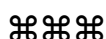


# L'ingénieur à la française : une espèce en voie de disparition



## Réflexions impertinentes sur la désindustrialisation de la France et le rôle des ingénieurs

Jacques PRINTZ, Professeur Emérite du  
Conservatoire National des Arts et Métiers  
jacques.printz@cnam.fr

### Sommaire

INTRODUCTION.....	1
<i>La crise comme révélateur de notre défaut systémique</i> .....	2
LES VRAIS ACTEURS DE L'INDUSTRIALISATION .....	2
<i>L'industrialisation à l'aube du XXI<sup>ème</sup> siècle</i> .....	3
LA LOGIQUE DE L'INGENIEUR ET SON ROLE SOCIAL .....	5
QUELQUES EXEMPLES DE SITUATIONS UTILES A LA COMPREHENSION DES PHENOMENES SOCIO- ECONOMIQUES .....	8
<i>Les facteurs d'échelles</i> .....	8
<i>La régulation des systèmes</i> .....	9
<i>La complexité</i> .....	11
<i>Les débats entre économistes</i> .....	12
<i>L'acceptation positive du risque et le principe de précaution</i> .....	13
CONCLUSION .....	16
<i>Des ingénieurs socialement responsables dans une société mondialisée équilibrée</i> .....	16

### Introduction

On s'intéresse, à juste titre, à la disparition des batraciens ou aux effets catastrophiques des pesticides sur les abeilles, mais apparemment personne ne s'est posé la question de la quasi disparition, à quelques rares exceptions, des ingénieurs dans les directions générales de nos entreprises, comme dans la haute administration. Personne n'a encore remarqué l'étrange corrélation entre la désindustrialisation et ce qui se passe dans le monde des grandes écoles d'ingénieurs. Aujourd'hui, les hommes aux manettes sont des managers formatés MBA à l'américaine, des financiers, des juristes, sans parler de l'administration quasi exclusivement entre les mains des énarques.

Tous ces responsables n'ont généralement aucune expérience de terrain des métiers des entreprises qu'ils dirigent, ignorent la complexité des processus industriels, sans parler de la R&D, repère de chercheurs vilipendés jusqu'au plus haut sommet de l'état, souvent regardé avec méfiance, quand ce n'est pas avec mépris. Bien sûr, il y a des exceptions, malheureusement trop rares<sup>1</sup>. On a même entendu Michel Bon, ex PDG de France Telecom, expliquer aux élèves de Sciences Po le peu d'intérêt qu'il portait à la technologie ou Serge Tchuruk, ex PDG d'Alcatel-Lucent, dire qu'il rêvait d'une entreprise sans usine. Quand on est jeune, brillant, ayant intégré une Grande Ecole, on comprend tout de suite là où il ne faut pas aller ! A quoi bon les études scientifiques, difficiles, longues, où il faut se remettre en cause, prendre conscience de ses limites, et qui de toute façon ne seront pas valorisées.

Quand le dirigeant ne comprend pas bien ce qui se passe, ce qu'il n'avouera bien sûr jamais, il prend le risque de tomber sous la coupe de « consultants » qui vont lui raconter, en fait, ce qu'il a envie d'entendre, en y mettant la forme, ce qui requiert un certain talent de communication.

La vraie bonne stratégie est de se poser la question : qui crée la richesse ? Sont-ce des personnalités type Bill Gates ou Steve Jobs, ou les « Mozart » de la finance qui jouent à *Pile je*

---

<sup>1</sup> Comme Louis Gallois, PDG d'EADS, ardent défenseur des métiers d'ingénieurs, qui se désole de la situation actuelle ; voir son article dans *Le Monde* du 19/02/2009.

*gagne, Face tu perds ?* Voilà le vrai dilemme à laquelle nos économies libérales trop financiarisées sont confrontées.

Et pourtant ...

### ***La crise comme révélateur de notre défaut systémique***

Depuis la crise économique et financière de 2008, jamais nous n'avons autant parlé de la désindustrialisation de la France. Jamais les pertes d'emplois industriels n'ont été aussi fortes. Nos hommes politiques, toute tendance confondue, se désolent du manque de présence de nos PME à l'international, sans parler de leur nombre jugé trop faible, mais ils détournent pudiquement le regard quand on leur parle des difficultés administratives qui les accablent. Créer et faire fonctionner une PME reste une aventure qui demande courage et abnégation. Cet état de fait, plus que préoccupant pour l'avenir de notre pays, est désormais l'objet des attentions des pouvoirs publics, et ce jusqu'au plus haut niveau de l'état, mais nul ne sait si cette sollicitude est une bonne ou une mauvaise nouvelle. Une revue de presse des 18 derniers mois est éloquente, et sans équivoque ; chacun y va de son diagnostic, de ses conseils, de ses recommandations, mais personne ne s'inquiète ni se préoccupe de la relation entre le niveau d'industrialisation et le rôle dévolu aux ingénieurs dans ce processus et tout simplement dans la société. Il est pourtant clair qu'il n'y a pas d'industrialisation possible, et encore moins durable, sans ingénieur. Des créateurs d'entreprises comme Marcel Dassault ou Francis Bouygues ont d'abord été de grands ingénieurs, comprenant le besoin de notre société, capables de fédérer autour d'eux des équipes efficaces et impulser un style de management dont la trace est aujourd'hui encore bien visible.

Rien à voir avec les champions du mécano financier, les yeux rivés sur le dividende court terme aux actionnaires et le cours de bourse pour leurs stock options, dont le résultat socialement bien visible est délocalisation, désindustrialisation, perte de productivité, quand ce n'est pas simplement la ruine dont l'aventure de J-M.Messier à la tête de Vivendi est un triste exemple.

Il est étrange, voire choquant pour un ingénieur, de qualifier cette crise de « systémique » alors que les règles les plus élémentaires de la systémique, comme on va le voir, ont été allègrement piétinées, violées par les banquiers et les autorités financières, avec malheureusement la bénédiction des gouvernements qui n'ont rien vu venir.

### ***Les vrais acteurs de l'industrialisation***

L'un des facteurs clés de l'industrialisation de l'Europe, à l'aube de la révolution industrielle, a été l'hybridation réussie, d'une part des connaissances scientifiques, ce que les philosophes depuis l'antiquité appelaient les arts libéraux, car réservés aux loisirs spéculatifs des « hommes libres », dont l'académie de Platon a été le modèle, et d'autre part des savoir-faire de l'artisan<sup>2</sup>, les « arts mécaniques » comme on disait alors, termes que l'on retrouve dans des institutions de grand renom comme le Conservatoire National des Arts et Métiers, ou encore l'école Centrale des Arts et Manufactures. En grec le mot τεχνη (technique, activité de production), en latin *ars*, signifie art, mot que l'on retrouve dans les écoles dites polytechniques. Les premières écoles d'ingénieurs naissent en marge de l'université dans le courant du 18<sup>ième</sup> siècle, avec l'école des Ponts et Chaussées et l'école des Mines. La Révolution va accélérer le mouvement, avec la création de l'école Polytechnique qui va devenir la référence incontournable de toutes nos grandes écoles. Dès lors le modèle de formation des ingénieurs « à la française » est clairement établi, et ils vont prendre toute leur responsabilité dans l'industrialisation du pays.

Ce que la société attend de ses ingénieurs, ce pourquoi ils ont été formés, est finalement simple mais non simpliste : utiliser au mieux les connaissances scientifiques disponibles pour fabriquer des produits/services de qualité au meilleur coût, utiles au développement de la société en mettant tout le monde au travail, et en premier lieu ouvriers et techniciens, sans lesquels rien de tout cela n'aurait été possible. L'ingénieur est là pour poser et résoudre les problèmes, leur trouver une solution de juste compromis, en intégrant toutes les contraintes, réduire la complexité.

---

<sup>2</sup> Le livre de R.Halleux, *Le savoir de la main, Savants et artisans dans l'Europe préindustrielle*, Armand Collin 2009, relate cette lente gestation qui prend ses racines au moyen âge.

D'où les trois piliers des compétences et savoir-faire des ingénieurs dans le modèle français :

- Maîtrise des connaissances scientifique et techniques nécessaires à l'industrie et à la création des produits, en faisant jouer aux mathématiques un rôle de langage commun et de standard d'objectivité<sup>3</sup>,
- Organisation et méthodes de travail pour optimiser les processus de production et la qualité, avec en première ligne la standardisation des pièces élémentaires,
- Management des hommes, à qui il fallait donner l'exemple et ne pas hésiter à joindre le geste à la parole pour être un ingénieur crédible.

La promotion interne des entreprises, la formation tout au long de la vie comme celle dispensée par le CNAM, y jouent un rôle essentiel.

### *L'industrialisation à l'aube du XXI<sup>ème</sup> siècle*

Une analyse superficielle pourrait laisser penser que tout cela, c'est révolu, aujourd'hui nous sommes à l'ère de l'information, d'Internet et de l'« intelligence » collective, de l'ingénierie de la connaissance. Toutes ces vieilleries aux relents manufacturiers sont dépassées. Il faut du « neuf ».

