

Les ingénieurs du XX^e siècle

CentraleSupélec, 9 novembre 2017

Introduction

Cher Donateurs, Chers Directeurs, Chers Collègues, Chers Camarades, Chers Amis, Mesdames et Messieurs.

En ce début de XX^e siècle l'Ecole Centrale Paris fusionne avec l'Ecole Supérieure d'Electricité pour former le mot valise CentraleSupélec par combinaison de leurs surnoms respectifs. Et précisément Centrale fait ses valises et quitte le campus de Chatenay où elle avait passé presque 50 années pour rejoindre Supélec sur le plateau et devenir une des composantes de l'Université Paris-Saclay. L'Ecole prend possession de nouveaux locaux désignés sous des noms prestigieux de grands bâtisseurs Gustave Eiffel et Francis Bouygues. **Vous en avez été les mécènes et les généreux donateurs et au nom de tous les collègues, je vous en remercie vivement.** Eiffel était un ingénieur emblématique, dont j'ai systématiquement utilisé le nom pour expliquer ce qu'était l'Ecole Centrale. « *You know the Eiffel Tower, well it so happens that this beautiful tower was built in 1889 by Eiffel an alumnus of our engineering school* ». Mais Eiffel, c'est moins connu, était aussi un brillant chercheur dans mon domaine d'activité, celui de l'aéronautique. A l'âge de 70 ans, quand beaucoup profitent de leur retraite, Eiffel entame une nouvelle carrière et développe de remarquables études d'aérodynamique expérimentale et notamment des travaux fondamentaux sur la résistance à l'avancement des avions. Cela lui valut en 1913, la seconde médaille Langley décernée par le Smithsonian Institute.

Pour revenir au transfert entre Châtenay et Gif, le court terme c'est évidemment de réussir à garder la culture centralienne et profiter d'une nouvelle dynamique pour se positionner dans le groupe de tête des formations et attirer les meilleurs. Car le secret de la réussite c'est d'abord celui du recrutement qui passe par la notoriété nationale, toujours très importante, et la visibilité internationale, désormais essentielle, qui dépend principalement de la qualité de la recherche.

Pour les laboratoires et pour les enseignants-chercheurs, les chercheurs, les doctorants, les ingénieurs de recherche les techniciens, les administratifs, il s'agit de retrouver leurs marques et ce qui faisait de leurs laboratoires des lieux de vie où il faisait bon venir le matin et repartir tard le soir. Pour le moment, je dirai qu'on n'en n'est pas là. Il

faut s'habituer à vivre dans un nouvel environnement qui a les charmes de la modernité mais aussi quelques défauts mais je ne voudrais pas vous ennuyer à les souligner.

On m'a demandé de parler de l'avenir et de l'ingénieur du XXI^e siècle et c'est ce que je vais maintenant essayer de faire et dépasser les problèmes du moment.

De quoi l'avenir sera – t – il fait ?

L'avenir ne sera pas une simple extrapolation du passé et il faudrait y réfléchir sérieusement. Nous savons déjà, avec Pierre Dac, ou avec Jacques Chirac qu'il est toujours difficile de faire des prédictions surtout quand elles concernent l'avenir.

On peut malgré tout identifier quelques unes des conditions de cet avenir. Ce sont d'abord d'extraordinaires possibilités « *opportunities* » dans tous les domaines. Il s'agit de tirer partie des progrès scientifiques, mieux coupler le fondamental et l'appliqué pour faire des innovations, utiliser tous les outils disponibles, les grandes bases de données, les moyens de partage des connaissances, les facilités de communication, les infrastructures de recherche etc. Il y a vraiment matière à réaliser des progrès.

Et des progrès, il en faudra pour traiter des questions d'une grande complexité qui vont nous accompagner dans cet avenir. En voici quelques-unes.

