

FACE AUX DÉFIS DU XXI^E SIÈCLE

LES PROPOSITIONS ET RECOMMANDATIONS DES INGÉNIEURS ET SCIENTIFIQUES DE FRANCE



IESF
SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ET
SCIENTIFIQUES DE FRANCE



Avis aux lecteurs

Dans ce livre les mots INGENIEUR ou ETUDIANT, désignent tant des hommes que des femmes.



Préface

Ce livre blanc est le fruit du travail de plusieurs dizaines d'ingénieurs et scientifiques qui, durant des mois, ont échangé, réfléchi, débattu, argumenté, pour offrir une somme de propositions concrètes posées sur des données factuelles et une analyse étayée des enjeux sociétaux, géopolitiques et économiques qui nous font face. Ils se sont notamment appuyés sur les travaux des comités sectoriels d'IESF, composés d'experts dans chaque domaine.

Les Ingénieurs et Scientifiques de France (IESF), 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 trente prochaines années.

Les cinq chapitres du Livre Blanc s'intitulent « Education, clé du progrès », « Environnement », « L'ingénieur dans

la Cité », « Compétitivité des entreprises », « Formation des ingénieurs » ; chapitres où sont traités nos défis et nos opportunités avec des **propositions et recommandations claires et applicables**, contribuant à une **prise en compte des actions nécessaires au progrès et à la prospérité** de nos concitoyens.

Les prochaines décennies seront celles des jeunes qui fréquentent actuellement notre système scolaire. Il est donc légitime et utile de commencer ce livre en s'interrogeant sur « l'amont », à savoir la **génération d'ingénieurs et scientifiques** – hommes et femmes – qui feront et mettront en œuvre la quatrième révolution industrielle, couramment appelée Industrie 4.0, dont il est commun d'admettre qu'elle verra naître des nouveaux métiers pour lesquels il faudra former non seulement nos jeunes, mais aussi l'ensemble de ceux qui les forment : le corps professoral. Il est surprenant de constater que face aux milliards annoncés pour le plan de relance, **trop peu** soit prévu **pour la**

formation des enseignants qui doivent permettre l'éclosion de la génération 4.0, et là réside bien **le premier défi à relever**.

Le premier chapitre nous interroge, nous interpelle, sur le constat douloureux que **13 % des jeunes sortent du système scolaire sans réelle formation et que quelque 21% des jeunes de 18 à 24 ans de notre pays sont au chômage !!!** Alors que nous manquons de jeunes à former aux métiers des sciences et technologies, dont le secteur économique a besoin, et que, selon les instances concernées, on **craint une possible pénurie de candidatures aux écoles d'ingénieurs !!!** Modèle de formation qui nous est pourtant envié.

Il y a urgence à revoir le processus d'accès aux études scientifiques et techniques, face **au recul important du nombre d'élèves, passé en cinq ans de 193 000 bacheliers scientifiques à 79 000. De plus, malgré un réel effort pour attirer plus de jeunes filles**, le taux de féminisation plafonne à **27%** depuis cinq ans dans nos écoles d'ingénieurs et reste en deçà de 28 %, en moyenne, dans les entreprises.

Nous proposons que les **sciences et techniques** soient considérées comme des **éléments intrinsèques de la culture générale**, de même que de **faire connaître le monde professionnel** aux jeunes. Il faut donner une **formation mathématique et scientifique minimale à tous les enseignants, les familiariser avec le monde de l'entreprise, et enfin reposer la question du collège unique**.

Le Cahier des charges environnemental industriel du XXI^e siècle peut, quant à lui, se résumer en premier lieu à produire de **l'énergie « zéro CO₂ » à volonté et à bas coût** (sans combustibles fossiles), en réhabilitant l'énergie nucléaire, à

construire un outil de production industriel et agricole **« zéro déchet non recyclé »**, à remplacer les matières premières en voie de raréfaction, à réduire les surfaces terrestres **« artificielles »**. La mission **« environnementale »** des Ingénieurs et des scientifiques est bien de proposer aux gouvernants des solutions techniques pertinentes, à l'échelle mondiale. Par exemple, la **pollution des océans par les plastiques est considérée, à juste titre, comme « horrible »**.

Il faut donc collecter, trier et recycler **jusqu'à 99,99 pour cent**, et ces processus industriels nouveaux vont demander de l'énergie supplémentaire **« zéro CO₂ »**.

Les scientifiques, ingénieurs et techniciens ont toujours travaillé pour mettre à **la disposition du plus grand nombre** des biens et services nouveaux. Au cours du temps, seule la vitesse d'expansion et de diffusion a varié. La numérisation du monde accélère encore fortement ces mutations, les pertes de repères sont nombreuses, c'est pourquoi nous croyons nécessaire la création d'un **Haut Comité d'Ethique** pour guider ces évolutions.

La France décroche dans le concert mondial, **sa part d'industrie est de 10% seulement du PIB (!) et l'écart de PIB par habitant se creuse avec nos voisins**. Ne laisse-t-elle pas périliter ses forces que sont les industries nucléaires et agroalimentaires, lesquelles voient ces derniers temps une prise de conscience pour plus de recherche et d'investissements ? Ne délaisse-t-elle pas **sa puissance maritime et portuaire** (deuxième espace maritime du monde) ? Ne délite-t-elle pas sa capacité à **innover** avec le rôle clé des Ingénieurs et des scientifiques, et les nécessaires investissements d'avenir pour accompagner **l'industrie 4.0 et la numérisation atten-**

due de l'économie ? Elle doit rendre plus agile et plus efficace ses (trop) nombreuses administrations qui, elles aussi, doivent passer au 4.0. Relever les défis écologique, sociétal et économique est une urgence sur l'agenda français, jouons collectif ! Jouons France SA !

La formation des ingénieurs est importante et doit être prise en compte sans esprit partisan, car ils constituent la colonne vertébrale de nos entreprises. Nous devons leur transmettre le meilleur de la science mais aussi les mettre en face des futurs bouleversements du monde, de ses besoins et des complexités naissantes. Enfin la société doit s'attacher à résoudre le problème de la formation tout au long de la vie, du rôle et de la place des ingénieurs dans la cité, autant de sujets où les propositions et

recommandations faites ici sont parfois de **pur bon sens** mais procèdent toujours d'une **nécessité et d'une urgence** qui s'imposent aux décideurs.

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 pour lesquelles les ingénieurs et les scientifiques sont des fervents acteurs et contributeurs, et nous savons pouvoir compter sur l'**Académie des technologies** pour nous accompagner sur ce chemin.

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

Marc Rumeau,
Président d'Ingénieurs et Scientifiques de France (IESF)

Sommaire



1 - Éducation, clé du progrès	page 6
2 - Environnement	page 13
3- L'ingénieur dans la cité	page 21
4 - Compétitivité des entreprises	page 25
5 - La formation des ingénieurs et des scientifiques face aux nouveaux enjeux	page 32

1 - Education, clé du progrès

Préambule

L'enfance et l'adolescence constituent une période capitale dans la construction de chaque personne. C'est l'époque où les jeunes vont d'abord acquérir les bases pour, parler, lire, écrire, compter et commencer à découvrir leur environnement, culturel, économique, politique, ...

Ainsi, ils vont progressivement s'intéresser et même souvent se motiver, voire se passionner, pour certains domaines : le sport, la culture, les sciences, ... Les possibilités étant infinies, il est essentiel de leur faire « goûter » à ces grands sujets pour qu'ils expriment leurs marques d'intérêt. Si cela peut être assez naturel pour les jeunes des milieux favorisés, cela est souvent plus difficile pour ceux qui le sont moins. La formation, extérieure aux familles, joue donc un rôle capital pour compléter l'éducation familiale. Ainsi, 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. Les enseignements devront toutefois être adaptés pour garantir aux jeunes un travail consistant lors de leur entrée dans la vie active. Une telle formation est idéale mais elle ne se déroule pas toujours de façon optimale en France, même si de nombreuses actions allant dans le bon sens ont déjà été lancées.

