, voire BTS se sont développés, toujours de façon sélective. Le recrutement international a explosé. Les doubles diplômes ingénieurs-managers se sont multipliés.

Les méthodes pédagogiques ont évolué pour intégrer de façon croissante l'apprentissage par projet, par problème, la pédagogie active plus adaptée aux publics étudiants du XXI<sup>ème</sup> siècle, préparant mieux aux méthodes de fonctionnement en entreprise.

La formation à et par la recherche, qui permet de développer des compétences très particulières, s'est également généralisée. Comme en atteste l'évolution du taux d'ingénieurs poursuivant par un doctorat. Selon les écoles et les étudiants, il s'agira de recherche fondamentale ou appliquée.

La plupart des écoles proposent des formations à l'innovation et à l'entrepreneuriat, contribuent fortement à leur écosystème d'innovation locale, voire hébergent des stars up émergentes dans leurs incubateurs.

Les hybridations de cours entre écoles d'ingénieurs, écoles de management, de design et d'art, permettent de simuler en école le fonctionnement très interdisciplinaire des entreprises modernes.

Les écoles encouragent les initiatives étudiantes, telles que les associations d'élèves (BDE ou autres) qui développent leur approche projet et leur permettent d'expérimenter des notions concrètes, de gestion par exemple.

Elles font largement appel à des intervenants du monde professionnel (économique, industriel, administratif) qui peuvent faire diffuser les sujets les plus actuels et en pointe.

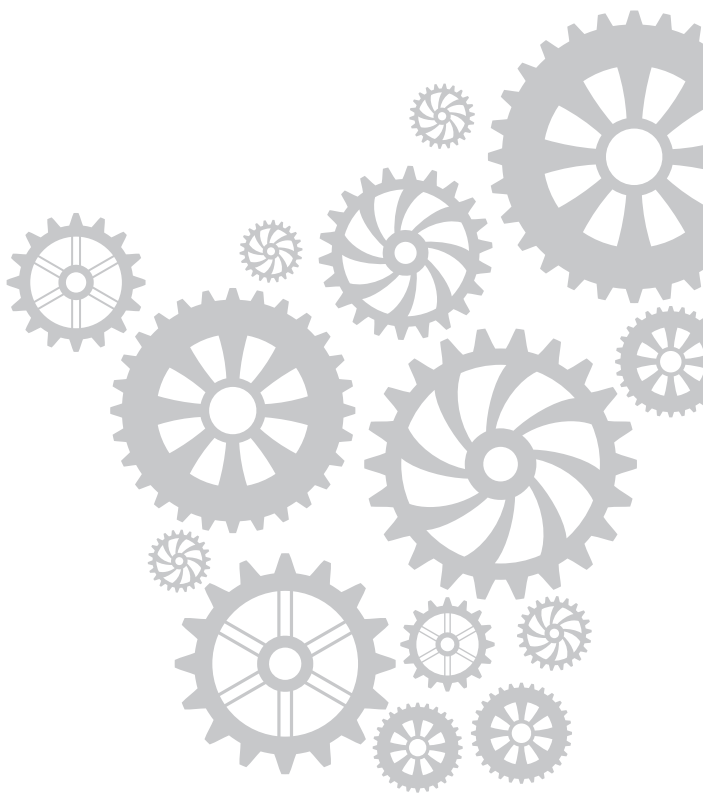
La place de l'international est affirmée, que ce soit en flux entrant (étudiants internationaux venant se former sur le modèle français) ou en flux sortant (élèves français effectuant un semestre d'échange ou un double diplôme dans des universités étrangères partenaires).

Enfin, la place des Sciences économiques et sociales et de la formation humaine (savoir être) n'a fait que croître dans les programmes ; en fait notamment partie le séjour de plusieurs mois à l'étranger qui est devenu ces dernières années un prérequis pour être diplômé dans la plupart des écoles, et qui a peu d'équivalents ailleurs.

**Recommandation 8 : Confirmer le rôle et l'autonomie des écoles d'ingénieurs au sein des écosystèmes d'enseignement supérieur dans lesquels elles sont de plus en plus intégrées. Cette autonomie passe par celle de la Commission des Titres d'Ingénieurs, par la reconnaissance de leur capacité à sélectionner et à diplômer leurs étudiants, de leurs principes de gouvernance, de leur structure de financement et de la structure de formation dispensée.**

