

> Hugues Choplin  
> Frédéric Huet  
Anne Le Goff

# L'ingénierie soutenable : est-ce « plus grand que nous » ?



> #Numéro 5  
> Colloque Ingenium 2021 : le développement durable dans la formation et les activités d'ingénieur  
> Working papers  
> Développement durable - > Education et technologie - > Innovations soutenables

## Références de citation

Choplin, Hugues., Huet, Frédéric., Le Goff, Anne. "L'ingénierie soutenable : est-ce « plus grand que nous » ?.", 26 avril 2022, mäj 0000, *Cahiers COSTECH*<http://www.costech.utc.fr/CahiersCOSTECH/spip.php?article137>

## Résumé

Notre proposition vise à questionner la difficulté à s'emparer et à traduire l'exigence / l'épreuve du développement durable dans une formation d'ingénieur, et ce malgré des incitations et volontés multiples, à l'UTC comme probablement ailleurs.

En 2016, les associations de la CPU et de la CGE explicitent un nouveau socle de compétences pour l'ingénieur. Or, cette vision renouvelée de l'ingénieur implique selon nous des déplacements pour le moins significatifs et complexes par rapport au « centre de gravité » des formations actuelles.

Alors que l'ingénierie reste principalement ancrée dans un paradigme mécaniste / machiniste, celui de la biologie / du vivant, moins mathématisé, n'est-il pas plus à même de refonder les problèmes contemporains de durabilité ? Fondamentalement, comment déployer une « pensée écologique » affranchie des dualités portées par nos épistémologies / philosophies dominantes : homme / environnement ; nature / culture... ?

Alors que l'ingénieur agit principalement au niveau local / micro, la durabilité n'impose-t-elle pas d'articuler ce niveau d'intervention avec un niveau plus global / macro, pour par exemple saisir de manière critique les pratiques telles que l'écoconception ou les modèles d'économie circulaire ou de fonctionnalité ?

Alors que les sciences expérimentales véhiculent une logique d'action contrôlée, la durabilité n'implique-t-elle pas de penser cette logique d'action dans des situations incertaines, tant ses effets peuvent rester invisibles et/ou imprévisibles, comme en témoigne par exemple la notion d'« effet rebond » ?

Opérer ces déplacements implique alors d'explorer et d'expérimenter les contenus et modalités d'une formation d'ingénieur. Comment, par exemple, développer une pensée critique, par la philosophie, de ces couplages socio-techniques supposés « vertueux » que sont l'économie de fonctionnalité et l'éco-conception ? Nous présenterons ainsi les initiatives à l'œuvre actuellement à l'UTC.

Mots-clés : Formation d'ingénieur ; Pensée écologique ; Changement paradigmatique ; Expérimentation UTC

### Auteur(s)



**Frédéric Huet** est économiste, maître de conférences à l'UTC de puis 2006. Il développe ses travaux au sein de l'économie industrielle et des organisations, avec pour fil directeur les dynamiques de relations inter-organisationnelles. Membre du laboratoire Costech depuis son doctorat, ses recherches et collaborations scientifiques présentent une ouverture interdisciplinaire (philosophie, sociologie, génie industriel...).



**Hugues Choplin** enseigne la philosophie et l'analyse des situations d'ingénieurs à l'Université de Technologie de Compiègne. Il s'emploie à modéliser et à problématiser la pensée contemporaine, essentiellement française, s'attachant, ainsi, à établir une « recherche en silence ».



**Anne Le Goff** est physicienne de formation, maître de conférences au département de Génie Biologique de l'UTC depuis 2013. Ses recherches au laboratoire BMBI portent sur les interactions entre cellules et écoulements.

Comme nombre d'établissements de formation à l'ingénierie, l'Université de Technologie de Compiègne est particulièrement sensible et attentive aux divers signaux concernant la problématique de la durabilité / soutenabilité dans les pratiques d'ingénierie. Depuis 2019, nombre d'initiatives ont ainsi été portées et promues pour intégrer cette nouvelle exigence dans la formation d'ingénieur.

L'hypothèse que nous étayerons dans cette contribution est que l'intégration de la soutenabilité dans une formation d'ingénieur relève d'un renouvellement d'un autre ordre que la seule intégration de nouveaux contenus ou de nouvelles compétences. Elle engage un changement de posture des ingénieurs pour se saisir de ce colossal enjeu. Cette « ingénierie soutenable » sera clarifiée dans une première partie.