Or rien n'est plus faux ! Née aux Etats-Unis dans les années 50-60, l'industrie de l'information, i.e. les TIC, est devenue la première industrie mondiale dans la décennie 90. Les grandes universités américaines comme le MIT, Harvard, Stanford, Berkeley, Carnegie Mellon, ... , les organismes publics comme le DOD via la DARPA, la NASA, y ont joué, et continuent à jouer, un rôle de premier plan. Ses champions d'aujourd'hui s'appellent Bill Gates, Steve Jobs, Larry Ellison, ... tous des ingénieurs de premier plan, sans parler d'IBM, de Hewlett-Packard ou de Intel qui sont des leaders technologiques incontestés. Aucune société française parmi les leaders mondiaux. Pire, la France a laissé périr son champion national, Bull, issu de la fusion dans les années 80 de Honeywell-Bull et de CII, qui n'avait pourtant pas démerité. L'aveuglement stratégique des pouvoirs publics, l'échec d'Unidata<sup>4</sup>, l'absence de solidarité nationale, pour ne pas dire patriotisme économique dont les allemands sont les champions européens, ont sapé le marché intérieur sans lequel rien n'est possible à l'international. Et ce n'est pas faute d'y avoir englouti des milliards<sup>5</sup>.

Ce que nous enseigne le développement des TIC, depuis leur émergence massive à partir des années 70, c'est que les processus de production qui les sous-tendent sont fondamentalement les mêmes que ceux de l'industrie, et pour les mêmes raisons, avec les mêmes exigences qualité<sup>6</sup>, mais avec une différence notable liée à leur nature abstraite, immatérielle et microscopique : ça ne se voit pas, ou plutôt, ça ne se voit plus. La différence avec les autres technologies, est que tout le monde à affaire aux TIC, ce qui crée une confusion lourde de conséquence entre l'usage et le savoir faire. Tout le monde est usager de l'automobile ou du téléphone, mais cela ne donne aucune compétence en matière de génie mécanique ou de télécommunications.

Or qui peut croire un instant que créer des services TIC utiles et durables, c'est-à-dire des logiciels, peut se faire en ignorant la technologie sous-jacente ? Tous les leaders des TIC connaissent en détail la puissance et les limites de cette technologie dans laquelle la France a pris sa part jusqu'au début des années 90. Ils ont su créer les méthodes accompagnant cette nouvelle industrie de la connaissance, garantir la qualité et mettre en place des équipes compétentes, motivées et nombreuses. Lors d'une visite chez Oracle au début des années 80, la société comptait moins d'une centaine d'ingénieurs, aujourd'hui elle compte plus de 50.000 collaborateurs dont des milliers d'ingénieurs.

Pourquoi ce qui a été possible aux Etats-Unis s'est avéré impossible en France ? En France, l'innovation est perçue comme un risque par les banquiers ignorant de la technologie, alors qu'aux Etats-Unis c'est une opportunité.

---

<sup>3</sup> Divers textes de H.Poincaré, dans *Science et méthode*, sont particulièrement illustratifs.

<sup>4</sup> Tentative de rapprochement des constructeurs européens, dans les années 70, sabordée par la France.

<sup>5</sup> Cf. Jean-Pierre Brulé, *L'informatique malade de l'état*, Fayard.

<sup>6</sup> L'Inde a créé une *software valley* à Bangalore, avec ses *software factories*, mais le terme était déjà utilisé dans les années 70 pour les premières entreprises des TIC de la route 128 qui ceinture Boston.

Pour comprendre la dynamique de la désindustrialisation en France, il faut remonter au début des années 80 où l'on peut observer les germes de plusieurs phénomènes dont la conjonction va s'avérer catastrophique dans la durée. L'infléchissement de la courbe des emplois industriels date de cette époque.

- Les pouvoirs publics, via le ministère de l'industrie, et de nombreux « experts » économiques, sur la base d'analyses à courte vue, imaginent que les emplois futurs et la croissance se feront dans les services, sans comprendre le lien organique entre industrie, recherche et développement, et services. Dans le domaine des TIC, stratégique s'il en est, on fait l'apologie de nos « grandes » sociétés de services, et on passe Bull, créateur de technologies, par pertes et profits. Des sociétés d'ingénierie de systèmes comme SEMA, SESA ou SYSECA, toutes créées par de grands ingénieurs<sup>7</sup>, rentrent dans le rang des SSII classiques dans le courant des années 90. IBM a racheté la CGI, et récemment ILOG, quant à Business Objects, c'est un rachat par le géant allemand SAP. Bilan : un vrai désastre.
- Les banques se mettent à embaucher des ingénieurs, en les surpayant à plus de 30-40% du prix de marché, pour créer des « produits » financiers qui nous mèneront à la catastrophe que l'on sait, sans parler des salaires scandaleux des traders qui littéralement fascinent et hypnotisent tant l'argent est devenu le symbole indécent de la réussite sociale et une fin en soi. Résultat : les élèves ingénieurs commencent à désertir les filières technologiques.
- Le modèle de management des « business school » américaines diffuse partout. Le mythe du manager professionnel, le « cost killer » quel qu'en soit le prix humain, s'impose progressivement. Les plans de départ à la retraite anticipée de nombreux cadres, immense gâchis humain de compétences professionnelles dont l'éducation nationale est par ailleurs totalement démunie, sont encouragés par les pouvoirs publics qui laissent faire, et qui payent via la dette sociale. Individuellement c'est avantageux, mais socialement catastrophique pour le pays. En parallèle se développe un tissu de cabinets de consultants stratégiques qui « conseillent » les précédents, avec en point d'orgue le rôle du cabinet Arthur Andersen dans le scandale ENRON qui provoquera son démantèlement, ou de la banque d'affaires Goldman Sachs dans la récente crise grecque qui tout en conseillant l'état grec spéculait sur son défaut, qui elle se porte comme un charme, satisfaite de la disparition de sa concurrente Lehmann Brothers. En matière d'éthique, difficile de faire pire. L'éthique de la compétence est remplacée, progressivement, par une éthique de la violence.
- L'image de l'industrie devient lentement mais sûrement négative. L'archétype du chef d'entreprise, promu par les médias, est au choix : Bernard Tapie, spécialiste du rachat au franc symbolique d'entreprises en faillites et de la revente à la découpe ; Michel Haberer (Crédit Lyonnais<sup>8</sup>) ou de Jean-Marie Messier (Compagnie Générales des Eaux, qu'il rebaptisera Vivendi-Universal, comme s'il en avait honte<sup>9</sup>) surnommé par certains le « Mozart de la finance », avec ses chaussette trouées dans son appartement de la 5<sup>ème</sup> Avenue, qui tous deux partent à la « conquête » de l'Amérique avec le succès que l'on sait, sans parler de Michel Bon qui lui, par ses erreurs stratégiques, réussit à mettre France Télécom, fleuron national s'il en est, au bord de la faillite<sup>10</sup>. Pour ne pas être en reste, l'écologie politique, puissamment relayée par les médias, associe en un couple infernal Industrie/Pollution dévastateur auprès des jeunes générations, mais également, pour leur malheur, encouragé par les comportements irresponsables de certains industriels pollueurs ; sans parler de la présentation invraisemblable de l'entreprise dans les manuels d'économie des lycéens publiés sous l'égide de l'éducation nationale. Les services, c'est tellement plus propre, mais il faut attendre le coup de tonnerre de la crise financière de 2008 pour mettre au grand jour la pollution des esprits et le comportement

---

<sup>7</sup> Entre autres Jacques Lesourne, Jacques Stern, Pierre Thellier, tous X.

<sup>8</sup> Mais surtout, ancien directeur du Trésor, poste prestigieux au Ministère des Finances.

<sup>9</sup> Ancien conseiller économique d'Edouard Balladur, quand ce dernier était Premier ministre.

<sup>10</sup> Voir une opinion intéressante sur <http://www.volle.com/opinion/ft.htm>

extravagant des banques qui culminent avec la Société Générale et l'affaire Kerviel. Toute cette économie de casinos et de bluff technologique, la négation des compétences acquises dans la durée, la fuite en avant et l'abandon de toute prudence, au sens de la vertu cardinale de nos moralistes, est le révélateur d'une crise éthique profonde qui concerne en tout premier lieu les élites du pays.

Concrètement, le résultat de tout cela fait qu'une Grande Ecole, comme l'école Centrale, met actuellement sur le marché de l'emploi des ingénieurs hautement qualifiés dont les 2/3 feront tout autre chose que ce pourquoi ils ont été sélectionnés et formés. Le même phénomène s'observe dans tout le groupe de tête de nos GE, à commencer par l'X et ses écoles d'applications. Sur les 25.000 ingénieurs diplômés que produit annuellement notre système éducatif, la tête est décapitée, perdue pour les entreprises technologiques.

Pour l'industrie, donc pour le pays, c'est une vraie catastrophe, car où trouver l'élite technique industrielle, en nombre suffisant, d'une part pour maîtriser la création de produits/services et de processus industriels devenus hautement complexes, là où va se créer une vraie valeur ajoutée durable, et d'autre part pour recréer de la confiance dans nos capacités créatives, redynamiser le corps social hébété par les pertes d'emplois dévastatrices. On n'a jamais vu un consultant créer des biens et services nouveaux.