Contexte

Un socle de compétences de base est indispensable pour construire solidement la formation des jeunes ; quelle que soit la maison à bâtir, elle ne résistera que sur de solides fondations. On constate actuellement une diversification des sujets traités à l'école primaire, parfois combinée

à des réductions de durée d'enseignement, qui conduit à une forte réduction de l'enseignement des thèmes qui pourtant doivent être prioritaires, notamment français et mathématiques, sciences et techniques. On peut noter que des domaines techniques de base, qui garantissent notre vie quotidienne, ne sont plus guère valorisés ; l'électricité, par exemple, a même un temps disparu. Ce manque de bases initiales se retrouve au collège, au lycée et même dans l'enseignement supérieur et est un handicap extraordinaire, surtout pour les moins favorisés qui ne peuvent disposer de cours complémentaires. Les récentes « vacances éducatives » mises en place par l'Education Nationale, fort pertinentes, reposent sur ce triste constat et doivent améliorer la situation. De multiples références françaises et internationales mettent en évidence ce déclassement continu des écoliers français, le classement PISA, notamment. L'une des causes importantes à ce problème semble être le difficile recrutement des enseignants faute de candidats adaptés aux besoins de certaines matières.

La formation fournie par le corps enseignant doit être un complément à l'éducation transmise par les parents. De multiples raisons liées à la vie actuelle conduisent à une nouvelle éducation assez différente de celle du passé. Les jeunes ont plus de libertés et sont face à une multitude de sollicitations et d'informations diverses et loin d'être toujours enrichissantes. Cette réduction de l'éducation parentale (en moyenne) devrait donc être comblée par la formation fournie par les enseignants. Malgré la réduction des effectifs par classe, le comportement de beaucoup de jeunes face à leurs professeurs ne leur facilite pas la tâche, le respect de l'enseignant est, bien souvent, peu d'actualité de nos jours. Cet état de fait est aussi valable pour le comportement de certains parents. Cela est fort regrettable car

beaucoup d'enseignants ont laissé des traces indélébiles dans la vocation et la carrière de beaucoup de personnes, adultes aujourd'hui. Le monde de l'internet, très fortement utilisé par les jeunes et sur des durées quotidiennes très longues, est une alternative importante aux échanges avec parents et enseignants transmettant leurs savoirs. Ce mode de formation ne permet pas actuellement aux jeunes (donc à tout citoyen français dans le futur) de disposer des compétences attendues pour répondre aux besoins du monde professionnel et, globalement, à la compréhension des enjeux de la société. Internet est un outil dangereux mais aussi essentiel à notre époque et l'apprentissage de son utilisation est capital.

La communication (ou les médias), notamment par son caractère d'immédiateté, ne porte pas toujours les bons messages vers la société, et donc vers les jeunes, pour mettre en avant les techniques et innovations qui pourraient attirer des vocations ou motiver des candidatures. Elles ont conduit aux énormes progrès, notamment du 20ème siècle : médecine, transports, télécommunications, informatique, ... et qui, a priori, seront à la base de la survie de la Planète au siècle en cours : climat, alimentation, gestion de l'eau, médecine, ... Il faut toutefois être bien conscient que ces innovations sont parfois perçues comme étant à but purement lucratif, et au service d'un système ultra libéral mondialisé. Ces dernières années, en particulier avec la pandémie actuelle et une franche prise en compte des contraintes climatiques, la stratégie évolue et la RSE (Responsabilité Sociétale des Entreprises) est mise en place (loi PACTE ¹). 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 techniques à notre disposition et à venir. A titre d'exemples, on peut citer la base de règles simples de calcul, telle que la règle de trois, ou un regard critique sur les résultats obtenus (ordres de grandeur par exemple). La communication doit évoluer vers

cette orientation.

Les activités professionnelles sont très variées, manuelles ou non, et évoluent fortement actuellement. L'idée d'une opposition entre sciences physiques et sociales subsiste trop souvent. Devant cette multitude de possibilités, les jeunes doivent acquérir un bon panorama des secteurs professionnels actuels et futurs pour s'engager dans les formations adéquates pour y trouver bonheur et motivation. Il faut toutefois impérativement les guider pour éviter des formations, quasiment sans débouchés, hélas encore nombreuses en France et conduisant au chômage ou à une réorientation démotivante et coûteuse en formation. Inversement, il existe de multiples postes (bâtiment, restauration, électronique, agriculture, ...) sans candidats formés. Cela met en évidence un besoin impérieux d'orientation aux souhaits des jeunes mais adaptés aux besoins de la société. Un paramètre complémentaire à prendre en compte est le niveau d'études initiales associé au premier emploi. Les ouvriers et techniciens sont essentiels à la structure professionnelle de l'industrie. Ce sont souvent ces postes qui sont les moins fournis et qui bloquent les productions (ex : capacité réduite de la production des Airbus face aux engagements de commande). 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 cette formation est beaucoup plus pratique, le recrutement basé sur des jeunes expérimentés et le nombre de postes adapté au marché. Ce succès ne sera obtenu en France que si on casse le dogme que les voies dites « professionnelles » sont sans issue et qu'il faut passer par la voie dite « générale » pour réussir. Toutes les formations doivent être « professionnalisantes ». C'est d'ailleurs l'intérêt de revoir certains des critères de classements d'établissements défavorisant ces orientations professionnelles. En Allemagne, de multiples patrons de grandes entreprises ont commencé en apprentissage. Cela montre également le besoin de formation tout au long de la vie pour progresser régulièrement (ce qui est très motivant). Tout cela contribuera globalement à la relance de la France y

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

compris sur la scène internationale.

Synthèse

Quatre besoins sont mis en évidence, il faut :

- **Adapter énergiquement le niveau des jeunes aux nécessités de notre siècle, avec un socle de compétences de base solide.**
- **Motiver les jeunes aux carrières scientifiques et techniques par une culture scientifique et technique significative.**
- **Orienter progressivement les jeunes vers leur satisfaction personnelle, leur quête de sens, en répondant aux besoins de la société française.**
- **Développer une relation étroite entre les professionnels actuels et les jeunes.**

Proposition sur le niveau des jeunes français face aux nécessités de notre siècle

Avec des actions telles que :

1. Garantir en priorité l'acquisition d'un socle minimal de compétences, notamment en français et en mathématiques, pour tous les jeunes, sans exception, dès le plus jeune âge ; l'entrée au collège est la seconde étape cruciale. Ce bagage minimum est indispensable pour permettre de comprendre et assimiler les enseignements qu'ils vont suivre. Ce point est déjà largement mis en évidence dans divers 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, quel que soit leur milieu social. La confirmation permanente de cet acquis de base impose aux enseignants, quelle que soit leur spécialité, d'insister constamment sur le respect du français (orthographe, grammaire, ...) 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 au niveau du recrutement des élèves dans les grandes écoles.

2. Donner le goût de l'émulation est essentiel pour les jeunes pour qu'ils s'impliquent personnellement dans leur formation : avoir l'envie de progresser. Cela est très bien réalisé dans le domaine sportif. Cette émulation aux défis peut être réalisée en utilisant des « challenges » de tous ordres, internes ou externes à l'entité de formation. S'il est important de s'engager dans les défis régionaux, nationaux ou internationaux pour positionner la France avec les meilleurs (ex : Olympiades), il ne faut pas abandonner les petits défis incluant tous les jeunes afin d'entraîner tout le monde dans cette conquête. L'Education Nationale promeut de tels concours : concours aux nombres, concours kangourous, rallyes, maths en jean, ... ; il faut veiller à avoir des engagements nombreux à participer. Cet esprit de compétition doit être impérativement développé avec les meilleurs à l'international pour acquérir un esprit de conquête, d'audace, de courage, de travail ; Airbus, Ariane, ... sont nés avec de telles démarches françaises. C'est une nécessité pour éviter un déclassement de la France, préjudiciable à tous. Si l'émulation est importante en général, pour certains, il faut d'abord leur redonner simplement le goût à l'école, par exemple en les motivant sur leur futur : ce que j'apprends aujourd'hui me servira à ... Tout cela doit conduire à une Elite française, beaucoup plus importante, reconnue pour ses réussites, à conserver en France et servant d'exemples pour les plus jeunes.

3. Développer la pratique de l'oral et de l'expérimentation. Le premier point est essentiel pour donner aux jeunes les moyens de savoir expliquer, justifier, démontrer, se positionner, argumenter ... Le grand oral du Bac mis en place cette année est une excellente concrétisation de cette évolution. Le second point concernant l'expérimentation est aussi critique car les enfants sont maintenant baignés dans un monde du virtuel dès leur plus jeune âge et perdent de multiples facettes du concret. Ce principe doit être pris en compte par les parents pour les jouets puis dans les enseignements. La

méthode Montessori exploite au maximum ce principe : de telles expérimentations sont essentielles, dès le plus jeune âge. L'augmentation du nombre de stages, imposés ou volontaires, est également un bon moyen de prendre en compte les problèmes concrets. Il est important de comprendre l'utilité de tout ce qui nous entoure.