Les enseignants, indépendamment de leur niveau d'expertise, doivent ainsi prendre la mesure de ce qu'implique une problématique qui, à bien des égards, se révèle « plus grande qu'eux ». Nous le verrons à partir des procédés de bioremédiation<sup>1</sup> pour la dépollution des sols (présenté dans la partie 2) et du retour d'expérience qui peut en être fait en confrontant ces contenus aux exigences de la soutenabilité (partie 3).

## 1- D'une ingénierie durable à une Ingénierie Soutenable (IS)

Diverses initiatives ont pu voir le jour à l'UTC depuis plusieurs années sur la thématique du développement durable. 2019 est un jalon important dans la diffusion de cette nouvelle « atmosphère de soutenabilité »<sup>2</sup> avec la constitution d'un collectif original : le Collectif Ingénierie Durable. Les actions / réflexions du CID se structurent autour de deux axes principaux<sup>3</sup> :

- Prospector et enquêter pour qualifier précisément ce que serait une IS, telle qu'elle pourrait être portée par l'UTC
- Identifier et travailler à des « lieux » et modalités de déploiement de cette IS dans l'établissement.

Le premier signe tangible des apports de ce collectif se cristallise sans doute dans sa requalification en CIS : Collectif d'Ingénierie Soutenable. Les réflexions collectives conduisent à promouvoir la soutenabilité plutôt que la durabilité. Cette dernière engage une finalité de durée assez « étroite » alors que la soutenabilité renvoie à la fois à ce que nos écosystèmes peuvent supporter de nos activités, mais également à ce que nos activités et notre ingénierie veulent soutenir et défendre.

Autrement dit, les dispositifs techniques et leur développement soutiennent ou traduisent des projets ou « valeurs » de dimensions hétérogènes (techniques, sociétales, économiques, éthiques...). Cette soutenabilité engage ainsi, plus que la durabilité, une nouvelle posture de l'ingénieur.

### 1.1- Adopter une vision systémique

La vision systémique<sup>4</sup> (vs analytique) apparaît indispensable pour permettre à l'éco-ingénieur d'appréhender, dans toute leur complexité, les problèmes écologiques posés aujourd'hui par les dispositifs techniques qu'il conçoit et contrôle. Trois éléments nous semblent constitutifs de cette complexité :

- L'hétérogénéité des grandeurs à intégrer et à manipuler
- Le primat des relations sur les grandeurs elles-mêmes
- L'irréductible incertitude relative aux résultats obtenus et aux choix effectués

Ces « ingrédients » invitent à un renouvellement des modélisations pour ne pas réduire de manière illusoire la complexité de phénomènes qui engagent des conséquences sur des temporalités différentes, sur des étendues géographiques diverses et sur des critères de performances multi-factorielles. L'incertitude apparaît comme la rupture la plus significative par rapport aux logiques habituelles.

### 1.2- Questionner le degré de technicisation

L'éco-ingénieur se doit aujourd'hui de savoir critiquer les « hightech » au regard du poids très important qu'elles font peser sur les écosystèmes. Muni d'une vision systémique, conscient des ressources finies de notre planète, l'éco-ingénieur sait que le déploiement de ces technologies, aussi performantes et « vertes » soient-elles, ne fait bien souvent que déplacer les problèmes (effets rebonds) (Arnsperger & Bourg, 2016).

Dès lors, au-delà d'une « sensibilité » socio-technique de l'ingénierie déjà diffusée dans les pratiques, c'est en intégrant un questionnement critique, fort de nos besoins ou de nos attentes, qu'elle se transforme. L'ingénieur dépasse la seule exigence d'articulation des usages et des techniques, pour se prononcer sur les usages et expériences ouverts par la technologie.

### 1.3- Reconsidérer la « culture » ou le mode de pensée de l'ingénieur

Les pensées écologiques critiquent, en deçà du capitalisme, un mode de pensée qui, de leur point de vue, légitime la maîtrise et la domination – à la fois théoriques et techniques – de la nature par l'homme (Bourg et Fragnière, 2014 ; Affeissa 2009).