1. La question de l'énergie sera certainement un sujet central. Nous disposons d'une énergie bon marché fondée sur les ressources fossiles et toute la société est organisée autour de ces énergies dont il faudra se passer car elles sont en quantité limitée et aussi pour diminuer les émissions de gaz à effet de serre et réduire la pollution atmosphérique qui résulte en partie d'une combustion de mauvaise qualité.
2. C'est le changement climatique, un risque anticipé à partir des simulations complexes de l'évolution du climat. La gestion de ce risque passe par la mise en œuvre d'une stratégie sans regrets « *no regrets* » qui consiste à rechercher, développer et déployer des solutions qui pourraient conduire à une réduction massive des émissions de gaz à effet de serre. Mais à ce stade, il est utile de rappeler que la tendance au niveau mondial est celle d'une hausse de la demande énergétique associée à la croissance démographique, au développement économique et à l'augmentation des

besoins des pays émergents ou en voie de développement. En quarante ans la consommation mondiale a doublé. Il sera difficile d'infléchir une demande d'énergie, qui conduit dans beaucoup de pays à l'utilisation accrue des énergies fossiles et notamment du charbon. La réduction des émissions globales de gaz à effet de serre, justifiée par son impact climatique, par les effets d'acidification des océans et par la nécessaire réduction de l'exploitation des énergies fossiles, ne pourra être réalisée sans la participation de tous les pays et notamment de ceux qui sont les plus gros émetteurs, une question d'actualité après le retrait annoncé des Etats-Unis de l'accord issu de la COP21.

3. C'est le problème de la robotisation de la plupart des procédés de production et de tous les sujets concernant le travail qui vont en résulter. Quelle sera la part de l'homme dans un monde très largement robotisé où les usines seront de moins en moins peuplées par des ouvriers, des techniciens ou des ingénieurs ?
4. C'est la question de l'intelligence artificielle, une forme d'intelligence qui est déjà largement répandue, qui nous rend des services appréciables mais qui va aussi peut-être remplacer l'intelligence humaine dans des tâches plus ou moins complexes. Avec les voitures autonomes et les camions du même type ce sont encore des emplois de chauffeurs de taxis ou de camionneurs qui vont disparaître et si on pousse le raisonnement on pourrait faire voler les avions sans pilote à bord ?
5. On peut avoir de réelles interrogations sur ce que seront les emplois de demain. Même des emplois qualifiés comme ceux de radiologue pourraient, d'après certains experts, être remplacés par l'intelligence artificielle qui détecte mieux les cancers dans des images aux rayons X que les radiologues les plus exercés. Pour des spécialistes très médiatiques, l'intelligence artificielle va dominer l'intelligence biologique dès 2030, c'est à dire dès demain. Pour d'autres l'intelligence forte capable de réfléchir sur elle même serait disponible dès le milieu de ce siècle. Pour certains, il y a beaucoup d'exagération sur ce que l'IA pourrait accomplir alors que d'autres soulignent son omniprésence future.
6. Il y a aussi la question des données massives. Leur exploitation a donné un avantage compétitif à des entreprises comme Google, Amazon, Facebook, Apple ou leurs équivalents chinois. Qu'est ce qui fait que l'innovativité dans ce secteur soit surtout celle de la côte ouest des Etats-Unis et de l'Asie du sud-est ? Comment peut-on tirer parti de ces données sans que cela soit une intrusion du domaine privé ?
7. Avec l'intégration d'internet dans toutes les activités, le

développement de l'internet des objets, le problème de la cybersécurité a pris des dimensions considérables. On sait par exemple qu'aucun des systèmes de vote électronique utilisés aux Etats-Unis ne résiste aux attaques extérieures. On a vu aussi récemment les dégâts induits par des cyber-attaques montrant l'insuffisance des protections et la perméabilité des systèmes d'information des entreprises. La cyber-sécurité est un problème majeur du monde numérique actuel et futur.

Il faudra traiter ces questions dans un contexte général du renouveau des croyances et de l'irrationnel d'une porosité aux préjugés, aux pseudo-sciences aux vérités alternatives qu'on peut constater un peu partout. Tout cela dans un paysage politique caractérisé par le retour des populismes. Le monde profite des bienfaits de la science mais la méfiance envers elle augmente en proportion.