4. Regrouper les comités décisionnaires ou consultatifs de formations en une seule entité avec une vue globale de la stratégie française, de l'équipement régional, ... 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.

Avec les 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 tous les départements français.** La première année intégrera 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 existant au collège (6^e) et au lycée (2^{nde}).

Proposition sur le développement de la culture scientifique et technique

Avec des actions telles que :

1. Positionner les sciences et la technologie comme des éléments clés de la culture générale et pas seulement les arts : cinéma, musique, architecture, littérature, ... Cela peut se réaliser avec des scientifiques impliqués dans les déci-

sions des autorités en charge du contrôle des médias, telles que la mise en place de quotas d'émissions de vulgarisation de la culture scientifique à la télévision et les moyens audiovisuels qu'utilisent les jeunes. L'émission « C'est pas sorcier » est un exemple de réalisation à développer. Universcience peut aussi être un excellent contributeur de cette action. Ce positionnement des sciences et techniques doit être déjà très significatif dès le collège pour permettre, au mieux, une orientation adaptée, notamment pour rejoindre les formations professionnelles.

2. Valoriser les découvertes et réalisations des domaines scientifiques ou techniques pour tous : jeunes, parents, enseignants, ... L'accent sur leurs aspects positifs devra être mis en valeur (pas général, aujourd'hui) au détriment des aspects négatifs souvent fortement médiatisés par certains. Les sciences ont conduit et conduiront à de très nombreuses améliorations de la vie de chacun, notamment pour contribuer au développement durable de notre Planète. Cet objectif peut être atteint avec diverses actions telles que :

- a) **Organiser de multiples visites** : musées, salons, entreprises, ... avec des explications bien adaptées à l'âge des visiteurs.
- b) **Développer des bases de données** (peu mais bien structurées) et les faire connaître pour que jeunes et enseignants les utilisent à l'école et envisager un portail unique type « education.gouv.fr » pour les regrouper.
- c) **Expliquer la complexité de tous les systèmes** imposant des connaissances variées et des décisions pertinentes sur des informations parfaitement validées.
- d) **Faire rêver** : mettre en valeur des réalisations emblématiques, ou des « héros » (le parcours de Thomas Pesquet est un bon exemple).

3. Développer les échanges directs entre les jeunes et les scientifiques. Comme les jeunes sont quotidiennement en contact avec leurs enseignants, ce sont eux qui doivent être en amont de cette mission. Cet objectif peut être atteint avec diverses actions telles que :

- a) **Développer une formation mathématique et scientifique minimale à tous les enseignants,**

des écoles, collèges et lycées afin d'équilibrer les origines humanistes, littéraires ou scientifiques des enseignants. Cette intensification doit commencer pour la formation initiale à l'école puis se poursuivre en formation continue pour mieux répondre aux besoins des professeurs de collèges et de lycées.

- **b) Garantir des bases scientifiques et techniques au lycée suffisantes** pour accéder en bonnes conditions à l'enseignement supérieur du domaine. La nouvelle réforme du lycée induit un manque de mathématiques et de sciences fort préjudiciable pour la poursuite de certaines études, notamment celles conduisant à l'ingénierie. Ce constat a déjà été transmis au Ministère de l'Education Nationale par diverses entités dont l'Académie des Technologies. Les universités et écoles d'ingénieurs pourraient être impliquées pour améliorer la situation, fort critique actuellement.

- **c) Faire venir des professionnels de l'industrie et de la recherche** au sein de l'école, du collège et du lycée. Les associations savantes / syndicats professionnels sont aussi de bons relais entre entreprises et écoles. De façon équivalente, les écoles d'ingénieurs doivent être plus présentes dans les classes préparatoires (approche identique dans les universités entre master et début de licence).

4. Revaloriser les salaires et développer l'attractivité des enseignants scientifiques. Cette action de revalorisation s'impose pour contrer le problème crucial du recrutement des enseignants, notamment en mathématiques et sciences et attirer des candidats qui font défaut à ces postes. Il ne faut pas négliger les possibilités de secondes carrières des militaires, de certains ingénieurs et techniciens. On peut aussi veiller à mettre les jeunes enseignants dans des écoles leur permettant de développer leurs sciences plutôt que l'art de la discipline. Tout ceci est aussi valable pour le domaine des formations professionnelles. L'université devrait promouvoir ces fonctions d'enseignants comme débouchés complémentaires à leur formation. Le recrutement de nouveaux enseignants, notamment en mathématiques, (un peu aussi en physique

et chimie) est indispensable pour soutenir leurs collègues, en nombre insuffisant. On peut aussi se reporter au rapport Longuet qui propose des solutions d'attractivité pour cet enseignement. Le rapport Villani est également à exploiter. La récente pandémie a bien mis en évidence le rôle majeur des enseignants (avis général des parents dont ce n'est pas le métier), il faut en profiter pour faire reconnaître leur mission de première ligne et redorer leur blason, comme perçu dans le passé. Si la pandémie a mis en évidence la forte structure administrative de nos moyens de santé, absorbant une bonne partie des budgets mis en place, on peut faire la même remarque pour l'Education Nationale ; une action de restructuration est donc une excellente source pour revaloriser les enseignants.

5. Développer le goût du vrai en créant une capacité de discernement entre le vrai et le faux. Le monde est maintenant fort complexe et toute action induit des effets collatéraux qui doivent être pris en compte. Cette capacité de jugement peut être développée en capitalisant les « ordres de grandeur » pour savoir à tout moment la pertinence des informations reçues, du moins la cohérence, car une simplification trop poussée peut devenir dangereuse. **Dans ce contexte, on veillera à ce que les informations transmises aux jeunes soient parfaitement égalitaires vis-à-vis des filles et des garçons car tous les métiers sont accessibles à tous et toutes.**

Proposition sur le développement de « L'orientation professionnelle »

Avec des actions telles que :

1. Promouvoir les voies de formation mal reconnues en France, mais très développées et efficaces dans d'autres pays voisins : Allemagne, Suisse, ... Deux voies sont importantes à valoriser, en les expliquant aux jeunes (et aux parents) et en développant les supports officiels pour les intégrer au mieux dans la vie professionnelle.

- **a) La voie dite « professionnelle »** est encore

très décriée en France et conduit à engager beaucoup de jeunes vers la filière dite « générale », notamment à la demande des parents (ou recommandations d'enseignants). Et pourtant, les voies professionnelles rapprochent rapidement les jeunes du concret où ils sont souvent plus heureux qu'à l'école. Ces formations sont adaptées à tous les niveaux visés et les écoles d'ingénieurs les développent actuellement avec détermination. 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** démarrent en France, et doivent être fortement valorisées et encouragées. Cette approche est très constructive car l'Education Nationale assure les acquis de base et généraux et l'employeur les compétences techniques de ses métiers. Les avantages sont nombreux :

- *Petit salaire mais fort utile pour beaucoup de jeunes.*
- *Apprentissage avec des tuteurs spécialistes et les machines opérationnelles.*
- *Embauche aisée par pré intégration dans l'entreprise.*

2. Intensifier énergiquement l'orientation professionnelle en développant une filière d'enseignants spécialisés, avec une formation adéquate pour connaître les secteurs professionnels et leurs principales caractéristiques. 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 des problèmes sociaux de quelques élèves. Cet objectif peut être atteint avec des actions telles que :

- a) **Structurer la filière avec une entité de pilotage** chargée de répartir la formation à l'orientation sur le collège et le lycée avec deux étapes clés : l'entrée en seconde générale ou en formation professionnelle puis l'entrée dans l'enseignement supérieur. Cette entité définira le programme et les temps alloués à cette formation.

- b) **Former les formateurs de la filière** 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.

3. 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 et la maturité 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 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.

4. Faire comprendre aux jeunes filles qu'elles sont tout à fait légitimes à s'engager dans des voies scientifiques et techniques, en faisant intervenir des actrices du monde professionnel scientifique et technique, de toute génération. Le mythe du plafond de verre doit être combattu et détruit.

Avec les objectifs tels que :

- ➔ **Mettre en place une expérimentation de cette filière « orientation professionnelle »** dans les trois ans, dans une dizaine de départements. Généraliser dans les 5 ans.
- ➔ **Corréler énergiquement les accès aux formations en fonction des débouchés probables**, cela

impose de rapides formations des enseignants pour répondre à cette nouvelle organisation.

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

Avec des actions telles que :

1. 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.