Ce mode de pensée anthropocentré semble néanmoins tout particulièrement à l'œuvre dans la formation et la pratique des ingénieurs... Aussi important soit-il, probablement inséparable de l'humanisme (et de nos démocraties libérales), il semble aujourd'hui devoir s'articuler avec d'autres visions du monde, avec d'autres rapports à la nature, davantage centrés sur notre coopération avec le vivant (et la biodiversité) (Passet 1979).

Ces trois exigences que nous associons à une ingénierie soutenable ne prétendent aucunement « fermer » la discussion des possibles sur sa définition, ni la saisir dans son exhaustivité. Elles représentent plutôt une boussole pour mieux saisir ce qu'engage la soutenabilité dans un changement de posture de l'ingénieur.

## 2- La bioremédiation : une technologie soutenable ?

L'enseignement de la bioremédiation à l'UTC est antérieur à la réflexion menée au sein du CIS, et n'a initialement pas été orienté par la soutenabilité telle que proposée par le CIS. Enseignement de la bioremédiation et réflexion sur la soutenabilité ont donc suivi deux trajectoires plutôt parallèles et indépendantes, mais qui offrent une opportunité intéressante de dialogue. Avant de croiser et confronter les apports issus de ces deux trajectoires, il semble nécessaire de décrire brièvement cette solution soutenable que serait la bioremédiation.

L'activité humaine est à l'origine de la pollution de certains sites, pour lesquels des traitements de dépollution doivent être envisagés. Les possibilités sont multiples, à partir de trois grandes technologies : les procédés thermiques, les procédés physico-chimiques et les procédés biologiques. Ces technologies génériques se déclinent elles-mêmes en différentes solutions.

Les bioprocédés ou la bioremédiation apparaissent intuitivement comme la solution la plus soutenable ou sobre. Le principe générique est de

dégrader les polluants présents dans les sols en molécules moins nocives pour l'environnement et la santé humaine. Cette dégradation résulte de l'action d'organismes vivants - notamment microorganismes ou plantes - dans le sol pollué, directement sur site ou hors site (par excavation).

Les modalités ou techniques de bioremédiation sont multiples<sup>5</sup> – on pourrait par ailleurs y associer les procédés de phytoremédiation - et opérer un « choix soutenable » ne revient pas à identifier et mettre en œuvre une solution optimale, mais plutôt une solution satisfaisante, relevant d'un nécessaire compromis. Et ce compromis n'est malgré tout pas simple à établir<sup>6</sup> :

- Les exigences de performance (économique, environnementale, sociétale) sont en partie incommensurables
- L'évaluation des critères de performance pris séparément reste difficilement objectivable/mesurable, devant assumer une certaine incertitude
- L'expertise de l'ingénieur doit dialoguer avec d'autres expertises, pour sortir d'une appréciation initiale du problème partielle et locale d'un problème plus vaste et complexe.

Ainsi, prétendre à un choix soutenable relève d'une approche multicritère, et pensée sur un cycle de vie, qui transforme profondément le rapport de l'ingénieur à son expertise : en prise avec des indéterminations qu'il ne peut lever seul, concrétisée peut-être plus par une capacité à adresser les « bonnes » questions qu'à déployer les « meilleures » solutions... Ce qui ne peut que déstabiliser des étudiants s'attendant fréquemment à ce que « chaque problème ait sa solution ».

### 3- La déprise de l'ingénieur

La section précédente laisse entrevoir une nouvelle complexité qui s'invite dans les choix technologiques. Pour saisir plus précisément les manifestations de cette complexité (et plus globalement les exigences de cette soutenabilité), nous pouvons tenter de « lire » cet exemple de la bioremédiation à partir des trois axes structurants précédemment présentés.

#### 3.1- Le choix collectif en réponse à l'incertitude

Les manifestations de la complexité, dans l'exemple de la bioremédiation, se retrouvent dans l'approche multicritères évoquée. Parler d'approches

multicritères souligne que la performance d'une technologie ne peut s'apprécier à l'aune d'une performance unique. La multiplicité des facteurs de performance à intégrer dans le choix technologique invite à considérer celui-ci comme une construction collective impliquant de multiples parties prenantes (Callon, Lascoumes & Barthe, 2001). Dans certains cas par exemple, les choix de dépollution relèvent d'une concertation ou d'une délibération à l'échelle du territoire, au travers desquelles les « riverains » sont amenés à « défendre » un point de vue sociétal. Cette réponse par le collectif, cette exigence socio-technique, ne sont probablement pas des éléments propres à une ingénierie soutenable, même si elle se confronte à une hétérogénéité accrue des parties prenantes et des critères de performance.

