



**HAL**  
open science

# Les contributions de l'ingénieur face à la menace climatique: Nouveaux concepts et nouvelles solidarités

Armand Hatchuel

► **To cite this version:**

Armand Hatchuel. Les contributions de l'ingénieur face à la menace climatique: Nouveaux concepts et nouvelles solidarités. Ingénieurs et transitions environnementales, 2020. hal-02931531

**HAL Id: hal-02931531**

**<https://minesparis-psl.hal.science/hal-02931531>**

Submitted on 7 Sep 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# **Les contributions de l'ingénieur face à la menace climatique: Nouveaux concepts et nouvelles solidarités.**

**Armand Hatchuel**

**Professeur à MinesParisTech/ PSL Université,<sup>1</sup>  
Membre de l'académie des Technologies**

*Texte publié dans l'ouvrage « ingénieurs et transitions environnementales »  
Collectif MinesParisTech. Presses des Mines 2020.*

## **Quelles sont les contributions qui incombent aux ingénieurs face à la menace climatique ?**

Pour répondre à cette question, il faut préciser la conception de l'ingénieur à laquelle on se réfère. Car, la définition de l'ingénieur, de ses missions, de ses compétences, de sa place dans la civilisation, ne sont pas universelles. Ainsi, la conception française est différente de celle qui domine dans les pays anglo-saxons. En outre, y compris en France, cette conception peut varier d'une Ecole à l'autre.

En tant que professeur à MinesParisTech, je peux attester que notre Ecole a accordé, au cours de sa longue histoire, des efforts continus de réflexion sur ce sujet, et je m'appuierai dans ce texte sur cette expérience accumulée. Récemment, l'Ecole a pris l'initiative d'organiser un forum international consacré aux évolutions des formations d'ingénieur<sup>i</sup>. Des doyens de facultés d'ingénierie de plusieurs continents ont exposé leur vision de l'ingénieur du 21<sup>è</sup> siècle et des défis qu'il doit relever. J'ai pu y présenter une brève histoire de l'Ecole des mines de Paris et souligner les grandes responsabilités de l'ingénieur, même si à chaque époque, leur contenu et leurs enjeux doivent être redéfinis. Ce texte a été repris dans un livre collectif américain consacré à l'ingénieur de demain<sup>ii</sup>, ainsi l'expérience de notre vieille maison peut éclairer le futur des ingénieurs.

---

<sup>1</sup> Chaire Théorie et méthodes de la conception innovante et Chaire de Théorie de l'entreprise, Laboratoire CGS- I3, UMR 9217.

C'est sur ce travail que je m'appuierai ici pour préciser ce que l'on doit attendre des ingénieurs face à l'urgence climatique contemporaine.

### **I) Les trois fonctions de l'ingénieur : critique, créative, sociale**

Si l'on analyse l'histoire de l'Ecole des mines depuis plus de 235 ans, on constate que l'identité de l'ingénieur est restée celle d'un scientifique. Mais, celui-ci, n'a pas eu comme seul projet d'accroître le champ de la science, il s'est toujours engagé à mettre ses connaissances scientifiques- et si nécessaire, à en créer de nouvelles- au service de trois fonctions spécifiques que l'on va préciser brièvement.

- **Une fonction Critique** : certainement la plus traditionnelle, elle découle directement de l'esprit scientifique qui a favorisé la naissance des ingénieurs au 18<sup>e</sup> siècle. On peut la définir simplement comme la nécessaire critique des positions et des pratiques qui manquent de justifications solides. Ou celle des doctrines qui refusent l'observation rigoureuse des faits. Sans cette critique, il ne peut y avoir de progrès. Il s'agit aussi de refuser que le consensus soit le seul signe de ce qui est juste ou vrai.
- **Une fonction créatrice** : S'il était cantonné à la seule critique, le travail de l'ingénieur serait vite stérile et peu acceptable. Dès sa naissance, l'ingénieur entre dans l'histoire par l'exploit, par des réalisations qui surprennent, par la réalisation de ce que l'on croyait impossible. Et même si tous les ingénieurs ne seront pas des inventeurs, des concepteurs ou des créateurs, la légitimité générale de leur profession est indissociable de la production de nouveaux concepts techniques ou organisationnels qui marquent l'avancée de la civilisation ou celle de nouvelles sciences. L'activité des ingénieurs est donc indissociable d'une vision ouverte et générative de l'avenir. On attend des ingénieurs qu'ils conçoivent au moins en partie les mondes que nous souhaitons.
- **La fonction sociale** : Elle découle, à son tour, des deux précédentes. Car l'activité critique et créatrice de l'ingénieur ne peut s'exercer que dans des conditions sociales particulières. La recherche des progrès exige l'échange précis, des mesures justes, la coopération de disciplines différentes, et la solidarité nécessaire aux projets. L'activité des ingénieurs est inséparable des associations savantes, des expositions, des salons. Sans partage, sans pédagogie, sans formation, les études d'un ingénieur resteraient lettre