2. Faciliter la participation des ingénieurs aux associations professionnelles et à enseigner. 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 personnes impliquées dans la formation externe aura des retombées sur les transferts de compétences en interne aux entreprises de formation ou de recrutement...

Avec les objectifs tels que :

- Atteindre en 5 ans, 30 % des collèges 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

- La formation des jeunes est une clé, capitale, pour l'avenir de la France. De multiples personnes ont déjà rédigé des rapports de propositions d'améliorations ; le livre blanc élaboré par IESF n'est qu'un complément basé sur le point de vue et l'expérience de ses ingénieurs travaillant avec le monde de l'éducation. La priorité est maintenant d'appliquer ces recommandations ; cela impose des moyens financiers à obtenir pour les réaliser, notamment pour revaloriser les salaires des enseignants scientifiques afin développer leur recrutement.
- La culture n'est pas qu'artistique, elle doit inclure les sciences et techniques. Il faut l'expliquer et la diffuser à tous : jeunes, enseignants, parents.
- L'orientation professionnelle est un art difficile mais essentiel pour les jeunes, en amont, et pour l'industrie française, en aval. Cette action doit être menée par des spécialistes formés continuellement pour s'adapter à la situation. La promotion des métiers techniques et scientifiques aux jeunes filles doit être favorisée.
- Le dogme français de la voie générale doit être mis en cause pour développer l'alternance et les formations professionnelles.

2 - Environnement

Préambule

L'explosion démographique des cent dernières années a fait passer la population mondiale de 2 à 7,8 milliards, avec un accès à de nouveaux modes de vie qui, s'ils en améliorent la qualité, sont aussi plus énergivores. Les moyens mis en œuvre pour satisfaire ses besoins ont entraîné une dégradation de l'environnement traduite par la pollution de la planète, et une évolution du climat.

L'accord mondial sur le réchauffement climatique à la suite de la conférence de Paris 2015 (COP21) conduit à mettre un accent prépondérant sur la diminution des émissions de gaz à effet de serre par rapport à d'autres mesures ou politiques concernant l'environnement. L'accord prévoit de contenir d'ici 2100 le réchauffement climatique nettement en dessous de 2°C et de poursuivre l'action menée pour limiter l'élévation à 1,5°C. Si l'on se base sur les meilleures prévisions disponibles à partir des modèles climatiques faisant référence, il serait nécessaire d'arriver à la « neutralité carbone » dès 2050, et même probablement à mettre en œuvre des puits de carbone (reforestation, capture directe du CO₂ à partir de l'air) de manière à compenser les émissions irréductibles de CO₂ et des autres gaz à effet de serre (méthane, oxyde d'azote N₂O) liés notamment à l'agriculture. Pour ce faire, l'essentiel des usages des combustibles fossiles devrait être éliminé (une partie pouvant néanmoins être conservée en relation avec les technologies de captage et stockage du CO₂).

Ceci n'a de sens qu'au niveau mondial et doit impliquer au premier chef les plus gros pollueurs (en termes d'émissions de CO₂), tels que la Chine (28% des émissions), les Etats-Unis (15% des émissions), plutôt que l'Europe dont les émissions globales baissent. Au passage, la France

avec 0,9% des émissions mondiales est parmi les meilleurs des pays de l'OCDE, et avec 4,5tCO₂/habitant/an est au niveau de l'émission moyenne de CO₂ des 7,8 milliards d'habitants de la planète, ceci grâce à son électricité presque totalement décarbonée (mais aussi malheureusement du fait de la désindustrialisation), sans parler de l'accroissement notable depuis un siècle de sa surface forestière.

Nous examinons brièvement dans une première partie les problèmes généraux liés à la dégradation de l'environnement, avant de nous intéresser dans une deuxième partie aux principaux domaines concernés par la décarbonation de l'économie et de faire au passage nos recommandations.

Contexte

Changement climatique et environnement

Il faut examiner si l'objectif de réduction rapide des émissions de CO₂ n'est pas contradictoire avec le traitement des problèmes actuels d'environnement, ou si le traitement de ces problèmes pourrait rendre difficile la mise en œuvre des technologies requises pour la transition énergétique.

Le problème de 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 ne doit pas s'opposer aux 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 « vides », comme l'Australie ou la Russie dans sa partie septentrionale, partout ailleurs règne une compétition plus ou moins sévère pour l'usage du sol : agriculture, élevage, forêts, bâtiments, voies de communication, implantations industrielles et commerciales. Cette compétition ne doit pas être exacerbée par le développement incontrôlé de certaines technologies (par exemple usages énergétiques de la biomasse).

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). La mise en place des technologies associées à la transition énergétique ne devrait pas 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 CO₂ 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 (exemple : batteries, 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 et donc de l'acier). Dans ce domaine, on ne doit pas se reposer entièrement sur le civisme des citoyens, ce qui implique de faire des choix « 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, CO₂ compris, les ingénieurs et les scientifiques sont au cœur des solutions. En effet, ils définissent les modes de production d'énergie, les méthodes de conception et les 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 infiniment plus performante en termes de levier d'efficacité et motivation par rapport à la voie à caractère « punitif » de limitation de la consommation**, même si des efforts importants sont nécessaires en termes de sobriété (comportement des citoyens) et d'efficacité énergétique (choix des technologies). 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, processus de production, science des matériaux, gestion globale par des chaînes « capteurs-données et programmes informatiques-IA-actionneurs ») dans l'écologie du XXI^e siècle.

Proposition par secteur

1. L'énergie primaire

La consommation d'énergie primaire devrait augmenter de 50% entre 2018 et 2050 ! Les pays émergents augmentant leur consommation de 70% (forte croissance économique et population), l'OCDE augmentant de 15% (efficacité énergétique et faible croissance) (source AIE).

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 CO₂ ? Ce sont d'une part les énergies renouvelables (ENR) hydraulique, éolienne, photovoltaïque, géothermique, la biomasse, d'autre part l'énergie nucléaire (non renouvelable avec les technologies actuelles). Parmi les ENR, les énergies éolienne et photovoltaïque présentent le plus grand potentiel de développement. **À l'exception de la biomasse (et accessoirement la géothermie), toutes ces énergies conduisent 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 qui ne cesse de se sévérer. Par ailleurs, une « taxonomie » des énergies propres est en cours de discussion. Si les énergies éoliennes et photovoltaïques en font partie, ce n'est pas assuré, à ce jour, pour l'énergie nucléaire.

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. Les énergies non pilotables ne peuvent pas, à elles seules, remplacer les unités de production charbon-hydrocarbures (gaz naturel), et dans le cas de la France le nucléaire. Elles ont besoin soit d'un « back-up » pilotable de puissance disponible adéquate, soit d'un stockage suffisant. Aujourd'hui, le back-up est essentiellement par hydrocarbures (principalement gaz naturel) ou

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.

• a) 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 de ce que la production des éoliennes a lieu à l'étranger. Il faut noter que la densité de puissance récupérable est limitée (quelques MW/km²) 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 pas comme une priorité aujourd'hui en France.

• b) 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 dans le domaine maritime français est élevé, en posé ou 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.

Recommandation

Après la mise en œuvre des premiers champs d'éoliennes en mer, faire un retour d'expérience pour juger des bénéfices versus le développement des autres énergies décarbonées.

• c) Energie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque a une productivité élevée en France (20-30MW/km²). 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 en pratique de 100%. Les intermittences journalières et intra journalières 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 ressort du stockage long terme de l'électricité, notamment **via le vecteur hydrogène**, pour lequel des implantations locales sont envisageables. Pour les centrales photovoltaïques de puissance importante (100MW 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.

• d) Energie nucléaire

L'énergie nucléaire basée sur la fission représente aujourd'hui l'épine dorsale 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, même si la question des déchets de forte activité à vie longue n'est pas encore résolue. 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 premier plan portée par l'ASN. 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 fort 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).

De manière plus précise, 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 CO₂ (contrairement à des pays comme l'Allemagne, dont la dépendance aux fossiles va se maintenir via l'importation de gaz russe (gazoduc North Stream 2).

Une généralisation de l'énergie nucléaire sous la forme actuelle -probable au niveau mondial- débouche à moyen terme sur une pénurie d'uranium (bon marché) et la difficulté à démarrer une filière thorium (réacteurs à sels fondus). 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 est au meilleur niveau dans ce domaine depuis 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, utilisation des stocks considérables d'uranium appauvri, ce qui assurerait une production à long terme, 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 deutérium-tritium sur la plateforme ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), pour un éventuel développement industriel avant la fin du siècle !