Au-delà de cette multiplicité, c'est plutôt l'irréductible incertitude comme composante à part entière du choix et du raisonnement, qui porte un changement de posture pour l'ingénieur. On pourra avoir deux lectures de cette incertitude.

La première se traduit dans les possibilités d'évaluation de la performance (sur différents critères), qui demeurent difficiles à apprécier quantitativement<sup>7</sup>. On comprend ainsi la recherche de « solutions satisfaisantes » comme relevant d'un compromis entre l'affinement possible du diagnostic et l'effectivité de la décision, prise dans des contraintes temporelles (Froger & Plumecocq, 2018).

Plus radicalement, cette incertitude peut être considérée comme indissociable de la technologie adoptée, et du travail du vivant sur lequel elle se fonde. Car celui-ci reste pour partie imprédictible ou insaisissable. Ainsi, les microorganismes introduits dans les sols dégraderont les polluants en molécules « saines », mais rien n'exclut par ailleurs que cette dégradation ne s'accompagne pas de nouvelles productions toxiques, et cela de manière non anticipée. S'accommoder de cette incertitude radicale nécessite à minima de ne pas la reléguer en « arrière-plan » du problème, mais de la positionner « à même » le problème. La seule certitude qui demeure est celle de l'incertain. Elle s'impose à l'ingénieur de manière manifeste, et en cela elle est « plus grande que lui ».

### **3.2- Quand la technique devient le problème**

Plusieurs éléments caractéristiques des techniques de bioremédiation semblent illustrer ce que peut être une « lowtech » (Bihouix 2014). Les



coûts d'investissement et de mise en œuvre sont avantageux comparés aux solutions concurrentes, elles présentent une simplicité de mise en œuvre et de suivi, et s'adaptent à la variété des situations au sein desquelles elles se déploient.

Le questionnement et le raisonnement qui peuvent conduire à retenir cette solution participent peut-être d'une démarche critique de la hightechnicisation à partir du moment où le choix à effectuer ne porte pas sur des potentialités technologiques en tant que telle mais sur leur adéquation avec la situation problématique rencontrée. Cette démarche privilégie une sobriété problématisée à partir des usages de la technique à une sobriété fondée sur un strict solutionnisme technique. Autrement dit, la technique n'est pas tant à penser en tant que solution qu'en tant que problème, interrogeant la sobriété des usages et expériences que cette technique rend possible.

### 3.3- L'ingénieur face à « plus grand que lui »

Nos formations d'ingénieur sont largement dédiées aux principes de contrôle, d'anticipation des risques, de pilotage de processus... qui nourrissent une « culture » ou un « imaginaire » de domination de/par la technologie sur/de la « nature ». Or, l'exemple de la bioremédiation, avec tout ce qu'il comporte d'incertitude ou d'indétermination, met à mal cet « imaginaire ». La difficulté à déterminer une durée, longue, de dépollution ou encore à exclure toute manifestation indésirable ou polluante sous l'effet des microorganismes, illustre ce difficile - voire illusoire - arraisonnement de la nature, par l'ingénierie.

Il y a évidemment ici de quoi déstabiliser des ingénieurs. Les enseignants ont pu remarquer une appréhension ou une accommodation plus aisée pour les étudiants du domaine de la biologie que pour ceux des procédés. On pourra, peut-être, expliquer cette différence par le fait que les premiers évoluent disciplinairement dans le paradigme scientifique du vivant alors que les seconds côtoient un paradigme mécaniste. On pourra suggérer que l'ingénierie soutenable invite à un mode de pensée, irréductible à des savoirs opérationnels, plus inspiré du vivant, de ses émergences et imprévisibilités, que de la mécanique, de ses causalités et déterminismes. Et cela quelles que soient les disciplines d'ingénierie concernées.