Dans ce contexte général quel sera le rôle des ingénieurs ?

Ce que j'ai voulu souligner dans ce qui précède, c'est que les sujets ne manqueront pas et qu'il faudrait bien les traiter. Qui va pouvoir apporter les idées et les solutions ? Vous l'avez compris : les ingénieurs et les scientifiques essentiellement. Ils auront un rôle majeur à jouer. On peut avoir confiance dans leur capacité à apporter de la valeur et à le faire de façon tangible. Les ingénieurs sont multirôles.

- C'est l'un des rôles des ingénieurs que d'être des « *Problem solvers* ». L'ingénieur du XXI siècle aura plus encore qu'auparavant à **résoudre des problèmes**. Mais qu'est ce que cela veut dire dans un monde où n'importe qui est porteur de « solutions » ? La différence entre l'ingénieur et ceux qui ne le sont pas, c'est la capacité à raisonner de façon systématique et systémique, à réfléchir, à envisager des possibilités multiples, à comprendre que tout est une question de compromis. L'ingénieur sait qu'il y a des contraintes, des limites, qu'il n'y a pas de repas gratuit, « *there is no free lunch* » et pas de solution magique comme disent les américains « *no silver bullet* » pas de balle en argent. On peut espérer que l'ingénieur saura encore utiliser la règle de trois, faire des calculs au dos d'une enveloppe ou sur le coin d'une table, estimer les ordres de grandeur, dimensionner et prendre des marges, analyser, conceptualiser, concevoir, designer, modéliser, simuler, quantifier, organiser, gérer. On peut espérer que ses solutions seront celles issues du **raisonnement** et non

celles désormais trop courantes fondées sur le **militantisme et l'esprit partisan**.

- L'ingénieur du XXI siècle continuera à être un des principaux **acteurs de la connaissance**. Ce ne sera pas le seul et il lui faudra être détenteur de connaissances très larges et aussi de profondeur dans au moins un domaine. Son expertise aura la forme d'un « T-shirt ». Avec un spectre large et sa compétence approfondie dans un domaine particulier, il saura tirer profit de l'avancement des sciences. Il saura que les innovations qui ont changé le monde sont majoritairement issues de la recherche. Il est bon de rappeler cette vérité car la tendance actuelle est de l'oublier, tout en profitant de toutes ces belles innovations. Evidemment toutes les recherches n'ont ni la même importance ni le même impact et certaines en ont d'ailleurs fort peu... Toutes les recherches ne se valent pas. Il vaut mieux travailler dans les domaines les plus critiques, sur les problèmes qui comptent et l'ingénieur du XXIe siècle saura sélectionner les problèmes et « *Work on problems that matter* ».
- Cet ingénieur du XXIe siècle sera capable de maîtriser des connaissances très larges, acquérir de nouvelles connaissances, interagir avec des concepts difficiles et des disciplines différentes. Il aura donc une ouverture large et solide. Il saura tirer partie de l'avancement de la science et de la technologie. Ce sera un **intégrateur de connaissances**.
- Comme par le passé, l'ingénieur du XXI siècle sera aussi un **leader**, « **le premier de cordée** » pour reprendre l'expression de notre Président de la République, il aura à gérer des équipes, à dialoguer avec des organisations, à traiter des enjeux auxquels il n'aura pas été préparé. Il aura à donner du sens au travail, à prendre en compte les facteurs humains, à mettre en œuvre des capacités d'écoute et de soutien, à gérer les relations et les conflits. Il aura acquis les « *soft skills* », les « compétences douces ». Comme toujours, le management des hommes ne s'apprend pas uniquement à l'école. C'est une question d'expérience humaine, de rencontres et de qualités personnelles, tout cela dans un contexte nouveau plus agile dans lequel les besoins seront différents et la légitimité ne sera pas essentiellement liée au diplôme.
- **L'ingénieur du XXI siècle sera un entrepreneur**. Mais il aura à affronter un problème majeur qui est celui de la « peur du