• e) 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 CO₂ « licites », car la biomasse a été formée à partir de CO₂ 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/km² (100 fois moins que le photovoltaïque). Ensuite, le rendement de sa transformation en produit utilisable est faible, seul au mieux 50% du carbone se retrouve sous forme de produit énergétique final prêt à l'usage, le reste partant sous forme de CO₂ (la combustion directe du bois faisant exception).

Une amélioration des rendements est possible par apport d'hydrogène (vert) — cela fait partie du Plan Hydrogène — 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, biocarburants, bois d'œuvre, bois comprimé..., sans compter la concurrence pour l'utilisation des terres (alimentation, développement de la biodiversité...).

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 CO₂. 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 CO₂. **Pour l'acier, il est possible de passer par la voie hydrogène** et 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 au béton et d'utiliser d'autres matériaux (notamment le bois)

3. Le transport

• a) Transport terrestre

La voiture est le mode de transport le plus mis en cause, car de très loin le plus émetteur de gaz à effet de serre par passager/km après l'avion. Il existe désormais une solution : 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 400km) compatible avec une 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) ne semble pas devoir s'imposer dans l'immédiat, en dépit d'une maturité technologique avancée, hors flottes particulières (taxis). Une alternative

plus prospective potentielle serait les routes électriques, avec ou sans caténaires.

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 gigafactories 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 ne convient que pour des circulations locales ou moyennes distances. Pour les longues distances, plusieurs schémas sont en compétition : pile à combustible (à hydrogène) + batterie, batterie de capacité limitée, et 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 hydrogène, pour laquelle il existe un champion français (Alstom).**

• b) Transport maritime

Le transport maritime est un pilier de l'économie mondiale (plus de 90% des marchandises transportées), avec une flotte de plus de soixante mille navires. Le secteur anticipe une croissance de 100 à 250% d'ici 2050. L'Or-

ganisation 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 notamment dans les porte-conteneurs et les bateaux de croisière, et pourrait être substitué à plus long terme par du biogaz, avec intervention d'hydrogène vert pour la synthèse du biogaz. Parmi les autres carburants envisagés, on peut citer : le méthanol (4 porte-conteneurs en commande) — dont la production pourrait évoluer vers le biométhanol —, et 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 CO₂. **Dans ces 2 derniers cas, l'intervention d'hydrogène vert est également impliquée.** 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, 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^e rang mondial), positionner la France comme fournisseur de solutions pour la transition énergétique maritime.

• c) Transport aérien

Si le Graal proposé, notamment en France, est **l'avion à hydrogène (liquide) et pile à combustible ou réacteur**, le développement, dans le cadre du Plan Hydrogène, des technologies requises va prendre beaucoup de temps. Des travaux préliminaires existent pour l'avion élec-

trique à batterie, sur des distances moyennes et en supposant des progrès importants des batteries.

Dans l'immédiat, et le 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 CO₂ (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.

4. Le bâtiment

Principal émetteur de CO₂ 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 en 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 de ciment et d'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 de l'énergie de chauffage.

Sans vouloir faire à ce stade de recommandations, nous proposons quelques 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.

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

5. Agriculture et forêt

Outre le problème déjà évoqué de l'utilisation des sols, le changement climatique ne va pas s'arrêter avec la décarbonation, en supposant qu'elle soit atteinte en 2050. 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 seront d'un grand secours dans ce domaine a priori sans interdit. Ainsi les OGM après avoir été vilipendées, sont en cours de réhabilitation par les académies comme la « National Academy of Science » ou l'Académie d'Agriculture. 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 si possible que possible, dans une perspective long terme.

L'agriculture doit faire face au maximum de difficultés : contraintes climatiques, apparition de nouvelles maladies, et de ravageurs venus d'ail-

leurs, sévères restrictions quant aux traitements possibles, réduction des rendements (culture bio). C'est dans le domaine de l'agriculture que les apports de la biotechnologie devraient être massivement mis en œuvre, en surmontant les interdictions résultant parfois d'une application déviante du principe de précaution. Une utilisation intelligente de ce principe 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.

Conclusion

Une conclusion optimiste. La transition énergétique implique l'introduction de nouvelles technologies non seulement dans le domaine de la production d'énergie, mais aussi dans celui des produits et services proposés aux consommateurs. A ce titre, 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 et devraient conduire à des investissements certes très importants mais rentables. 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.

3- L'ingénieur dans la cité

Préambule

La technologie est porteuse de progrès. 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 les médias conduisant à une assez large défiance dans la population vis-à-vis du progrès technologique². Cette défiance trouve en partie son origine dans la faiblesse de la formation scientifique dans le parcours scolaire mais également beaucoup dans l'audience des « infox » véhiculées par les réseaux sociaux³. Le groupe de travail Ingénieurs et société note que la création d'un « réseau d'influenceurs de culture scientifique » mobilisable pour combattre les « infox » de toute nature serait très utile.

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.
- Par leurs valeurs et leur éthique, assurer que le progrès technologique soit compris et accepté, bénéfique pour le plus grand nombre, et socialement équitable.

Il est proposé quelques recommandations structurées autour de cinq objectifs de développement durable⁴.

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.

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 grandeur⁵. 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 féminisation⁶. Et elles représentent 17 % des comex, pour un tiers de

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 - {Sciences3} (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.vie-publique.fr/sites/default/files/rapport/pdf/276679.pdf>

6· https://www.haut-conseil-egalite.gouv.fr/IMG/pdf/synthese_rapport-parite-gouvernance_17122019.pdf

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 concentré⁷. 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 570 députés, alors qu'on recense 408 députés ayant un diplôme de l'enseignement supérieur⁸. 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 intéressés⁹. Au niveau local, relativement plus accessible aux salariés, une enquête IESF récente évaluait à environ 400 ingénieurs élus (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 obsolète¹⁰ ou ne répond pas à des attentes relativement immédiates de qualité de vie améliorée.

Bilan

Les propositions suivantes ont pour ambition de 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 prioritaires. Ils s'inscrivent dans le thème de « l'ingénieur dans la cité » en apportant un regard différent des autres thèmes du Livre Blanc.

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

8 · https://www.lemonde.fr/les-decodeurs/article/2017/06/26/les-diplomes-de-grandes-ecoles-surrepresentes-a-l-assemblee-nationale_5151066_4355770.html

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

10 · 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/>

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 logistiques et 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. L'annonce de la création d'une agence de l'Innovation dans les domaines de la santé (AIS) répond en partie à la 2ème mission identifiée ci-dessus.

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'accession 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 péda-

gogique et administratif des Ecoles d'Ingénieurs, appliquer les principes de la loi pour extension du périmètre de la loi Coppé Zimmermann aux conseils d'administration 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 ingénieures ou scientifiques, en utilisant mieux les médias et les réseaux sociaux, la semaine de l'industrie, les colloques,

Sur le travail décent (confort et qualité de vie) et la 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 ¹¹. Ces établissements devront impérativement apprendre à maîtriser et intégrer les outils de formation à distance.

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

11· Voir l'étude Rééquilibrer le développement de nos territoires / Institut Montaigne Mars 2021, Paul Hermelin

→ **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.

Sur la paix, la justice et les institutions efficaces (par une nouvelle gouvernance)

→ **7. Créer un Haut Conseil de l'Éthique**, composé de représentants d'IESF, des entreprises, d'ONG, du monde universitaire et de la société civile capable de construire un référentiel de l'éthique et de disposer d'outils d'aide à la décision en matière de choix technologiques.

→ **8. Concevoir de nouveaux modes de consultation** permettant d'associer localement les citoyens à la prise de décision. Par exemple en créant des comités d'éthique « de proximité » consultés pour l'adoption de technologies critiques sur le territoire. Pour une compréhension partagée des enjeux et conditions de mise en œuvre et éviter une utilisation non raisonnée d'un « principe de précaution » par manque de dialogue.

Conclusion

Deux tendances se sont dégagées dans notre réflexion :

- Une tendance pragmatique centrée sur l'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 utilisée comme socle, vis-à-vis de candidats à l'élection présidentielle, pour une implication plus forte des ingénieurs dans la vie publique, à tous les niveaux.
- L'autre tendance s'intéresse aux problèmes de société actuels. Il y a les aménagements à faire face aux dérives telles que principe de précaution, écologisme, infox voire complotisme pour le côté défensif et l'approche constructive sur les questions de gouvernance, éthique, qualité du travail, équilibres territoriaux.