morte. Les ingénieurs sont donc toujours à la recherche des sociabilités nouvelles nécessaires à leur activité. Leur contribution à la modernisation de la gestion des entreprises a été majeure. A la fin du 19<sup>e</sup> siècle, leur approche scientifique du travail et de l'organisation a contribué à une conception non- marchande du salariat. Au fond, l'ingénieur est toujours à la recherche de solidarités nouvelles, car sans elles, son activité critique et créatrice ne seraient ni acceptées ni productives.

Nous pouvons maintenant examiner des exemples pour chacune de ces fonctions lorsqu'on prend la mesure des défis que pose le dérèglement climatique<sup>2</sup>.

## I. **Une critique de l'attitude commune face à la question climatique**

Sur ces bases, il me semble que la fonction critique de l'ingénieur lui prescrit d'interroger la position commune la plus répandue dans l'espace public et qui affirme que face au dérèglement climatique « *toutes les solutions sont connues, il reste à avoir le courage de les mettre en place* ».iii

Cette position est largement présente dans les discours politiques, dans ceux de grandes entreprises et dans les médias. Elle favorise l'action urgente et la mobilisation de tous. Elle autorise les citoyens à interpellier les pouvoirs publics et à stigmatiser leur inaction. D'ailleurs, la conférence des citoyens sur le climat qui a été initié par la France, suppose dans sa construction même, que les solutions sont connues de tous et qu'il reste seulement à arbitrer en collant le plus possible aux attentes de la population. Cette position a donc d'importants avantages politiques, mais la responsabilité d'un ingénieur consiste précisément à en vérifier le bien-fondé. Or, celui-ci est tout à fait contestable.

### a) **Les solutions connues ne suffisent pas.**

Depuis la COP 21 à Paris, force est de constater que les émissions de gaz à effet de serre ne cessent globalement d'augmenter. Certes la part des énergies renouvelables dans la consommation énergétique mondiale ne cesse de croître, mais la quantité absolue d'énergie fossiles utilisée augmente aussi<sup>iv</sup>. Il est donc à ce jour très discutable de penser que les énergies renouvelables répondront mondialement à tous les besoins en énergie. Reste

---

<sup>2</sup> Nous nous servons ici des recherches menées à MinesParistech. Précisons aussi que notre connaissance du changement climatique et de ces effets est tirée des rapports du GIEC.

alors la solution des économies massives d'énergie mais là encore, elle ne peut suffire si la consommation mondiale d'énergie continue à augmenter.

**b) Les incitations individuelles et économiques sont inefficaces et injustes.**

L'affirmation que les « solutions sont connues » conduit aussi à concentrer l'analyse et le débat sur les logiques d'adoption et d'acceptation des seules solutions existantes. Les efforts publics sont alors dédiés à la mise en place de normes de comportements (minimiser l'empreinte carbone), de taxes à la pollution, ou de marchés des droits à polluer. Or, ces incitations économiques peuvent conduire à des arbitrages locaux contre-productifs selon les situations des acteurs ou des contextes. Notamment par le transfert des productions polluantes d'un pays à l'autre<sup>v</sup>. Et surtout parce que ces taxes sont intenable pour les plus défavorisés (nous y reviendrons plus loin)

**c) Une position dangereusement Inhibitrice pour la recherche et l'innovation:**

Mais la critique la plus importante de la position commune tient à ce qu'elle désarme l'effort de recherche et d'innovation sur ces questions. Si les solutions sont connues et s'il suffit d'un effort de volonté, ou d'un changement de philosophie du monde pour les mettre en œuvre, alors une politique de recherche importante sera considérée comme une perte de temps, voire comme une diversion, face à l'urgence. Il est significatif que l'effort de R&D mondial consacré à la lutte contre le dérèglement climatique n'est jamais ni mesuré ni même évoqué. Or Paradoxalement, c'est en matière de recherche et d'innovation qu'il y a surtout urgence. En effet, comme ce dérèglement a déjà commencé, on sait que plusieurs pays du sud ou insulaires ont un besoin vital de solutions innovantes pour limiter les effets de ce changement climatique (stress hydrique, érosion des sols, montée des mers etc...). Il ne s'agit plus pour eux de limiter leurs émissions (en outre elles sont souvent minimales), mais surtout de survivre dans des conditions climatiques et géologiques nouvelles.