changement ». L'expérience montre que beaucoup souhaitent simplement reproduire ce qui est fait par ailleurs « puisqu'on sait que ça marche ». Pour Yves Chauvin, Prix Nobel de Chimie 2005, que j'ai eu la chance de côtoyer dans le cadre du Conseil scientifique de l'IFPEN, l'objectif était au contraire de **faire du neuf**, chercher ce qui est original et novateur. Chauvin avait le goût des enjeux difficiles et il assumait les risques associés à l'extrapolation à l'échelle industrielle : « Le moindre échec est sans appel mais le succès apporte tant de bonheur que le risque vaut bien qu'on le tente ».

La formation des ingénieurs

Tout cela devrait avoir un impact sur la formation des ingénieurs. Le système éducatif devrait **laisser plus de place à la science, à la technologie et au bricolage**, ce que les américains appellent « *tinkering* » ou « *hands on experience* » la main à la pâte, à l'apprentissage par projet, des projets guidés en équipe, structurés, supervisés par des praticiens. La formation devra donner plus de temps au développement de la créativité, par un contact soutenu avec la recherche. Une plus large part sera fondée sur le mode projet dans lequel l'élève sera mis en situation de mener un projet individuel ou en équipe.

Le rôle des formateurs, c'est à dire des professeurs et de tous ceux qui les entourent est central, c'est celui de porter la responsabilité du projet éducatif. Certains imaginent déjà que les MOOC et autres objets numériques pourront remplacer les professeurs. Ce sera le cas, peut-être pour des matières « faciles » mais c'est une illusion pour les matières les plus dures, c'est à dire les nôtres. A ce stade, j'aimerais tempérer ce propos et raconter une petite anecdote. Théodore von Karman avait fui l'Allemagne nazi et était devenu professeur au Caltech. Il avait dirigé la thèse de mon directeur de thèse du Caltech. Karman devait donner un cours en début de matinée. Oubliant qu'il se trouvait aux Etats-Unis, il prononce son cours en allemand. D'après la légende, il réalise son erreur après quelques minutes et présente des excuses à la classe. C'est alors qu'un étudiant bien intentionné cherche à le rassurer en lui disant « Ne vous inquiétez pas professeur. Cela fait très peu de différence ». *“Professor, don't worry. It makes very little difference.”*

C'est par **la qualité de l'enseignement** qu'on peut motiver les jeunes. Ce sont les professeurs qui peuvent les encourager à se dépasser, à s'investir, à développer leurs talents. Ce sont eux qui peuvent innover

dans les manières d'enseigner, d'être à l'écoute de leurs besoins, de les conseiller dans leurs choix professionnels.... Ils sont sur le terrain et ils sont par conséquent la clé de voute de l'édifice. Il faut leur faciliter la tâche par tous les moyens et dans ce domaine il reste beaucoup à faire.

En conclusion, les ingénieurs et les scientifiques auront des possibilités considérables mais ils auront à traiter des problèmes d'une complexité élevée. Sans eux, vous pouvez être sûrs que ces problèmes ne seront pas résolus. Certains pensent que la science n'est pas indispensable et qu'elle est chère, voici ce qu'on peut leur répondre : « *If you think science is expensive, try ignorance* ». Dans un de ses rapports, l'Académie des sciences souligne que « ...l'avenir appartient aux pays qui ont fait le choix d'une recherche dynamique et de haut niveau ». C'est une certitude pour ce qui me concerne et j'ajoute que l'avenir appartient aux ingénieurs et aux scientifiques qui ont envie d'entreprendre mais cet avenir dépend aussi de la société dans laquelle ils auront à travailler. Pour terminer, permettez moi de souhaiter beaucoup de réussite à CentraleSupélec dans ce nouvel environnement et de vous remercier encore une fois très vivement pour avoir contribué à sa mise en place.

Sébastien Candell

Professeur des Universités Emérite à CentralSupélec, Université Paris-Saclay et Président de l'Académie des sciences