NB

L'international qu'il soit européen ou mondial n'a pas été abordé.

Les recommandations plus prioritaires sont :

- Les propositions numéro 5 et 6 sur l'engagement citoyen
- La proposition numéro 7 concernant la création d'un Haut Comité d'éthique
- La proposition numéro 4 sur l'aménagement des territoires

4 - Compétitivité des entreprises

Une révolution à saisir pour remettre la France dans la course

Constat

Une adaptation difficile aux nouveaux défis du XXI^e siècle

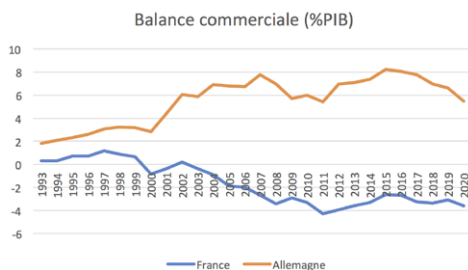
En à peine une génération, nos entreprises se sont vues confrontées à des défis considérables :

- Economiques avec la mondialisation des échanges, la montée de la Chine, l'explosion de l'endettement, la stagnation séculaire...
- Sociaux avec le triplement et le vieillissement des populations, les migrations, la place du travail, l'évolution des valeurs...
- Environnementaux avec le réchauffement climatique, la dégradation des écosystèmes...

Ces défis modifient en profondeur les motivations et les comportements, notamment chez les nouvelles générations mais aussi chez les plus anciens.

L'échelle de l'entreprise industrielle est devenue le monde. L'essor du commerce international, facilité par l'utilisation de containers standardisés, confronte l'entreprise avec des concurrents à l'autre bout de la planète. La compétition pour l'accès aux facteurs de production devient mondiale, qu'il s'agisse du capital, des matières premières et surtout des talents.

Force est de constater que dans ce contexte, la France peine plus que d'autres à s'adapter ainsi que l'on peut en juger au travers de l'évolution de notre balance commerciale, du chômage des jeunes, des prélèvements obligatoires ou de la dette publique.



Source des données: comptes nationaux. countryeconomy.com

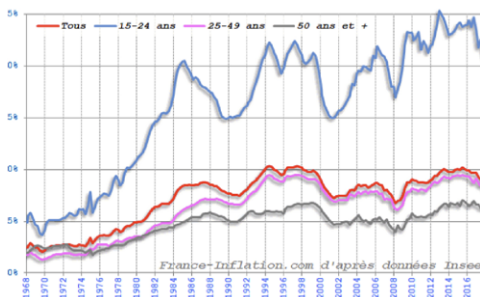
Balance commerciale :

Une divergence d'évolution des balances commerciales depuis 20 ans entre la France et l'Allemagne qui traduit notre forte désindustrialisation.

- 10% du PIB pour l'industrie manufacturière en France contre 20,3% en Allemagne et 8,7% en UK.

A noter en 2020 (année covid) un déficit commercial de -3,6% en France contre un excédent de 5,49% en Allemagne

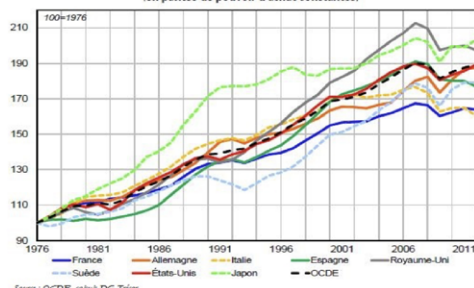
- L'industrie génère 95% des exportations



Chômage :

Un niveau de chômage soutenu mais particulièrement marqué pour les plus jeunes traduisant l'inadaptation de notre système de formation aux besoins de l'économie.

Évolution du PIB par habitant dans les principales économies de l'OCDE
(en parités de pouvoir d'achat constantes)



PIB :

Un décrochage de plus en plus important du PIB/habitant en France par rapport à la moyenne des pays de l'OCDE depuis 30 ans.

Si en 2012 l'écart de PIB/habitant était de 7% entre l'Allemagne et la France (34,13K€/31,8K€), il est passé à 18% en 2020 (40,12K€ vs 34K€)

La création de richesse par les acteurs économiques que l'on peut mesurer avec le PIB par habitant est devenue en France insuffisante pour financer les dépenses publiques d'où, non seulement un taux de prélèvement obligatoire record (44,5% du PIB) mais des déficits chroniques financés par la dette. La dette par habitant a augmenté de +50% en France entre 2010 et 2020 (de 26,2k€/h à 39,4€/h) contre +6% en Allemagne (de 26,4K€/h à 27,9K€/h)

Les causes principales des délocalisations en France n'ont pas disparu.

L'augmentation du coût des transports, le besoin d'agilité et de réactivité des entreprises ainsi que le respect de normes environnementales et sociales sont des paramètres qui pèsent de plus en plus dans les décisions de localisation en faveur de la proximité.

Toutefois, sans parler de la surcharge fiscale (CVAE) supportée par les entreprises Françaises, l'inégalité de la concurrence par les coûts salariaux de la main d'œuvre reste un élément de poids dans les décisions de localisation. Pour un industriel Français dont 20% du prix de revient seraient des couts salariaux cela représente 10 pts d'écart de prix de revient versus une

production en Pologne et 15pts versus une production en Chine.

- France : Salaire moyen :39 000€ pour 1554h/an de travail
- Pologne : Salaire moyen :23 000€ pour 1939h/an de travail (50% du cout horaire Français)
- Chine : Salaire moyen : 10 500€ pour 2000h/an de travail (25% du cout horaire Français)

Il est donc à craindre que sans des ruptures majeures, les volontés de réindustrialisation en France n'aurent qu'un impact marginal.

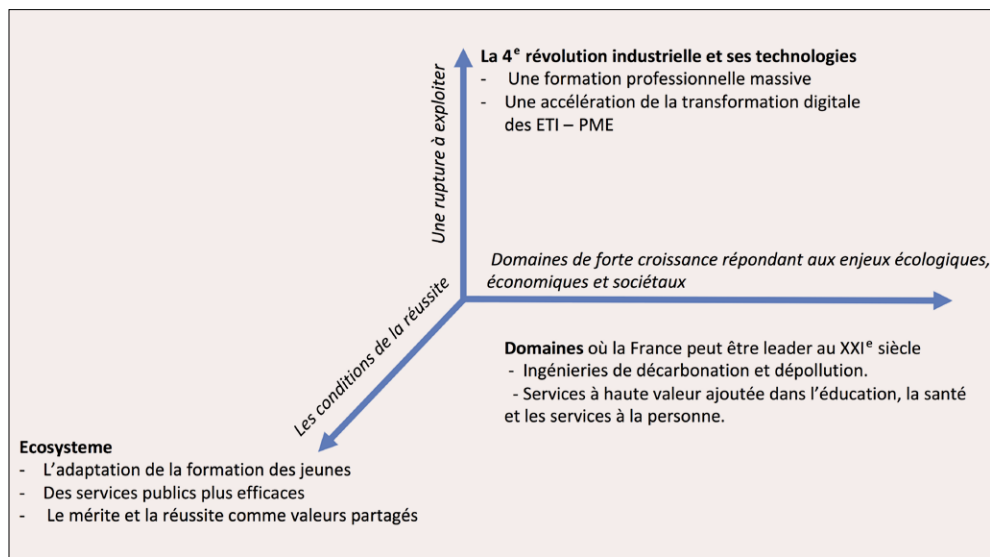
Une administration publique qui, pour le Premier Ministre, doit améliorer son efficacité opérationnelle...

« Je le sais bien, dans un pays qui excelle dans le débat d'idées, dans la conjugaison des grands principes, dont notre Assemblée a souvent été la grande scène, parler d'exécution, de mise en œuvre, d'efficacité opérationnelle, peut sembler trivial. Toutes ces notions sont depuis longtemps reléguées au rang de choses subalternes. C'est une affaire entendue : l'intendance suivra ! Mesdames et Messieurs les députés, depuis longtemps, vous le savez : l'intendance ne suit plus. Les lois que vous votez, les décrets que le gouvernement promulgue, se perdent dans des méandres sinueux et opaques au point de n'impacter que de manière lointaine, incertaine et souvent incomprise la vie quotidienne de nos concitoyens » (Jean Castex – Premier Ministre 15/07/2020)

Des travaux du rapport de Christian Blanc de 2003 « Pour un écosystème de croissance », de Jean Louis Bleffa en 2005 « Pour une nouvelle politique industrielle », à ceux de la commission Attali en passant par le rapport Louis Gallois, tous ces rapports tendent vers les mêmes préconisations pour redynamiser le tissu industriel et renforcer la compétitivité de la France en particulier dans les domaines de l'efficacité de la recherche et de l'innovation. Nous n'y revenons donc pas dans nos propositions. Si des initiatives ont été prises, il apparait clairement que notre économie est encore loin d'avoir rattrapé ses retards.