**II. De nouveaux concepts en rupture sont nécessaires**

Il faudrait donc partir de la réalité : aujourd'hui, toutes les solutions connues (ainsi que leur réunion) sont insatisfaisantes face la crise climatique, l'urgence devrait donc être à la recherche et à l'innovation. Mais une remarque importante doit être ici prise en compte, car il ne s'agit pas seulement d'approfondir nos connaissances scientifiques du climat.

Certes cet effort est indispensable, mais nous savons que, du point de vue de la science de l'ingénieur, il doit être complété par le développement de concepts en rupture qui stimulent en retour la recherche et permettent de découvrir des applications nouvelles. Ces concepts sont indispensables pour exprimer les attentes actuelles même si leurs conditions de réalisation sont encore inconnues. C'est ainsi que vers 1896, le besoin de diffuser les poids et mesures dans des pays pauvres a conduit à chercher à fabriquer des mètres-étalon bien moins coûteux que les modèles en platine iridié européens. Le concept « d'étalon de mesure low cost » a ainsi forcé à explorer les alliages métalliques à très faible dilatation et a débouché sur la découverte de l'Invar<sup>vi</sup> (1896) bien avant que le phénomène scientifique qui explique un tel comportement du métal n'ait été élucidé.

L'impact des concepts en rupture sur la créativité collective a été démontré de façon théorique par la théorie de la conception innovante (théorie C-K)<sup>vii</sup>. Cette prédiction a été confirmée à de nombreuses reprises en laboratoire et, en grandeur réelle, dans de nombreuses expériences industrielles. Il a pu ainsi être démontré que face à un problème appelant des solutions créatives, le comportement collectif tend à se concentrer sur les solutions les plus aisées à concevoir et qui utilisent les connaissances les plus communes. Cet ensemble de solutions « parle » à tout le monde mais il provoque simultanément une fixation collective. Pour échapper à cette fixation, des connaissances nouvelles ne sont pas toujours suffisantes. Importe surtout de formuler des voies de solutions hors de la fixation, même si elles apparaissent surprenantes et invraisemblables. Car, c'est en se plaçant en dehors de la zone de fixation que l'on maximise collectivement les chances de la découverte intéressante et répondant à la question initiale. L'ensemble de ces résultats a été obtenu par les chercheurs de MinesParistech (Chaire TMCI) avec le concours de chercheurs du laboratoire LaPsyde de la Sorbonne<sup>viii</sup>.

Les enseignements de la recherche sont donc ici clairs : le défi climatique nous impose le devoir d'étudier des concepts « en rupture » ou encore « défixants ». Aujourd'hui, la zone de fixation des solutions au problème climatique est précisément celle des solutions qui font consensus alors qu'elles restent insuffisantes. Pour mémoire, on peut citer la recherche de consensus politiques dont la fragilité est avérée ; le recours aux économies d'énergie et aux formes de stockage de l'électricité ; la conception de mobilités urbaines « vertes » sans que celles-ci puissent être universelles.

Fort heureusement, des sorties de cette zone de fixation sont en cours, et c'est la tâche des ingénieurs que de les renforcer et de les développer. Signalons notamment les techniques innovantes de capture et de réutilisation du CO<sub>2</sub> dans de nouveaux matériaux ou pour d'autres applications. Il faut aussi envisager la conception de solutions de géo-ingénierie contrôlées par des cahiers des charges précis, plutôt que de les exclure par principe comme on le fait trop souvent car elles pourraient avoir des effets pervers. Or, cette position dogmatique sera vite balayée si des bouleversements climatiques menacent des populations entières de disparition. Il sera alors trop tard pour explorer les voies les plus sûres et les pires pourraient s'imposer. Ce mécanisme est bien connu en médecine où il faut parfois accepter des effets indésirables, quand la vie du malade est en cause. Mais encore faut-il avoir anticipé ces choix et s'être efforcé de limiter les effets indésirables ou d'en atténuer les conséquences par des traitements d'accompagnement. Enfin, des concepts en rupture doivent aussi être recherchés dans l'agriculture, l'habitat, etc...