### ***La logique de l'ingénieur et son rôle social***

La logique de l'ingénieur tient à la nature des problèmes auquel il est confronté. Cette logique résulte de la recherche d'un compromis entre trois types de problématique :

- scientifique et technique, i.e. la R&D, en y incluant la dynamique de l'innovation, la transformation de l'idée en produit, la qualité, et la mise en perspective des technologies,
- économique, en y incluant le coût complet, donc la durée, et le retour sur investissement,
- organisationnelle et humaine, sociale, car toute activité humaine ne marche qu'avec des hommes et des femmes motivés, fussent-ils assistés par une informatique omniprésente de plus en plus intégrée au tissu économique et social.

Pour un ingénieur, il est futile de concevoir des machines que les ouvriers et les techniciens ne sauront pas construire, ni dépanner à des coûts raisonnables, ou qui mettraient la vie des usagers en danger. Pour bien comprendre le processus de montée en maturité de l'expertise technique, il faut certes disposer d'un bon niveau de formation au départ, mais en plus avoir de l'expérience, ce qui ne s'acquiert que sur le terrain, confronté à la réalité, et non pas dans un cabinet de consultants, fut-il prestigieux, et encore moins dans une banque ou un cabinet ministériel. C'est le prix à payer de l'intégration de ces trois problématiques. Il n'y a pas d'échappatoire.

Napoléon disait que la guerre était un art d'exécution. On peut dire la même chose de l'industrialisation : tout est dans la manœuvre, mais pour bien manœuvrer il faut avoir beaucoup navigué, être lucide sur les capacités de l'équipage, pas seulement sur les mers calmes, mais par-dessus tout, connaître le terrain. La culture projet, qui intègre ces trois aspects, est donc naturellement au cœur du métier de l'ingénieur.

On peut confronter cette logique à celles d'autres acteurs économiques qui jouent un rôle majeur dans le bon fonctionnement de notre société.

- La logique du commercial, extravertie, présuppose que tout est vendable si l'on s'y prend bien et que l'on sait développer les arguments qui vont motiver l'acheteur potentiel à passer à l'acte. La communication y joue un rôle essentiel. Mais il ne faut pas se tromper de priorité, le produit/service prime sur le commerce, et c'est l'une des tâches majeures de l'ingénieur, ce que l'on appelle la maîtrise d'ouvrage, que de savoir dialoguer avec les commerciaux et les clients pour concevoir des produits/services vendables répondant à de vrais besoins et non des lubies.
- La logique du financier est la « bottom line » qui doit impérativement être positive. Pour le financier, tout est \$ ou € Et l'immatériel, comme l'information et/ou la connaissance, n'a pas de valeur car on ne sait pas la comptabiliser comme actif dans les normes comptables actuelles. Ceci peut conduire à des décisions financièrement correctes, mais mortelles dans la durée du point de vue de l'entreprise. Dans une

logique financière, typique de la vente « à la découpe », la R&D est un centre de coût, la supprimer assainit mécaniquement le bilan, à court/moyen terme. La vision du financier est, dans le meilleur des cas, à six mois, mais elle peut descendre à 24 ou 48 heures comme nous l'a montrée la chute de Lehmann Brothers, encore cotée AAA la veille de sa faillite. Elle est à l'opposé de la logique industrielle où il faut une vision long terme, assumer les risques de l'innovation avec courage, audace et lucidité, ce qui n'a rien à voir avec les paris des traders. Avec la prégnance des fonds de pensions anglo-saxons<sup>11</sup>, aujourd'hui actionnaires de nombreuses entreprises, la pression financière, en l'absence de régulation, atteint rapidement des niveaux socialement insupportables<sup>12</sup>. De moyen, elle est devenue une fin en soi, complètement déconnectée de la réalité.

- La logique du consultant est, d'une certaine façon, indissociable de celle du dirigeant qui fait appel à ses services, sur le mode : « je me méfie de mes collaborateurs et je ne leur fais pas confiance, donc j'utilise des ressources externes pour me conseiller ». On peut en déduire le premier commandement du consultant : Faire plaisir à son commanditaire. Mais attention, pas de façon ostentatoire ou bête qui par effet inverse ferait passer le commanditaire pour incompetent. Toutes les apparences doivent être sauvées. D'où un deuxième commandement : Le consultant doit être intelligent, irréprochable en termes de diplômes et de références. D'où l'appétence des cabinets de consultants pour les Grandes Ecoles généralistes, X, Centrale, Mines, Ponts, etc. avec un passage traditionnel par le Etats-Unis, et depuis peu chez les émergents Indes, Chine, etc. Le consultant ne doit pas pouvoir être réfuté de l'intérieur, et en particulier pas par ceux dont, d'une certaine façon, il fait le boulot. D'où le troisième commandement : trouver des alliés dans la place, comprendre les rapports de forces en faisant discrètement valoir la relation privilégiée qu'il a avec la direction, identifier ceux qui auront l'écoute du commanditaire. Le discours du consultant sera d'autant plus crédible qu'il aura su se trouver des relais internes. D'où le quatrième commandement : Communiquer et persuader son interlocuteur que telle idée nouvelle est en fait la sienne, et savoir se taire au moment opportun.

Si tout cela a été bien fait, ce qui nécessite un vrai talent de communication et de vraies compétences, au moins livresques, puisées dans des rapports généralement d'origine US dont il ne donnera pas toujours la source, le consultant est fin prêt pour la scène finale de son intervention, sur un terrain préparé à l'avance comme disent les militaires. Les recommandations doivent non seulement avoir l'assentiment du commanditaire, avec pour valoriser l'analyse quelques critiques mineures, mais également celui d'une majorité crédible des acteurs concernés. Une opposition trop franche, type éléphant dans un magasin de porcelaines, qui lève de nouveaux problèmes, est un risque que le consultant intelligent saura éviter.

C'est un jeu à trois, dont celui parfois subtil du consultant qui, à un certain stade, doit s'effacer pour laisser face à face ceux pour le compte desquels il a servi d'intermédiation. Il y a des fois où cela marche et produit une situation nouvelle dans l'entreprise, mais il est facile d'imaginer des situations perverses où le jeu va mal tourner, soit parce que le commanditaire est mégalomane, pathologie assez fréquente chez les dirigeants, et ne fait plus la différence entre autorité et expertise, soit parce que les acteurs concernés, désabusés et démotivés par une n-ième intervention de consultants sont devenus complaisants, où pire, instrumentalisent le consultant, ce qui est assez facile car l'information du consultant et celle des acteurs en poste est totalement asymétrique. Cette situation est fréquente dans les entreprises qui vont mal. D'où un cinquième et dernier commandement : savoir sortir du jeu au bon moment, en restant lucide sur son pouvoir d'influence.

---

<sup>11</sup> Il est proprement incroyable que le seul fond de pension français, PREFON, soit réservé à la fonction publique ; cf. site <http://www.prefon-retraite.fr/> .

<sup>12</sup> Rappelons que plus de 40% des entreprises du CAC40 sont détenues par des actionnaires hors de France.

Un raisonnement de bon sens montre que le domaine où l'intervention de consultants n'a vraiment aucun sens, est celui qui concerne la stratégie de l'entreprise. Comment imaginer des dirigeants à ce point dénués d'idées concernant le devenir de leur entreprise faire appel à des consultants extérieurs pour leur expliquer ce qu'ils doivent faire. Outre le fait que c'est le rôle normal de la R&D d'éclairer l'avenir, si toutefois les financiers ne l'ont pas supprimée, il est certain que les recommandations auront le plus grand mal à être mises en œuvre, et ce d'autant plus que les acteurs concernés, dont c'était le travail, auront été tenus dans l'ignorance. La vraie leçon est qu'un management incompetent ne tirera aucun bénéfice de quelque intervention que ce soit, et on imagine mal un consultant suicidaire proposer la disparition de ceux qui le font vivre. Ceci s'applique encore mieux au fonctionnement de l'état, où le fonctionnaire a l'éternité devant lui et où il suffit d'attendre la fin de l'orage. Trop de consultants dans une entreprise ou une organisation est généralement un signe de mauvaise santé. La guérison ne peut venir que par la mobilisation des ressources internes et l'instinct de survie qui, face au gouffre, fait parfois des miracles.