Les propositions

Nos propositions s'articulent autour de trois axes.



Faire de la France un champion de la 4^e révolution industrielle : 1

La 4^e révolution industrielle, par la productivité considérable qu'elle génère, ouvre la voie d'une réindustrialisation permettant de rééquilibrer notre balance commerciale mais également d'une réduction significative des coûts de nos services publics. Faire de la France un champion de cette révolution doit être la priorité des prochaines années.

Cibler les domaines à forte croissance de l'environnement et des solutions numériques : 2

En s'appuyant sur les nouvelles technologies, la France a les atouts pour être un leader mondial dans les Ingénieries de la transition énergétique mais aussi dans les services « sociaux » high tech de l'éducation, de la santé et des services à domicile qui offriront des débouchés de qualité aux jeunes qui seront formés à ces technologies.

Les conditions de la réussite : un jeu collectif de l'équipe France : 3

En s'inspirant des meilleures pratiques de nos voisins européens tant en termes de formation professionnelle pour réduire le chômage des jeunes en les embarquant dans la 4^e révolution industrielle, qu'en terme de coûts des services publics ou de valorisation de la réussite.

1. Faire de la France un champion de la 4^e révolution industrielle

Le monde est rentré depuis quelques décennies dans une révolution majeure. Klaus Schwab, président du forum économique mondial, la qualifie de « Quatrième révolution industrielle. » Elle se caractérise par la convergence d'une multitude de technologies (voir ci-dessous). La plupart d'entre-elles ont un impact majeur sur la manière de concevoir et fabriquer des biens et des services et de les commercialiser au travers de « solutions ». Leurs mises en œuvre ouvrent des domaines de croissance pour les décennies à venir ainsi que de nouvelles approches dans la localisation des activités.

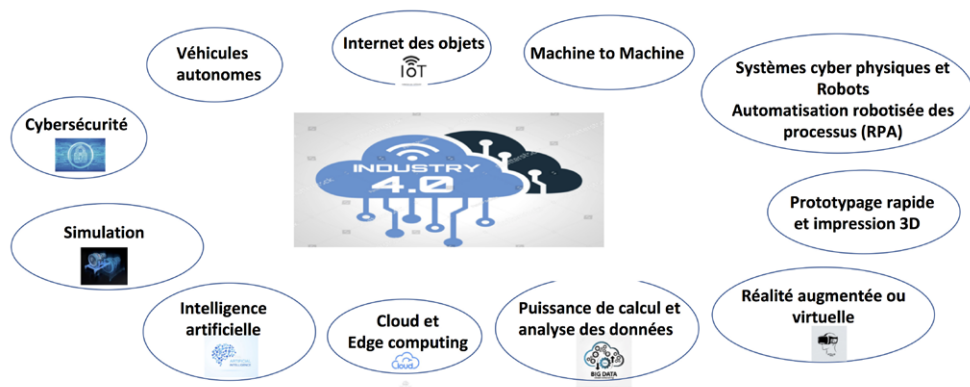
objets), le big data et l'IA (Intelligence artificielle). La révolution de l'industrie 4.0 est donc une réalité, mais il reste encore du chemin à parcourir notamment pour les ETI confrontées à la compétition internationale, qui peuvent trouver dans le 4.0 les moyens de relever le défi de l'effet de taille.

→ Propositions n°1 :

- Développement massif de la formation initiale et continue aux technologies 4.0. Du secondaire au doctorat !
- Renforcer les liens PME-ETI et de leurs fédérations professionnelles avec les Ecoles d'Ingénieurs pour la mise à niveau de leurs tech-

La révolution 4.0: un impact majeur sur toute l'économie

La révolution 4.0 se caractérise par la convergence de multiples technologies ayant un impact majeur sur la manière de concevoir, fabriquer des biens et des services.



En milieu industriel, on parle de l'industrie 4.0, ces technologies améliorent considérablement la productivité, la qualité, la fiabilité, les délais et l'individualisation des produits

Ces technologies sont toutefois moins utilisées quand la taille des entreprises diminue. Si 40% des grandes entreprises utilisent ces technologies de manière fréquente ou intense, ce chiffre tombe à 22% pour les entreprises de taille intermédiaire ou moyenne et à 14% pour les petites entreprises. La pénétration dépend aussi du secteur : l'automobile utilise par exemple couramment la robotique, la simulation et le prototypage rapide quand les télécoms privilégient l'IoT (Internet des

niciers et cadres et les aider dans la mise en œuvre des technologies 4.0.

- Favoriser l'investissement 4.0 avec des dispositifs d'amortissement accéléré.

2. Cibler les domaines à forte croissance en relevant les grands défis du siècle

Défi écologique : s'appuyant sur ces nouvelles technologies, la France dispose d'entreprises

leaders mondiaux en technologies et ingénieries pour décarboner (Nucléaire, hydrogène, captation CO₂...) et dépolluer la planète (Traitement des déchets, traitement des eaux, systèmes intelligents de décarbonation industrielle...)

Défi sociétal : s'appuyant sur ces nouvelles technologies, la France peut développer des services à hautes valeurs ajoutées, permettant de faire face aux besoins liés au vieillissement de sa population, aux besoins de formation massive et individualisée tout au long de la vie mais également à l'intégration rapide des migrants créant ainsi les conditions d'une meilleure sociabilisation et réduisant la fracture entre métropoles et territoires.

Défi économique : la vision pour la France d'être le champion des technologies de la décarbonation et de la dépollution de la planète et des solutions numériques dans les domaines de la formation, de la santé et des services à la personne conduira à : Une forte contribution au rééquilibrage de la balance commerciale

Une forte création d'emplois nouveaux « locaux » et high tech permettant une baisse des coûts sociaux qui asphyxient notre économie.

→ Proposition n°2 :

Répondre au défi écologique

La France a les émissions de CO₂ par habitant qui sont parmi les plus faibles de l'OCDE. Cela résulte en particulier de la maîtrise par ses entreprises, allant de leaders mondiaux à de nombreuses start up, des technologies nécessaires pour décarboner et dépolluer la planète.

Par exemple : Nucléaire, gestion des déchets, économie circulaire, gestion de l'eau, agriculture, hydrogène....

Utiliser notre position de leader mondial du domaine de la décarbonation et notre capacité de politique étrangère pour mener une **politique forte d'exportation de nos technologies et ingénieries pour accélérer la décarbonation et dépollution de la planète.**

→ Proposition n°3 :

Répondre au défi économique et sociétal

Les crises récentes ont mis en lumière la problématique de l'aménagement du territoire au

travers des difficultés à maintenir des services publics dans les territoires. Les technologies issues de la digitalisation permettent de mettre à la disposition des usagers où qu'ils résident, 24 h/24 et 7j/7, des services de qualité, voir plus performants que ceux qu'ils ont pu avoir dans le passé, tout en offrant des postes de travail plus qualifiés et plus gratifiant aux employés des services publics.

Exemples :

- Services d'éducation : MOOC ... (Massive Open Online Course).

- Services de santé : Télémédecine

- Services de soins et de services à la personne : Robots de compagnie, surveillance à la voix, livraisons par drones, ...

Générer la demande par un crédit d'impôt sur les dépenses et équipements d'éducation, de santé et de services à la personne afin d'encourager le développement d'entreprises fournissant ces services d'éducation, de santé et à la personne basés sur des « solutions » numériques. Ces entreprises s'internationaliseront d'autant mieux qu'elles auront démontré leurs performances en France.

3. Les conditions de la réussite, jouer collectif

Comme rappelé dans les constats, nombre de réformes suggérées par les multiples rapports n'ont pas ou partiellement abouties malgré la mise en place de moyens très significatifs. Nous pensons qu'une des raisons de ce manque de résultat est l'absence d'un jeu collectif et d'un manque de continuité dans les stratégies de changement.