In fine, nous savons que les ruptures sont inévitables et que la voie la plus efficace viendra dans chaque contexte d'hybridations entre solutions de ruptures et solutions connues.

### **III. Une nécessité sociale : définir et proposer de nouvelles solidarités**

La recherche de solutions à la menace climatique impose d'emblée une analyse sociale du phénomène. En effet, les causes de ce dernier sont particulièrement inégalitaires: 10% des populations les plus riches produisent 49% des émissions de CO<sub>2</sub>. Quant aux solutions connues pour ce problème, elles sont particulièrement injustes.

#### **a) Le modèle pollueur-payeur est inadapté et injuste**

En effet le principe social qui vient le premier à l'esprit, on l'a vu, est celui du « pollueur- payeur ». Or, la justesse de ce principe d'essence individualiste, s'il devrait être universellement étendu, se heurte à plusieurs constats :

- Les acteurs n'ont pas conscience de polluer outre-mesure, lorsqu'ils se limitent à des consommations vitales,
- Les acteurs n'ont pas d'autre choix pour survivre que d'utiliser des techniques polluantes et n'ont pas les moyens d'adopter des solutions plus propres.

Cette réalité s'observe soit à l'intérieur des pays riches, comme l'a montré le mouvement des « gilets jaunes » en France. Mais on l'a retrouvé aussi d'un pays à l'autre, car les émissions de CO<sub>2</sub> de pays émergents ou ayant récemment émergé (Chine, Inde, Afrique...) ne peuvent qu'augmenter, serait-ce de façon ralentie.

Mais, le principe pollueur-payeur est d'autant plus inadapté et injuste qu'il s'agit de traiter une menace planétaire et pour laquelle les efforts de chacun bénéficient à tous.

**b) La menace climatique appelle une solidarité de type « avaries communes »**

En effet, la menace climatique s'organise au niveau planétaire. Depuis un siècle, toutes les émissions de CO<sub>2</sub>, quel que soit leurs sources géographiques, ont contribué au dérèglement de manière équivalente. Il en résulte des observations simples et dont les conséquences sont majeures.

- Chaque effort consenti par un individu, un groupe ou une région pour réduire ses émissions, bénéficiera à tous.
- Mais, la valeur marginale de cet effort sera différente selon chaque bénéficiaire. C'est ainsi que plus un individu, un groupe ou un pays, est riche (patrimoine, capitaux, espaces,) plus il bénéficiera d'un effort consenti par tous.

Or, les travaux de chercheurs de MinesParisTech<sup>3</sup> ont montré que cette situation était identique, à celle du « jet » et des avaries communes dans l'histoire maritime<sup>ix</sup>. En effet, pour éviter le naufrage, un capitaine était autorisé à sacrifier, en les jetant par-dessus bord, certaines marchandises. Il s'agissait alors d'un sacrifice demandé aux propriétaires de ces marchandises, mais dans l'intérêt de tous. Cette situation a été codifiée depuis l'antiquité et surtout elle a donné naissance à une règle de solidarité, nommée « règle des avaries communes » : celle-ci stipule que, lorsque le bateau sera arrivé à bon port, la valeur du jet sera partagée entre tous les voyageurs en proportion des marchandises sauvées pour chacun.

Appliqué à la réduction des émissions, cette règle s'écarte donc clairement de toute solution de type pollueur-payeur. En effet, la contribution de chacun ne sera plus proportionnelle à son niveau d'émission mais elle tiendra compte aussi de sa richesse relative. Cette règle offre selon nous un principe de justice

---

<sup>3</sup> Chaire Théorie de l'entreprise. Modèles de gouvernance et Création collective.



et de solidarité solidement fondé et qui est aussi ancien que la vie maritime. Compte tenu de la fragilité des accords politiques sur le climat, et de la demande de justice réitérée par beaucoup de pays, le principe des avaries communes offre une solution d'une grande pertinence et qui respecte, en s'inspirant du modèle du capitaine de bateau, l'esprit même des ingénieurs dont la responsabilité est de trouver les solutions les plus efficaces à condition que le principe de justice entre les parties prenantes ait été clairement et préalablement établi et partagé.