- Pour l'avocat, nous sommes dans une logique individualiste qui est celle de l'instant présent, où tout se joue dans le temps du procès, comme dans une tragédie de Racine, où chaque mot compte. Notre ministre de l'économie et des finances, Mme Lagarde, célèbre avocate d'affaires, nous a récemment infligé la « rilance », mariage tératologique des mots rigueur et relance, comme si cela allait changer quoique ce soit à notre situation réelle. Une fois le verdict du tribunal prononcé, le jeu est fini, et l'on passe à une autre affaire. Pour un avocat, toute cause est plaidable. Défendre le coupable ou l'innocent avec la même conviction fait la grandeur du métier, et aucune cause n'est perdue d'avance car la vérité est affaire d'interprétation et de respect des procédures, ou de jurisprudence : la rhétorique y tient la place centrale. C'est l'antithèse parfaite de la logique industrielle qui est celle de l'ingénieur, où la nature dicte ses lois, où les limites physiques et humaines sont partout, où tout se joue dans la durée, avec des équipes, où le mot est moins important que la chose, selon l'adage « un bon schéma vaut mieux qu'un long discours », où il faut accepter et gérer le risque, alors que pour l'avocat c'est une opportunité de nouveaux procès. La judiciarisation de la société, si elle n'est pas régulée, est à coup sûr un risque de stagnation dont il faudra tôt ou tard payer le prix, car il n'y a pas d'innovation sans risque.
- Pour un énarque fonctionnaire, tout se gère et s'administre, pourvu qu'il n'y ait pas de vague avec les syndicats ; avec en dernier recours le chèque du contribuable et la drogue dure de la dette. Immortelle, ou vécue comme telle, l'administration échappe sans difficulté à toute logique d'amélioration. Toute tentative d'évaluation, tout ce qui ressemble de près ou de loin à une mesure de performance, est assimilée à une sanction. Vouloir en comprendre le fonctionnement, ne serait-ce que pour l'informatiser correctement, s'avère une tâche à haut risque, personne ne voulant assumer la responsabilité qu'informatiser une mécanique inefficace ne pourra que la rendre encore plus inefficace. Toute difficulté rencontrée devient une opportunité pour créer commissions et groupes de travail qui s'autoalimentent en problématiques nouvelles dans une mécanique parfaitement conforme à ce qu'a décrit C.N.Parkinson<sup>13</sup>, il y a déjà bien longtemps. C'est le système qui est à revoir, et les individus, aussi courageux soient-ils, n'y peuvent pas grand-chose. La décision est entre les mains des politiques qui, en théorie, pilotent l'administration. Dans l'entreprise en situation darwinienne, le risque est partout, le courage, la prudence, l'audace payent, et celui qui n'apprend pas de ses erreurs est condamné ; tout le contraire de l'administration. Parachuter un énarque fonctionnaire à la tête d'une entreprise, décision totalement impensable en Allemagne, est un vrai risque économique qui peut coûter cher à l'entreprise, et à la

---

<sup>13</sup> Voir son livre célèbre, *Les lois de Parkinson*, Laffont, préface d'A.Sauvy, 1983 ; original *Parkinson's law*, 1957.

société, comme nous l'enseigne les tristes exploits de Ms. Haberer<sup>14</sup>, Bon et autres J6M. Pire, s'il échoue il pourra quand même se recycler comme consultant, donner des « conseils », et en désespoir de cause réintégrer l'administration, privilège exorbitant digne de l'ancien régime.

Le fonctionnement équilibré d'une société a besoin de cette logique d'ingénieur<sup>15</sup> pour comprendre où elle va, et surtout comment elle y va, en évitant de laisser trop de monde dans le fossé. Dans le monde complexe où nous vivons, avec ses 9 milliards d'habitants dans un avenir proche, c'est désormais un enjeu vital.

### **Quelques exemples de situations utiles à la compréhension des phénomènes socio-économiques**

#### *Les facteurs d'échelles*

Le facteur d'échelle est certainement ce qui différencie le mieux les sciences fondamentales des sciences de l'ingénieur. Le principe du moteur à explosion est connu au plan théorique depuis 150 ans, mais du point de vue de l'ingénierie, à part les principes, il n'y a presque rien de commun entre un moteur de mobylette, un moteur de voiture et un moteur d'avion. Ce qui les différencie radicalement est l'échelle des puissances. Une vibration gênante sur le premier peut devenir destructrice sur le second et explosive sur le troisième. Une panne sur les deux premiers est un désagrément, mais un risque mortel sur le troisième.

On retrouve ce type de facteur dans tous les domaines de l'ingénierie, même dans les plus récents comme l'ingénierie du logiciel sans laquelle il n'y aurait pas de TIC.

Rien à voir entre la réalisation d'un logiciel de 100.000 instructions (comme Word qui en compte 256.000), un logiciel de un million d'instructions (comme le logiciel Open Source LINUX, qui en compte 2,7 millions) et un logiciel de 10 millions d'instructions (comme un grand logiciel de pilotage d'un système complexe, par exemple le réseau de distribution de l'énergie électrique). Le facteur d'échelle joue cette fois sur le nombre et la variété des personnes qu'il va falloir mobiliser pour le réaliser : de quelques dizaines à plusieurs milliers. Tout le monde peut comprendre que piloter une équipe d'une dizaine de collaborateurs n'a rien à voir avec le pilotage d'un grand projet qui va mobiliser quelques milliers, avec des dizaines de parties prenantes dont il faudra coordonner les actions pour que le projet aboutisse. Le facteur d'échelle peut à lui seul faire varier les coûts de réalisation d'un facteur deux ou plus.

Dans un projet qui mobilise une quinzaine de personnes il est envisageable que le directeur du projet puisse tout contrôler : il aura des nuits très courtes et devra jouir d'une solidité mentale exceptionnelle, c'est faisable bien que non recommandé. C'est parfaitement impossible dans un projet qui va en comporter plusieurs centaines, et a fortiori plusieurs milliers. Dans ce dernier cas, il n'y a que la confiance réciproque, la compétence et la loyauté des acteurs, ce à tous les échelons hiérarchiques, qui permettra le succès, la défiance étant un risque mortel. Dans de tels projets, la diversité culturelle est un avantage compétitif et une vraie richesse, à l'opposé du corporatisme des corps d'état et de l'administration. Par définition, dans un grand projet il y aura beaucoup de règles à respecter, donc beaucoup de devoirs pour les participants. La liberté nécessaire à la créativité ne pourra s'exercer que dans un respect absolu des règles librement acceptées : c'est le prix de la cohérence de l'action. Une capacité à créer de la confiance et du consensus, en plus de compétences techniques indiscutables, est ce qui va caractériser le bon chef de projet. A l'opposé, le fonctionnaire pointilleux, sans légitimité technique, qui va asseoir son autorité sur sa position hiérarchique ira droit dans le mur de la complexité où il s'écrasera. Les vertus et l'éthique font partie de la vie en entreprise, ce que l'on commence à redécouvrir, elles en sont les métarègles qui structurent les comportements<sup>16</sup>. Rabaisser les collaborateurs de

---

<sup>14</sup> Rappelons que lors de la quasi faillite du Crédit Lyonnais, il a même été assez courageux pour se défausser sur Pierre Bérégovoy, Premier Ministre à l'époque de ses extravagances.

<sup>15</sup> Voir le petit livre de R.Germinet, directeur de l'École des Mines de Saint-Étienne, *L'ingénieur au chevet de la démocratie*, Odile Jacob, 2004.

<sup>16</sup> Voir le livre de John Rawls, *Théorie de la justice*, au Seuil.

l'entreprise au rang de machines, oublier que ce sont des humains et rien que des humains, peut conduire à des situations dramatiques comme ce qui c'est produit récemment à France Telecom. La notion de facteur d'échelle prend toute sa pertinence quand on veut comparer la performance des différents pays et de leur économie. On peut les classer en trois catégories, sur une échelle 10/100/1.000 :

- les petits pays type Danemark, Suède, Suisse, ... où la population est de l'ordre de la dizaine de millions d'habitants,
- les moyens comme la France ou l'Allemagne, l'Angleterre, l'Italie, ... qui en compte moins de cent,
- les très grands comme la Chine ou l'Inde où la population dépasse le milliard.

En mettant à part les moyens grands comme les Etats-Unis ou la Russie qui sont des fédérations.

La gouvernance, comme sa racine grecque Κυβερνητική l'indique, est l'art du pilotage, d'où est venu le mot de cybernétique, forgé par N.Wiener quand il a fondé la science des systèmes autorégulés dans les années 1940. Gouverner un système, c'est avant tout le réguler, avec un principe d'équité et/ou de survie qui en spécifie la finalité. La régulation est fondée sur le principe de la rétroaction où l'on mesure en temps réel les effets des décisions prises, l'ajustage se faisant par mesure des écarts entre ce qui a été décidé et ce qui est constaté in situ, comme ce que fait le marin à son gouvernail une fois le cap choisi par le capitaine.

Selon la taille du système, i.e. son nombre de pièces, et son organisation on pourra opter pour un pilotage centralisé s'il est petit, ou au contraire une distribution massive, avec principe de subsidiarité et autonomie, s'il est grand. Les systèmes biologiques complexes hautement organisés, comme un organisme vivant avec ses trillions de cellules, intègrent ces deux types de solutions, centralisation pour tout ce qui est actes conscients et projets, avec le cerveau comme chef d'orchestre, mais distribution massive pour le système immunitaire qui est, et doit être, un pur automatisme, dont la défaillance produit les maladies dites auto-immunes, généralement mortelles, comme le SIDA<sup>17</sup>.