Aujourd'hui, nous sommes face à quelque chose qui est plus qu'un changement mais une révolution. Cette 4^e révolution par son ampleur et ses impacts s'imposera de façon irréversible à tous les acteurs de la planète. Si nous ne voulons pas subir une nouvelle fois le changement, nous devons utiliser les opportunités qu'offrent cette 4^e révolution en créant les conditions qui permettent d'embarquer chacun dans ce qui doit être le jeu collectif de l'équipe France.

Cela suppose plus particulièrement :

- De s'inspirer avec humilité des systèmes éducatifs qui ont démontrés leur efficacité chez nos voisins
- D'améliorer l'efficacité des services publics,
- De valoriser les mérites et le succès de nos talents et d'en faire des sources d'inspiration pour les jeunes.

a) Le chômage des jeunes Français : transformer un gâchis humain et économique en une source d'épanouissement de chacun et de croissance des entreprises et du PIB

Selon Eurostat, le chômage des jeunes Français de 15 à 24 ans atteignait en décembre 2020 : **21,8 %** menaçant notre cohésion sociale et notre capacité de redressement économique.

En Allemagne ce taux était de **6,1 %** et celui des jeunes suisses de **8 %**.

Dans le même temps, Pôle emploi annonçait en juin 2021 près d'1 millions d'offres d'emplois disponibles. Par ailleurs, on sait qu'une offre accrue de compétences libère la croissance et donc génère une demande d'emplois.

La solution existe chez nos proches voisins, encore faut-il enfin s'attaquer aux rigidités de notre système éducatif et revaloriser l'apprentissage d'un métier.

A titre de benchmark, une étude réalisée en décembre 2018 par l'Ambassade de France à Berne sur le modèle d'enseignement Suisse montre :

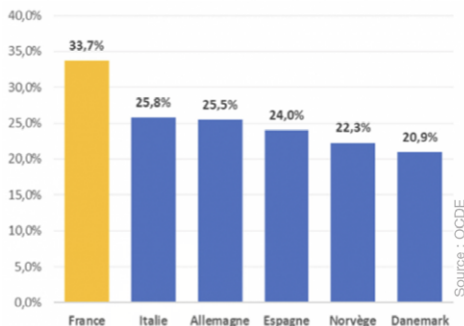
- Un taux de chômage des moins de 24 ans de **8 %** !
- Une formation professionnelle de haute qualité dans laquelle l'apprentissage joue un rôle majeur et qui est la formation majoritaire des jeunes Suisses. (40 % de bacheliers en Suisse dans une génération contre 79 % en France)
- Des formations ajustées régulièrement aux besoins de l'économie.
- Un coût (un bénéfice) attractif pour l'entreprise

→ **Proposition n°4 :**

- Repenser, profondément l'organisation de la formation dans le secondaire en revalorisant les formations professionnelles versus un baccalauréat qui n'est plus un passeport pour l'emploi.
- Faire du pourcentage d'apprentis le critère principal de mesure de RSE des entreprises afin d'y engager plus encore les grandes entreprises
- Valoriser l'apprentissage d'un métier et l'acquisition de compétences au long de la vie, l'ascenseur social ne devant pas s'arrêter en fin des études initiales.

b) Des services publics plus efficaces pour réduire le poids des taxes, cotisations et impôts

Sans remettre en cause l'utilité des services publics, il est légitime de s'interroger sur leur efficacité cout/bénéfice. En particulier sur la balance entre couts opérationnels des services à destination du public et la perception qu'en ont les usagers. Dans de nombreux domaines nous dépensons plus que nos voisins alors que les usagers sont insatisfaits. La comparaison avec nos voisins pose en effet questions.



Exemple : % des postes administratifs dans les hôpitaux en France et chez ses voisins

Un usage intensif des nouvelles technologies permettrait d'assumer pleinement et probablement mieux les missions de services publics tout en dégageant des économies substantielles pour le budget de l'état contribuant à la réduction des déficits.

→ **Proposition n°5 :**

- Renforcer la formation à l'organisation, au digital et au management des hommes dans les écoles formant les fonctionnaires et dans les programmes de formation des fonctionnaires en exercice.
- Afin de faciliter l'absorption par le secteur privé des sureffectifs dégagés par les nouvelles technologies mais aussi pour développer une culture croisée :
 - Réduire le nombre de postes en statuts de fonctionnaires (en particulier pour les métiers existants dans le privé).
 - Faciliter le détachement public - privé.
 - Aligner les statuts de retraite entre public et privé.

c.) Remettre le mérite et la réussite comme des valeurs reconnues par tous pour retenir nos talents et susciter des vocations scientifiques

Nombre de nos talents quittent la France. Exemples : Yann LeCun, le chef Scientist en Intelligence artificielle de Facebook ; Emmanuelle Charpentier, travaille en Allemagne et y a obtenu son prix Nobel de chimie ; Stephane Bancel, ingénieur de l'Ecole Centrale Paris, est parti à Boston pour y développer Moderna une des plus formidables entreprises de santé de ce début du siècle. Ce sont entre autres, les modèles dont les jeunes Français ont besoin pour aller vers les nouvelles technologies.

→ **Propositions n°6 :**

- Reconnaître les champions de France SA, auxquels les jeunes peuvent s'identifier et prendre modèle. La France n'en manque pas mais notre culture « égalitariste » peine à en faire des exemples positifs et de fierté nationale.
- Eliminer les « plafonds de verre » : les « privilèges » à vie de certains diplômes ou concours indépendamment de la performance décourage des talents plus entrepreneurs qui n'ont d'autres solutions que de s'expatrier.

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 abordés 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'ingénieurs, 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^e 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 Ingénieuse , 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 insuffi-
sante 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 pre-
nantes :

- 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 accompagne de
façon plus individualisée.
- Diplômés et entreprises ont un rôle important
à jouer, en s'engageant davantage financiè-
rement 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 étu-
diants, doivent encore renforcer leur enga-
gement 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, conséquences 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 évènements 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 natio-
nale mais aussi européenne, notamment en
matière industrielle, aucun pays n'ayant la capa-
cité à soutenir seul avec son marché domestique
l'étendue des savoir-faire et des infrastructures
technologiques et industrielles nécessaires. Les
ingénieurs seront indispensables pour réindus-
trialiser ou relocaliser certains pans de l'indus-
trie. 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 émer-
gentes, 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 mani-

festations 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 scientifiques

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'en-

treprise, ses processus 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, évolution de l'organisation des entreprises et du fonctionnement de l'économie, transformation numérique, réindustrialisation nationale* ... 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*, 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 orphelines, 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).

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.

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, SNIPE, SOCO-TEC... sont accrédités par le COFRAC (Comité Français d'Accréditation). La 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 crée l'organisme France Compétence, qui centralise désormais les missions du système de la formation professionnelle et de l'apprentissage en France.

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 scientifiques, au regard des enjeux précédemment développés. Elles reprennent également certaines des propositions figurant 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, 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, et en lien direct 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 à 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) à 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 financier, 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 fonda-

teur du laboratoire Moderna, ou du plus récent spationaute français, Thomas Pesquet, diplômé d'ISAE/SUPAÉRO) 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^{ème} siècle, préparant mieux aux méthodes de fonctionnement en entreprise.

La formation 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'agit 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 inter-disciplinaire 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'équivalent 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.



Directeur de publication : Marc RUMEAU, Président IESF

Éditeur : Hiceo – 4 impasse du Faubourg – 38690 Le Grand-Lemps

Impression : Imprimerie du Pont de Claix

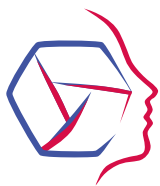
Coordonnées : IESF - 7 Rue Lamennais - 75008 Paris - Tél. : 01 44 13 66 88



Remerciements

Je remercie ici chaleureusement Philippe Deltombes, Gérard Laruelle, Edouard Freund, François Lureau, Charles Dehelly, Yves Poilane, Jacques Bongrand, les comités sectoriels d'IESF et les équipes d'hommes et de femmes d'IESF, pour ce travail collectif, qualitatif et contributif.

Marc Rumeau



IESF

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ET
SCIENTIFIQUES DE FRANCE

Comme ils le font depuis plus de deux siècles, les Ingénieurs et scientifiques de France se mobilisent pour faire face aux défis du XXI^e siècle. Ils y répondent dans ce Livre Blanc 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 jeunes filles vers les métiers d'ingénieur et de la science, pour remettre l'émulation en valeur centrale, placer les sciences et technologies au sein de la culture générale, revaloriser les métiers d'enseignants...

...pour se saisir de la 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 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 !



Scannez pour être dirigé
vers le site internet d'IESF

Prix de vente public 15 euros TTC



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



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/>