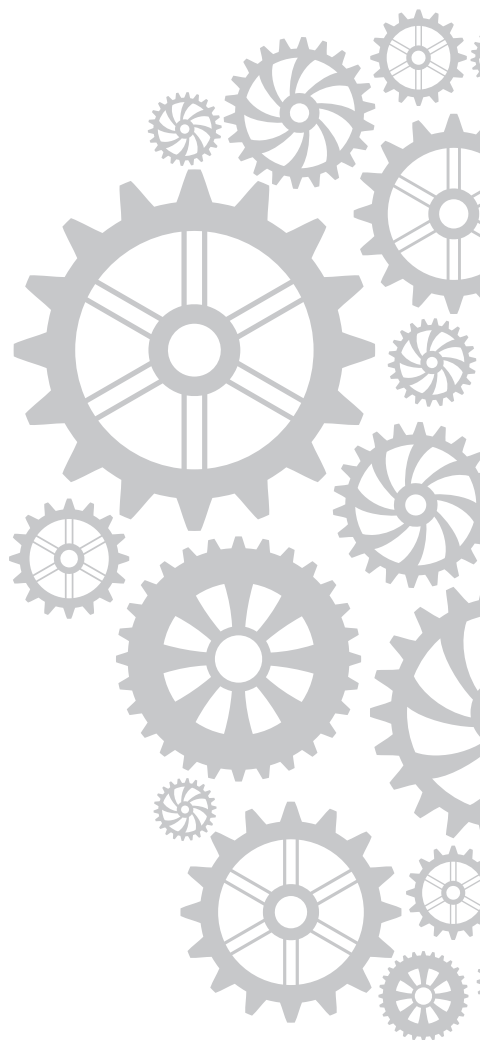
#### **Membres du groupe de travail**

Yves POILANE : animateur  
Olivier DESTANG  
Olivier GIBARU  
Alain JOUANJUS  
Olivier LESBRE  
Hervé MORAILLON  
Jean-Claude PANNEKOUKE  
Philippe ROUCH  
Isabelle TANCHOU



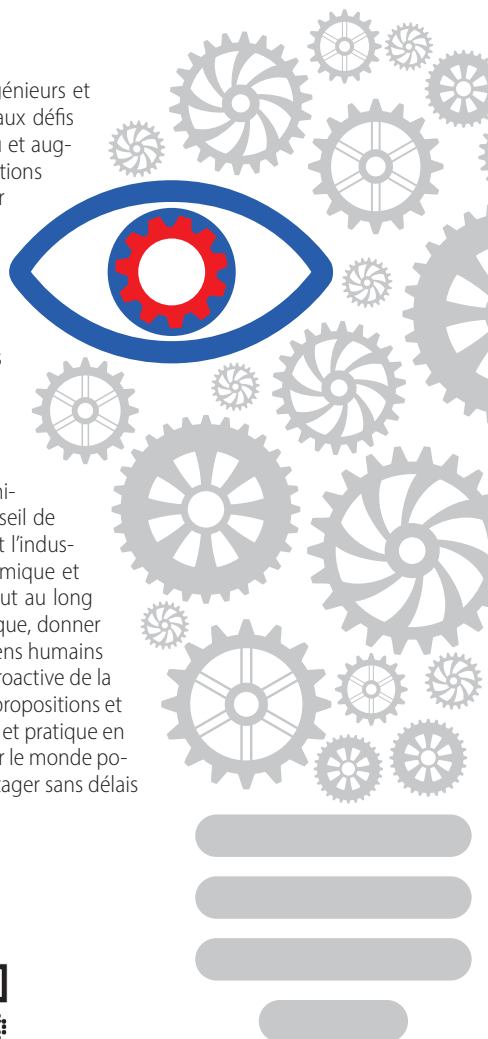


# NOTES



Directeur de publication : Marc RUMEAU, Président IESF  
Conception graphique : Hiceo - 4 impasse du Faubourg - 38690 Le Grand-Lemps  
Impression : Imprimerie du Pont de Claix  
Coordonnées : IESF - 7 Rue Lamennais - 75008 Paris - Tél. : 01 44 13 66 88

Comme ils le font depuis plus de deux siècles, les Ingénieurs et scientifiques de France se mobilisent pour faire face aux défis du XXI<sup>e</sup> siècle. Ils y répondent dans ce Livre Blanc revu et augmenté en faisant des recommandations et des propositions fortes, applicables et porteuses d'avenir...pour stopper la baisse des niveaux scientifiques scolaires et attirer plus de jeunes gens et de jeunes filles vers les métiers d'ingénieur et de la science, pour remettre l'émulation et le travail en valeurs centrales, placer les sciences et technologies au sein de la culture générale et le plus tôt possible, revaloriser les métiers d'enseignants...pour se saisir de la nécessaire transition énergétique et de la décarbonation de l'industrie comme une opportunité de développements et d'innovations...pour encourager les ingénieurs et scientifiques à investir le champ de la vie publique, redynamiser le tissu industriel des territoires, créer un Haut Conseil de l'Éthique...pour embarquer la France dans le digital et l'industrie 4.0, relever les nombreux défis écologique, économique et sociétal, développer l'apprentissage et la formation tout au long de la vie...pour questionner le dogme du collège unique, donner aux établissements d'enseignement supérieur les moyens humains et financiers qui leur font défaut, une mise en œuvre proactive de la loi « avenir professionnel » de 2018... Et bien d'autres propositions et recommandations qui font de ce travail collectif, fouillé et pratique en termes de mise en œuvre, un ouvrage dont doit se saisir le monde politique, de l'enseignement, de l'industrie... à lire et partager sans délais et sans modération !



Scannez pour être dirigé  
vers le site internet d'IESF

Prix de vente public 20 euros TTC



[www.facebook.com/  
IESFrance](https://www.facebook.com/IESFrance)



[twitter.com/IESFrance](https://twitter.com/IESFrance)



[www.linkedin.com/  
company/ingenieurs-et-  
scientifiques-de-france](https://www.linkedin.com/company/ingenieurs-et-scientifiques-de-france)



[www.youtube.com/user/  
IESFrance](https://www.youtube.com/user/IESFrance)

Répertoire  
des Ingénieurs  
et des Scientifiques

<http://repertoire.iesf.fr/>