Ce qui est fascinant dans un pays comme la Chine est le problème de sa gouvernance, et ce indépendamment de toute considération politique, telle que son histoire multi millénaires nous le révèle<sup>18</sup>. Avec ses 1,3 milliards d'habitants c'est 20 fois la France. Si l'on voulait doter la Chine d'une chambre des députés analogue à la notre, il faudrait plus de 12.000 députés pour une représentativité identique, avec un gouvernement de plus de 600 ministres. La province du Guangdong, avec ses grandes métropoles Canton et Hong-Kong, compte plus de 90 millions d'habitants. Le simple bon sens montre l'absurdité d'une comparaison qui ne prend pas en compte le facteur d'échelle. Notre façon de gouverner n'est de toute évidence pas transposable à la Chine. On le voit d'ailleurs très bien avec l'Europe qui ne compte que 400 millions d'habitants mais dont la gouvernance se cherche encore, ce qui n'empêche pas les uns et les autres de donner des leçons. Ramené à l'échelle de la France, le Tibet c'est la Corse. Il faut nous rappeler que le démantèlement de l'empire austro-hongrois, suite au traité de Versailles de 1919, a exacerbé les nationalismes avec comme résultat la catastrophe de la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale.

Dans une logique d'ingénieur, on peut retenir comme principe fondateur que le mode de gouvernance pertinent pour un système hautement complexe comme l'est une société humaine, dépend très largement de l'échelle du système. L'ignorer, c'est à coup sûr préparer une catastrophe inéluctable.

### *La régulation des systèmes*

Les phénomènes naturels utiles à l'homme sont presque tous instables, comme le sont les explosions. La machine à vapeur, cheval de trait de la révolution industrielle, en est un parfait exemple. La force motrice du feu, si l'on chauffe trop fort, va faire exploser la chaudière. Problème : comment réguler cette puissance et l'apport de combustible, sans tout casser, et recueillir une énergie utile à l'homme ?

---

<sup>17</sup> Cf. le livre fascinant du professeur J-C.Ameisen, *La sculpture du vivant*.

<sup>18</sup> Voir le livre de J.Fairbank, M.Goldman, *Histoire de la Chine*, Taillandier 2010 (Traduction).

C'est l'invention du régulateur à boules de James Watt qui va permettre de doser exactement l'apport énergétique pour domestiquer la force motrice du feu. Tout le monde peut aller admirer la simplicité de ce mécanisme en allant visiter les collections du musée du CNAM.

La distribution de l'énergie électrique est une immense machine, avec des milliers d'équipements, qui régule l'offre énergétique, i.e. la production de toutes les centrales nucléaires, thermiques et hydrauliques, avec les demandes aléatoires des entreprises et des particuliers. Problème de l'ingénieur électricien : comment s'assurer que l'équilibre instable offre/demande est respecté, et éviter une coupure intempestive qui provoquerait un arrêt catastrophique de tout le système électrique ?

Là encore, la régulation est la clé, et le régulateur à boules montre sa puissance métaphorique. Réguler, c'est d'abord mesurer ce qui est produit et ce qui est consommé, puis comparer. On ajuste en allumant/éteignant en jouant sur la dynamique des phénomènes physiques sous-jacents aux différentes centrales, grâce à deux niveaux de compensation : régional d'abord, puis national. Pas facile d'allumer/éteindre une centrale nucléaire, mais très facile de fermer/ouvrir une arrivée d'eau dans une centrale hydraulique. En désespoir de cause, si l'on ne peut pas compenser la demande en achetant du courant disponible, au niveau national, dans d'autres pays, il faudra couper le courant sélectivement dans des secteurs jugés non prioritaires.

La leçon est que dans un système complexe, instable et imprévisible par nature, tout doit être pensé hiérarchiquement en termes de régulation, de compensation et de mesure des paramètres à réguler, de façon à faciliter le travail du pilote.

Par antithèse, on comprend mal l'inconscience des responsables de la gouvernance monétaire mondiale<sup>19</sup> qui ont dérégulé à tout va le système monétaire, en allant jusqu'à permettre d'inventer des ressources virtuelles et des actifs fictifs sans contrepartie dans l'économie réelle. Une telle politique de régulation appliquée au système électrique européen aurait immédiatement plongé l'Europe dans le noir, au moindre incident sur le réseau de transport. A ce stade d'irresponsabilité, ce n'est même plus du bricolage.

Le marché n'est pas, et ne peut pas être, un régulateur au sens systémique du terme. Les comportements mimétiques et biaisés y jouent un trop grand rôle, ce qui interdit l'usage de la loi des grands nombres et du calcul des probabilités. Ce que les financiers appellent « la main invisible » du marché est une étrange métaphore qui rappelle le doigt de Dieu du plafond de la chapelle Sixtine, peint par Michel-Ange, comme si le marché était porteur d'une quelconque sagesse, alors que cette main ne fait que cacher la cupidité des maîtres de la finance, type Bernard Madoff, qui fut président du NASDAQ, ou Lloyd Blankfein, CEO de Goldman Sachs, qui a outrancièrement profité des *subprimes*, avec des bonus extravagants pour goinfrer ses traders. Faire perdre 100 € à 10 millions de personnes, cela fait un « casse » à un milliard, c'est toute l'astuce, lamentable mais efficace car individuellement indolore !

Il est évident que le cours de bourse ne reflète ni la « valeur », ni ne « mesure » les fondamentaux de l'entreprise. Par exemple, le 19/10/1987 la bourse américaine chute de 23% sans qu'aucun événement puisse expliquer une telle chute. Sur une durée aussi courte, les sociétés cotées avaient la même « valeur » les 18, 19 et 20. Dans un autre ordre de « mesure » bidon, J.Stiglitz cite le cas de la société espagnole Telefonica qui voit son résultat de 2001 passer de +2,1Md d'€ à -7,2Md d'€ par un simple changement de règles comptables. Il est impossible de réguler quoique ce soit sur de telles bases. Quand Jean-Pierre Jouyet<sup>20</sup> nous dit « il faut arriver à plus de transparence », c'est une litote pour dire qu'il y a pas de mesure et qu'on ne sait pas comment ça marche ! Quand on s'interroge sur les méthodes des prévisionnistes et de la crédibilité des prévisions dont tout le monde sent le caractère « fumeux », on se moque du monde car n'importe quel étudiant en physique sait qu'on ne peut rien prévoir si l'on ne dispose pas d'abord d'un système de mesure rigoureux. Dans une

---

<sup>19</sup> Le livre témoignage de Joseph Stiglitz, *The roaring nineties*, traduit en *Quand le capitalisme perd la tête*, disponible en Poche, est à la fois passionnant (c'est un prix Nobel, qui a travaillé avec le Président Clinton), et confondant de naïveté ou de totale irresponsabilité, au choix, vis-à-vis des acteurs politiques, face à la cupidité de ceux qui manipulaient le marché, ou face à la crédulité du grand public et des actionnaires à qui les premiers ont fait croire tout et son contraire.

<sup>20</sup> Interview dans *La Croix*, du 15/09/2010.

véritable approche systémique, le premier devoir des responsables de la gouvernance économique serait de définir, peut être avec l'aide de physiciens et de mathématiciens, les grandeurs intrinsèques de la valeur des entreprises, ainsi que les instruments permettant d'en effectuer la mesure. Si ce n'est pas possible, il est du devoir des responsables d'en informer le public pour que les errements que l'on vient d'observer ne se reproduisent plus, ou du moins que chacun en accepte le risque en toute conscience. C'est une tromperie tragique de faire passer pour certains, aux yeux du grand public, des éléments d'information qui ne sont même pas aléatoires au sens mathématique du terme, quand ils ne sont pas le résultat de manipulations pures et simples comme le scandale Madoff nous l'a malheureusement révélé. Personne n'oserait monter dans un avion conçu avec de telles méthodes.

### *La complexité*

La complexité, science de l'interdépendance, est sans aucun doute le grand défi de l'ingénierie du XXI<sup>ème</sup> siècle. Pour créer du simple, du point de vue de l'utilisateur, il faut intégrer et faire fonctionner de concert de très nombreux équipements de façon sûre. Les téléphones portables ou les boîtiers GPS de nos véhicules sont de bons exemples de ce que la complexité peut nous amener d'utile, encore que l'ergonomie<sup>21</sup> laisse souvent à désirer.

Ce qui caractérise le mieux les systèmes complexes est la notion d'émergence. Dans un système complexe, il est impossible de tout prévoir a priori car le nombre de cas possibles devient vite immense<sup>22</sup>. Les interactions entre les éléments du système vont faire émerger des propriétés nouvelles que ne possède aucun des éléments pris séparément. C'est la mise en relation qui crée une entité, produit et/ou service, nouvelle. Certaines de ces propriétés sont utiles et voulues par le concepteur du système, d'autres sont indésirables, et en conséquence elles sont redoutées.

La notion d'émergence trouve ses racines au plus profond des structures ultimes de la matière. C'est un débat fondamental de la physique d'aujourd'hui comme nous l'explique le prix Nobel R. Laughlin<sup>23</sup>. Ce qui assure la cohérence de la matière à notre échelle résulte des interactions via des particules spéciales, les bosons, qui sont le support des forces fondamentales, comme les forces atomiques ou les forces électromagnétiques, sans lesquels notre monde n'existerait pas. L'Europe s'est offert un instrument gigantesque, à 4,5 milliard d'€, le LHC du CERN, pour essayer de voir la plus célèbre de ces particules fantômes, le boson de Higgs qui intervient dans les forces gravitationnelle.