**c) Une nouvelle conception de la responsabilité des entreprises est inscrite dans la Loi**

Mais il y a une réalité sociale des ingénieurs que l'on ne saurait oublier. Voilà plus d'un siècle, qu'ils n'agissent plus individuellement, mais principalement par le truchement des entreprises ou des organisations qui les ont recrutés. Penser la responsabilité des ingénieurs sans celle qui incombe à ces collectifs serait une erreur ou serait illusoire. On ne peut attendre des ingénieurs qu'ils travaillent sur des concepts en rupture ou de nouvelles solidarités, si de tels objectifs ne sont pas aussi ceux des entreprises. L'efficacité et la créativité des ingénieurs face au changement climatique exige donc une responsabilité nouvelle des entreprises face aux enjeux sociaux et environnementaux. Les chercheurs de MinesParisTech (Chaire de théorie de l'entreprise) se sont ainsi attachés à proposer une nouvelle définition de l'entreprise et de ses rapports avec la civilisation contemporaine<sup>x</sup>. Ils ont ainsi contribué, avec les chercheurs du Collège des Bernardins, à la récente la loi Pacte (2019 articles 165 et 179) qui instaure la responsabilité sociale et environnementale dans la définition de la société anonyme. Elle permet aussi aux entreprises de se doter d'une raison d'être différente du profit, et si elle le souhaite, d'adopter la qualité de « société à mission ». Ces innovations législatives, qui peuvent concerner les grandes ou les petites entreprises, sont particulièrement intéressantes pour les ingénieurs, car elles permettent de considérer les enjeux environnementaux comme des horizons d'innovation légitimes.

**Conclusion :**

Les ingénieurs ont un devoir particulier : Ils ont rendu possible l'anthropocène ! Ils peuvent revendiquer à juste titre, leur immense contribution historique aux progrès du monde moderne. Mais ils ne peuvent se désintéresser des conséquences dramatiques que ces progrès ont

provoquées. Ils doivent participer à limiter leurs conséquences et à rendre l'anthropocène responsable et soutenable. Pour autant, ils ne peuvent le faire qu'en mobilisant leurs capacités et leurs fonctions spécifiques. C'est ainsi qu'ils doivent répondre aux défis les plus urgents. Mais ils ne peuvent abandonner leur responsabilité critique et doivent contester des solutions qui font l'objet d'un consensus sans fondement. Il leur faut ensuite proposer des voies nouvelles et solidaires, y compris en inventant de nouveaux types d'entreprises. Il me semble que la conscience de ces responsabilités est particulièrement active à MinesParisTech, tant chez les professeurs que parmi les élèves.

---

## References

<sup>i</sup> Dean's forum at MinesParisTech « *Creating talents for a new world* » Paris 2015.

<sup>ii</sup> Hatchuel Armand (2018) « The Ecole des mines de Paris : some lessons from a long history » in E. Subrahmanian, E. Odumosu, T. Tsao, J. (Eds.) (2018) *Engineering a Better Future. Interplay between Engineering, Social Sciences, and Innovation*, Springer.

<sup>iii</sup> Le monde, Pierre Le Hir, « *Changement climatique : des solutions existent, selon 9 Français sur 10* », le 10 février 2015.

<sup>iv</sup> World Energy consumption. *BP statistical report*. 2019.

<sup>v</sup> Pottier Antoine. , (2016), *Comment les économistes réchauffent la planète*, Seuil Paris.

<sup>vi</sup> La découverte est due à Charles-Edouard Guillaume Prix Nobel de physique 1920.

<sup>vii</sup> Cf. Théorie C-K sur Wikipedia ; voir aussi Armand Hatchuel, Pascal Le Masson, Benoit Weil. , (2017), *Comprendre et soutenir l'innovation contemporaine: théorie de la conception et métabolisme des nouveaux collectifs*. La lettre de l'InSHS, CNRS 2017.

<sup>viii</sup> Marine Agogué, Akın Kazakçı, Armand Hatchuel, Pascal Le Masson, Benoit Weil, et al.. (2014), The impacts of examples on creative design : explaining

---

fixation and stimulation effects, *Journal of Creative Behavior*, Creative Education Foundation, 2014, 48 (1), pp.1-12.

<sup>ix</sup> Le monde, 17 janvier 2019, tribune, « *Appliquons le principe des avaries communes pour sauver la planète* », A. Hatchuel, B. Segrestin, K. Levillain.

<sup>x</sup> B. Segrestin, A. Hatchuel, « *Refonder l'entreprise* », 2011. Seuil, La république des idées.