Par ailleurs, cette incertitude ou cette déprise du contrôle invitent à sortir

de raisonnements en « mode certain » ou risqué<sup>8</sup>, sans pour autant inhiber les initiatives et l'action. L'exigence est de déplacer la posture de l'ingénieur d'une logique d'anticipation / planification vers une logique d'accompagnement des incertitudes. Face aux imprévisibilités d'un traitement biologique, le suivi, l'intervention au « fil de l'eau » (ou du sol) deviennent la composante décisive de l'ingénierie. On s'affranchit des dualités qui structurent nos modes de résolution de problèmes (connaissance / expérience ; conception / exécution). Au-delà de l'ingénierie, c'est tout un mode de pensée, occidental, qui se trouve réinterrogé.

À l'issue de cette analyse de l'exemple de la bioremédiation, on entrevoit ce que peut impliquer la soutenabilité en termes de révision profonde de la posture de l'ingénieur. Les exigences collectives, socio-techniques, le rapport à l'hétérogène, ne sont probablement pas les éléments les plus « neufs » pour le quotidien de l'ingénieur. En revanche, relativiser son « pouvoir » de maîtrise, admettre un nouveau rapport à une incertitude « plus grande que lui » exigent assurément une transformation radicale des modes de pensée et d'action. Sur le plan de la formation, s'emparer de cela, sans trop de concession, ne relève alors pas de transformations locales, partielles. Cela relève plutôt d'une mise en abyme de la pédagogie par rapport à cette thématique de la soutenabilité : faire de « notre » ignorance relative un élément de savoir et de contenu ; réinterroger notre modèle pédagogique par rapport à ce qu'il porte lui-même des dualités critiquées...

## Bibliographie

Affeissa, H. M. (2009). *Qu'est-ce que l'écologie ?* Ed. Vrin.

Arnsperger, C., Bourg, D. (2016), Vers une économie authentiquement circulaire. Réflexions sur les fondements d'un indicateur de circularité, *Revue de l'OFCE* 2016, N° 145, pp. 91-125.

Bihoux, P. (2014). *L'Âge des low Tech. Vers une civilisation techniquement soutenable*. Ed. Seuil.

Bourg, D., Fragnière, A. (2014). *La pensée écologique. Une anthologie*. Ed. PUF.

Callon, M., Lascoumes, P., Barthe, Y. (2001). *Agir dans un monde incertain. Essai sur la démocratie technique*. Ed. Seuil.

Froger, G., Plumecocq, G. (2018). Faire entrer l'environnement dans l'économie. Temps, incertitudes et irréversibilités. *Revue Française de Socio-économie*, vol. 2, N° 21, pp.

Passet, R. (1979). *L'économique et le vivant*. Ed. Payot.

---

1 Nous tenons à remercier Antoine Fayeulle et Olivier Schoefs, enseignants-chercheurs à l'UTC, pour toutes les informations transmises sur la bioremédiation, ainsi que pour nos échanges dans le cadre du retour d'expérience présenté ici.

2 Qui pourrait se substituer ou se conjuguer à une « atmosphère industrielle », pour reprendre A. Marshall, prévalant couramment dans une école d'ingénieur.

3 Nous remercions Valérie Moreau, Garance Régimbeau, Pierre Kidzié, Solène Brasseur et Yacine Baouch, animateurs de ces activités.

4 Le rapport CPU et CGE (2016) a fourni un point de départ à cette réflexion. Guide compétence : développement durable et responsabilité sociale.  
<https://www.iddlab.org/data/sources/users/1215/docs/guide-de-comptences-ddrs092016.pdf>

5 Pour une présentation plus précise des technologies biologiques de dépollution des sols, on pourra consulter l'étude de l'Ademe (2006) : « traitement biologique des sols pollués : recherche et innovation ».  
[https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/43479\\_etude\\_adit\\_sols.pdf](https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/43479_etude_adit_sols.pdf)

6 Ces éléments ont été présentés par deux experts de la bioremédiation lors d'un atelier de sensibilisation à la soutenabilité, le 04-02-2021.

7 Ainsi, dans certains tableaux de comparaison des technologies possibles (fournis aux étudiants), les différents critères de comparaison sont évalués à l'aide de + et de -.

8 Raisonner en termes de risque revient à probabiliser l'incertitude, et à occulter la radicale imprédictibilité qui lui est associée.