Les propriétés émergentes entretiennent une relation profonde avec la notion d'échelle. Au dessus d'un certain seuil, ce qui n'est que du désordre microscopique, va devenir une propriété macroscopique fondamentale de la matière, la température, dont la mécanique, appelée thermodynamique, est le fondement théorique de toute la science des moteurs. Tous nos bacheliers ont entendu parler de la loi de Mariotte et du principe de Carnot qui fixent le rendement théorique maximum de tout moteur thermique.

Pour maîtriser la complexité, sans faire courir de risque à l'utilisateur, il faut se donner les moyens d'observer les états stables du système dans la durée de façon à en comprendre progressivement toutes les propriétés cachées pour être capable de les reconstruire. C'est le rôle des sciences fondamentales que de donner ces éclairages dynamiques, sans lesquels il n'y aurait pas d'ingénierie possible.

La logique de l'ingénieur, face à ce type de situation, consiste à diviser le problème à résoudre en éléments dont les propriétés sont parfaitement connues et maîtrisées, puis à les assembler en unités plus vastes, à les intégrer comme on dit dans le jargon, en dotant cette nouvelle entité de dispositifs de mesures permettant de tracer tous les nouveaux états cohérents résultant des interactions, et ainsi de suite jusqu'au plus haut niveau. Cette nouvelle discipline, encore peu

---

<sup>21</sup> Voir Charles Morel, *L'enfer de l'information inutile*, Gallimard.

<sup>22</sup> Un simple tableau de bord avec 10 boutons à 3 positions {repos/avant/arrière} a 59.049 états possibles ; une mémoire d'ordinateur de 1 Gigaoctets pourra prendre  $256 \times 2^{10^9}$  états possibles, chiffre colossal !

<sup>23</sup> Voir son livre de témoignages, d'une grande profondeur, *A different universe; Reinventing physics, from the bottom to the top*, Basic Books, 2005, traduit (mal) chez Fayard, *Un univers différent*.

enseignée<sup>24</sup>, est appelée « architecture » des systèmes dont la systémique, science des systèmes, constitue le volet théorique. C'est une discipline vitale pour l'avenir de nos sociétés hautement complexes.

En dérégulant et en mondialisant, il est clair que nos « chers » financiers ont mis en place une machinerie économique financière d'une complexité infernale qui ne pouvait qu'exploser à la figure de ses apprentis sorciers de créateurs. Les leçons de Jay Forrester<sup>25</sup>, vrai fondateur de l'ingénierie système au MIT, Professeur à la Sloan School of Management dans les années 60-70, étaient malheureusement oubliées depuis belles lurettes<sup>26</sup>.

### *Les débats entre économistes*

Lorsqu'on regarde avec un œil d'ingénieur un débat d'économistes, on est frappé par le fait qu'ils ne sont d'accord sur presque rien et qu'ils n'ont pas de méthodes pour se mettre d'accord. Ils sont généralement tous très forts pour nous expliquer pourquoi une catastrophe s'est produite, mais étrangement discrets pour ce qui concerne la prévision. En fait, il n'y a pas de critère de vérité économique, et pour être lapidaire, l'idéologie domine comme on l'a vu, soit avec le socialisme dit « scientifique », ou soit avec le libéralisme pur et dur avec son culte du marché dont J.Stiglitz fait le procès, malheureusement trop tard. On parle du « marché » comme d'un arbitre suprême : le marché tranchera, il ne faut pas mécontenter le marché, c'est bon pour le marché, etc. qui du coup se voit doter d'attributs quasi divins et parfaitement non mesurables. Comme on dit au poker, c'est parole contre parole. Là réside la faiblesse de la « science » économique qui promet plus qu'elle ne peut tenir, mais bien aidée en cela par des cohortes de financiers, d'avocats et de journalistes qui vivent de ses dérivées. Le fait de ne pas pouvoir expérimenter et/ou la difficulté de la mesure des grandeurs économiques permet d'interpréter à sa convenance. Les modèles économiques ne marchent que quand tout va bien, en régime stationnaire, pas en période de crise, quand tout devient turbulent et chaotique. Ce n'est d'ailleurs pas de sa faute, vu l'extrême complexité des situations socioéconomiques où la part du psychologique et de l'irrationnel des agents ne peut pas être ignorée. Tout cela sur un fond de crédulité du grand public qui n'y comprend plus rien, quand on ne le prend pas carrément pour un imbécile ignorant. La confusion est largement entretenue par les médias complaisants et par nos hommes politiques, démagogie électorale oblige, ce qui n'aident pas à la clarification des débats. Qui peut croire un seul instant, en son âme et conscience, qu'une rentabilité à la Madoff est économiquement crédible. Comme au poker, il y a forcément un gogo quelque part. Dans le système économique, de nombreux aspects relèvent de jeux à sommes nulles, fondé sur l'échange et la coopération des agents qui cherchent par différentes stratégies à maximiser leurs gains tout en minimisant leurs efforts correspondant à leur travail, comme l'ont montré J. von Neumann et O.Morgenstern dans leur célèbre livre<sup>27</sup> fondateur de la théorie des jeux, il y a bien longtemps. La monnaie virtualise la richesse réelle, ce qui fluidifie les échanges et évite le troc, mais à tout moment ce qui a été virtualisé doit pouvoir être compensé par de la richesse et des biens réels, immédiatement ou de façon différée via le crédit. C'est en ce sens que le jeu des échanges est à somme nulle. Faute de quoi la monnaie perd son sens. Dans la crise des *subprimes*, rien de solide ne compensait les prêts hypothécaires consentis aux malheureux emprunteurs<sup>28</sup>. Comme dans l'équilibre OFFRE énergétique / DEMANDE des consommateurs d'énergie, dans le système électrique, cette correspondance basique doit être impérativement respectée, car on ne joue pas au poker avec les lois de la nature<sup>29</sup>, mais on s'autorise à spéculer, via des modèles probabilistes mathématiquement bien fondés, sur le fait que les consommateurs

---

<sup>24</sup> Elle l'est au Cnam et à l'école Polytechnique. Voir le site de l'association CESAMES, [www.cesames.net](http://www.cesames.net).

<sup>25</sup> Voir ses livres récemment réédités, *Principles of systems, Urban dynamics, ...* ; ne pas confondre avec Viviane Forrester !

<sup>26</sup> En France, Jacques Lesourne, professeur émérite du Cnam (entre autre), a été un militant passionné de cette approche, dès 1974.

<sup>27</sup> *Theory of games and economic behaviour*, Princeton University Press ; non traduit en français.

<sup>28</sup> Voir l'excellent article de E.Perrot, *Subprimes : la morale de l'histoire*, Etudes, Octobre 2008.

<sup>29</sup> En l'occurrence la loi de Kirchhoff que tous les bacheliers connaissent.

n'allument pas tous leur lumière au même instant. Si la relation virtuel/réel se rompt, la catastrophe systémique est inévitable.

Les débats d'économistes sont tout l'inverse des débats d'ingénieurs qui, confrontés à un système complexe, savent qu'il leur faudra composer avec l'incertitude et le risque. D'où l'utilisation des modèles physico-mathématiques des phénomènes naturels, fondement des sciences de l'ingénieur, qui fournissent des critères de validation quand ils sont construits selon les règles. L'intérêt irremplaçable de la modélisation est qu'elle trace une frontière rigoureuse entre ce qui est formalisé, donc mathématiquement certain dans les hypothèses du modèle, et le reste du monde où l'incertitude règne, où la seule méthode disponible est l'expérimentation. En conséquence, en cas de défaillance, le modèle fournit une méthodologie pour d'une part effectuer un diagnostic précis de la panne et pour d'autre part revenir à un état cohérent du système par rapport au monde réel. Dans l'incertitude, le seul recours sérieux est la mesure et l'historisation des états du système. Et quand on ne sait pas, mieux vaut le reconnaître en toute humilité plutôt que de faire semblant, et éviter le ridicule dévastateur type Tchernobyl où le nuage était partout, sauf en France ; ou plus récemment, à l'inverse, avec le nuage de cendre du volcan islandais Eyjafjallajökull qui a bloqué tout le trafic aérien européen pendant huit jours sur la foi d'un obscur modèle dont personne n'avait entendu parler.

Cela ne veut d'ailleurs pas dire que les réalisations des ingénieurs soient parfaites, loin de là, elles sont faillibles, comme tout ce qui est humain. Mais en tout état de cause le risque encouru restera sous contrôle, et la même erreur une fois comprise ne se reproduira plus. L'ingénierie système est un processus d'amélioration continue, où tout incident est disséqué et analysé pour enrichir les connaissances. L'erreur y occupe une place centrale au cœur des préoccupations car tout doit être fait pour qu'elle se manifeste, tout l'inverse du pas vu pas pris et de la culpabilisation de l'erreur qui peut conduire à utiliser son intelligence pour cacher ses turpitudes. Pour l'ingénieur, la contrainte fondamentale et son obsession est de toujours pouvoir diagnostiquer la panne et remonter à sa cause, ce que l'on appelle la sûreté de fonctionnement. C'est la grandeur de ce métier qui fait de cette exigence déontologique un principe absolu qui démarque le vrai travail d'ingénieur du bricolage.

Dans le monde des systèmes complexes, il n'y a pas de certitude absolue, mais l'incertain est quelque chose qui se mesure. Le système doit être instrumenté comme on dit dans le jargon, et scruté en permanence pour alerter l'opérateur humain, en dernier recours, qui agira avec toutes les ressources de son intelligence.

Rien de tout cela, hélas, dans l'« ingénierie » financière qui est le contre exemple absolu d'une ingénierie digne de ce nom. Les banquiers se sont montrés incapables de faire la traçabilité dans leurs « produits » financiers entre ce qui est sain et ce qui est pourri. Or la traçabilité est une exigence de base de tout élément constitutif d'un système complexe. Pire, avec le changement des normes comptables dans les années 90s, ils ont rendu encore plus illisibles les bilans financiers des entreprises, déjà très réducteur par rapport à leur valeur réelle ; tout cela bien sûr avec la bénédiction des gouvernements, des autorités financières, du FMI, des banques centrales, etc. Dans un avion ou une voiture chaque pièce est inventoriée, le constructeur en connaît l'origine et les conditions de sa fabrication. En cas de rupture d'une pièce, on peut remonter toute la chaîne. La notion de produit financier est pour le moment un oxymore, une contradiction dans les termes, et il est urgent que les banques, via leurs systèmes d'information, adoptent une vraie attitude conforme aux bonnes pratiques de l'ingénierie réelle et utilisent les ingénieurs qu'elles ont embauchés pour faire ce pour quoi ils ont été formés, pas comme joueurs de poker avec les mathématiques comme alibi.

### *L'acceptation positive du risque et le principe de précaution*

Les comportements qui se développent autour du principe de précaution et du refus du moindre risque, la recherche obsessionnelle de boucs émissaires plutôt que l'analyse objective des problèmes, sont proprement stupéfiants dans une culture qui a inventé la science moderne et a su l'appliquer pour le bien être de sa population, et au final de l'humanité, en combattant sans relâche la superstition, l'irrationnel et la pensée magique. Comment qualifier cette tendance à la fois mortifère, et socialement suicidaire dans la durée, qui est la négation absolue de ce que l'Europe, ses savants, ses ingénieurs, ont produit de meilleur. Comment ce retour de

l'obscurantisme a-t-il été possible, comment nos hommes politiques ont-ils pu manquer du discernement le plus élémentaire, de courage et de lucidité, pour aller jusqu'à inscrire le principe de précaution dans la constitution. La confusion entre autorité et expertise, entre compétence et pression médiatico-politique, est totale.

On prête à de Gaulle la formule souvent reprise : « Des chercheurs j'en trouve, des trouveurs j'en cherche ». Il est facile d'imaginer ce personnage hors du commun maugréant ce genre de propos à l'encontre de son ministre de la recherche venu demander une rallonge budgétaire. Cependant, tous les actes du Général prouvent qu'il avait un immense respect pour les ingénieurs et les scientifiques, en bon militaire qu'il était, et qu'il savait mettre les banquiers à leur juste place qui n'était pas la première. Impossible de faire entrer quelqu'un dans un char, dans un avion ou dans un sous-marin nucléaire s'il n'a pas une confiance totale dans ceux qui les ont conçus et réalisés. Il était en cela d'une grande exigence avec ses experts, y compris morale, et on l'imagine assez mal entouré d'une cour de consultants et de communicants, dont il avait horreur. Les premières écoles d'ingénieurs ont été créées pour répondre aux besoins militaires. L'école Polytechnique et certaines de ses écoles d'applications sont toujours gérées par le ministère de la défense, L'écoles des Mines par le ministère de l'industrie, etc. pas par le ministère de l'éducation nationale. On peut, sans faire de politique fiction, imaginer la réaction du Général face à un ministre venu lui vanter les mérites du principe de précaution ... L'économie est une forme de guerre où le terrain conquis s'appelle part de marché, et où les divisions blindées s'appellent entreprises industrielles, les services jouant le rôle de la logistique, certes importante, mais comme son nom l'indique : au service, en soutien, pas en première ligne. De surcroît, le Général savait tourner la page, en regardant vers l'avenir qui ne dépend que de nous, comme il l'a fait avec le chancelier Adenauer.

Dans notre économie mondialisée, le principe de précaution à toutes les caractéristiques d'un boulet et d'une auto flagellation que l'Europe s'est mis autour du cou, ce que les grands pays émergents du BASIC ont bien compris. Pour eux, hors de la science et des ingénieurs, point de salut. Comme nos grands parents l'avaient compris, ils acceptent le risque du progrès. Comble d'hypocrisie, l'Europe a même essayé d'imposer ses normes, avec la taxe carbone, après avoir laissé partir la plupart de ses industries polluantes hors de chez elle. Mais à Copenhague, même avec un bon avocat, ce n'était pas plaidable, tant la ficelle était grosse.

Outre le fait que le principe de précaution appliqué à lui-même induit un paradoxe sémantique du type « ce que je dis est faux », il développe des comportements sociaux fondés sur la peur et la défiance, ce qui va exacerber le repliement sur soi des individus et encourager la formation de groupes sectaires tellement persuadés qu'ils détiennent la vérité que tout dialogue constructif avec eux deviendra impossible. Une forme amoindrie de ce principe s'applique également à des comportements déviants de managers professionnels formatés MBA qui comprennent tout mais ne savent rien. Ne faisant pas confiance à leurs équipes, la précaution consiste alors à s'entourer de consultants qui ne feront souvent rien d'autre que répéter ce qu'ils ont entendu, sans vraie valeur ajoutée. L'effet sur la motivation sera déplorable, le summum étant de délocaliser la production, donc les ingénieurs, conformément au rêve, en fait un cauchemar, de Serge Tchuruk, ex PDG d'Alcatel-Lucent, d'une entreprise sans usine. Le comble étant atteint avec les agences de notation qui notent les entreprises qui les payent ; difficile de faire pire en matière de confusion des genres et de conflits d'intérêts, à vrai dire intolérable et impardonnable.

Les ingénieurs définissent le risque comme la probabilité de survenue d'événements aux conséquences néfastes. Du point de vue mathématique, c'est l'espérance mathématique d'une perte, produit de la probabilité de l'événement redouté par le coût de ses conséquences.

Comme nous l'avons vu ci-dessus, tout système complexe engendrera inéluctablement de tels événements. Le problème est de mettre en place des mécanismes de contrôle au sein des projets qui vont permettre de les détecter et de les gérer, sans complaisance. C'est ce que l'on appelle le management des risques qui est l'un des piliers de l'assurance qualité.

La difficulté bien réelle de ce type de management est d'une part l'évaluation de la probabilité de l'événement et d'autre part son interprétation par les acteurs humains impliqués dans les décisions à prendre qui peuvent aller jusqu'à l'arrêt du projet. De telles situations entremêlent de façon étroite des problèmes d'ordre technique comme évaluer une probabilité, et des facteurs

organisationnels et humains où la psychologie des acteurs va jouer à plein. Peut-on démêler cet écheveau inextricable<sup>30</sup> ?

La réponse proposée par les ingénieurs de la NASA<sup>31</sup>, à l'époque des missions Apollo, a été de jalonner le déroulement des grands projets spatiaux par des revues de projets indépendantes à caractère obligatoire, soigneusement orchestrées comme on va le voir succinctement. La finalité de ces revues est d'augmenter le niveau de confiance que les acteurs et les parties prenantes ont dans le projet en évitant les conflits d'intérêts de ceux qui sont pour, tout autant que ceux qui sont contre, en objectivant au maximum tout ce qui peut l'être en matière d'argumentation positive ou négative dans une vraie maïeutique appliquée à l'ingénierie. La subtilité de la méthode se situe à l'interface autorité/expertise de la chaîne de décision qui in fine déclenchera telle ou telle type d'action, car dans un projet complexe le directeur sera nécessairement amené à prendre des décisions, actes d'autorité, dans des domaines qui ne sont pas de sa compétence.

La première condition, pour que cela marche est de mettre les acteurs face à leur responsabilité, chacun à leur niveau. En conséquence, c'est toujours un acteur physique, i.e. le chef, qui décidera, et jamais un comité, pour la simple raison que la confiance et la loyauté naissent du vécu entre les acteurs physiques, pas avec des abstractions ectoplasmes qui diluent la responsabilité, signe clinique d'une absence de courage. C'est une situation bien connue des militaires qui ont d'ailleurs théorisé le fonctionnement de leurs chaînes de commandement pour en faciliter l'apprentissage<sup>32</sup>.

La seconde condition est d'organiser la constitution du bureau de revue de façon à éliminer au maximum les conflits d'intérêts pouvant résulter des jeux d'acteurs<sup>33</sup>. Pour cela, les membres du bureau seront choisis en fonctions de leur compétence et de leur connaissance du sujet, ou de sujets connexes, mais en aucun cas ils ne feront partie ni du projet, ni de sa ligne hiérarchique, de façon à ne pas biaiser leur jugement. De plus, une ou deux personnalités incontestables, extérieures à l'entreprise, jouissant d'une totale liberté de parole seront intégrées à l'équipe de revue, et qui souvent en assureront la présidence. Ces revues fonctionnent comme des audits, mais avec une différence essentielle : elles sont complètement intégrées aux processus projet, et elles en constituent le système immunitaire.

La troisième et dernière condition est que le management de l'entreprise, incarné par son président, soit convaincu qu'il s'agit d'une condition de survie de l'entreprise tout autant qu'un avantage compétitif, qui permettra à chacun de montrer le meilleur de lui-même et d'améliorer ses compétences individuelles pour le bénéfice de tous. En fait la revue est créatrice d'information pour l'entreprise, et la vraie mesure de ses capacités collectives.

Le cérémonial de ces revues met l'accent sur la compétence et la transparence. Le projet communique ses documents, explique ses options et ses choix, fait part de ses doutes. En échange, l'équipe de revue documente soigneusement ce qu'elle pense être un risque, fournit les éléments justificatifs qui étayaient son analyse et la gravité du risque, et propose des solutions pour le résoudre. En ce sens, l'équipe de revue est partie prenante du projet. Elle n'est pas là pour sanctionner et punir, mais pour aider à résoudre positivement les risques et créer une dynamique de la confiance ; tout le contraire du principe de précaution. Une revue réussie est une revue où chacun se sent enrichi par l'échange qui vient d'avoir lieu. C'est une forme d'écologie de l'esprit et des organisations, pour paraphraser le titre d'un ouvrage de G.Bateson<sup>34</sup> fondateur de l'école de Palo-Alto dans les années 60-70, au cœur de la Silicon Valley.

Par antithèse, on comprend le rôle purement négatif du principe de précaution, dont le seul résultat sera de créer de la défiance sociale en ouvrant de nouvelles possibilités à la judiciarisation, cassant un peu plus le lien social entre les membres d'une société déboussolée qui a surtout besoin de solidarité et d'estime de soi.

---

<sup>30</sup> Dans ce domaine, une des meilleures références reste l'étude de G.Allison, *Essence of decision*, dont on vient de fêter le jubilé ; première édition 1971.

<sup>31</sup> Voir le NASA *Systems engineering handbook* pour les détails ; site :

<http://education.ksc.nasa.gov/esmdspacegrant/Documents/NASA%20SP-2007-6105%20Rev%201%20Final%2031Dec2007.pdf> .

<sup>32</sup> Voir la méthode MARS (site : [www.cicde.defense.gouv.fr/IMG/pdf/PIA/PIA-05.401.pdf](http://www.cicde.defense.gouv.fr/IMG/pdf/PIA/PIA-05.401.pdf) ).

<sup>33</sup> De toute évidence, c'est ce que n'a pas su faire le ministère de la santé avec la vaccination pour la grippe H1N1.

<sup>34</sup> Cf. son livre *Vers une écologie de l'esprit*, 2 Vol. traduits au Seuil, 1977 et 1980.

Il appartient aux ingénieurs de mieux communiquer et de redonner confiance dans notre capacité à résoudre les problèmes, dont beaucoup résultent de notre laxisme et de notre manque de courage. L'exemple de grandes réalisations comme le Viaduc de Millau ou l'Airbus A380 peuvent y aider. Avec de bonnes méthodes, bien enseignées, bien expliquées, beaucoup de problèmes en apparence insolubles, parce que mal enclenchés et mal régulés, trouvent leur solution. Il est urgent qu'un enseignement de bon niveau, fait par des gens sérieux, concernant les systèmes d'information qui aujourd'hui sont les porteurs naturels de la complexité systémique, soit dispensé partout, à commencer par les écoles de commerce/management et l'ENA, et pas seulement dans les écoles d'ingénieurs, où il y aurait aussi beaucoup à dire.

## **Conclusion**

### *Des ingénieurs socialement responsables dans une société mondialisée équilibrée*

Dans la perspective du monde multipolaire qui s'ouvre devant nous, quelle va être la place dévolue aux ingénieurs ? Il est certain que pour faire vivre les 9 milliards d'habitants que les démographes nous annoncent, en donnant à tous du travail et un rôle social, sans asphyxier la planète, les problèmes vont être immenses. Il est non moins certain que la façon de les aborder ne pourra pas être idéologique, le 20<sup>ième</sup> siècle ayant fait la démonstration que c'était la pire des solutions. Ce que nous enseigne également la science naissante des systèmes est que le mode de gouvernance mondiale, bien trop complexe, ne pourra pas être centralisé mais distribué hiérarchiquement, chacun des pôles ayant à mettre en place les modalités de régulation qui leur sont propres. Néanmoins, les pôles devront partager un certain nombre de règles communes, ce que dans le jargon des systèmes on appelle interopérabilité, sans lesquelles aucun équilibre durable ne pourra émerger, et cet équilibre ne pourra être que dynamique, lié aux mouvements et aux échanges entre les pôles. Détenteur de ressources correspondant à leur aire géographique et à leur potentiel humain, les pôles devront équilibrer leurs échanges, comme dans le système électrique.

Aujourd'hui, la complexité est partout, dans nos organisations, dans les projets, dans les objets de la vie courante qui intègrent une somme de technologies impressionnante dont le meilleur exemple est l'objet symbole de la mondialisation : l'ordinateur lui-même. La capacité à maîtriser la transversalité, l'intégration des compétences et des cultures, dans une logique constructive qui est celle des ingénieurs, c'est le défi qu'il nous faut relever, avec audace et courage, en respectant les personnes, et ce n'est pas un pari du style cours de bourse. Plus que jamais, on est dans le « *human use of human beings* », pour reprendre le titre d'un célèbre ouvrage de N.Wiener.

Le monde qui est en train de disparaître sous nos yeux est un monde profondément déséquilibré, où toute la planète était au service de quelques nations occidentales. Le paradoxe de la situation actuelle est que le niveau de vie des pays les plus avancés, souvent en phase de vieillissement accéléré, ne se maintient plus que par la dette<sup>35</sup>, laquelle dette est détenue en partie par les pays du BASIC, et plus particulièrement par la Chine. Tôt ou tard, il faudra bien en sortir, en faisant le minimum de casse.

Nous allons avoir besoin de toute notre intelligence et de tout nos savoir-faire pour gérer cette transition délicate. Les grands pays émergents comme la Chine et l'Inde, ceux dont la masse humaine est 20 fois la notre, ont fait le choix de miser sur la formation de leur jeunesse, en mettant le paquet dans les formations scientifiques, et plus particulièrement les formations d'ingénieurs. Pour connaître le système Chinois de l'intérieur, ils vont avoir fort à faire car ce qui s'est fait en 150 ans chez nous devra être fait en 30 ou 40 ans, non pas seulement chez eux, mais nous avec eux. C'est dire les turbulences qui nous attendent tous.

Malgré ses turpitudes dont certaines ont atteint le comble de l'horreur, après deux guerres mondiales dont elle porte l'entière responsabilité, après le communisme et le nazisme, l'Europe est encore détentrice d'un immense savoir et de savoir-faire uniques, d'un patrimoine culturel inestimable, qui bien exploités peuvent être mis au service de tous. Elle a également démontré qu'en un peu plus d'une génération, elle a été capable de se reconstruire moralement,

---

<sup>35</sup> Voir le livre de J.Attali, *Tous ruinés dans 10 ans ?*, Fayard 2010.

politiquement et économiquement, capable d'accueillir généreusement les anciens pays d'Europe de l'est victimes de la dictature communiste, avec un modèle social que beaucoup de pays nous envient, que sa capacité créative était intacte comme une petite équipe de chercheurs et ingénieurs du CERN l'ont montré en inventant le Web<sup>36</sup>, devenu en à peine 20 ans un outil de communication unique entre les humains, ou encore les ingénieurs de SAP créant un logiciel de gestion de production devenu une référence mondiale. Mais cet équilibre, comme tous les équilibres dynamiques, reste fragile. Le nationalisme qui a failli nous faire disparaître, est toujours prêt à renaître et il y a toujours des prophètes de malheur pour prêcher le repli sur soi, la sortie de l'euro, etc. et l'on peut être sûr qu'on trouvera des hommes politiques pour exploiter la démagogie.

La seule façon de transcender les égoïsmes nationaux est de se concentrer sur les problèmes qui nous attendent, et de les résoudre : ils sont immenses. Le besoin en énergie de la Chine, pour satisfaire la demande légitime de sa population, en évitant d'empoisonner la planète avec des centrales à charbon, est de 300 centrales nucléaires. Pour une production équivalente au parc français, il en faudrait 1200 ! La seule façon de satisfaire cette demande est de les aider en les formant, et de transférer la technologie que nous maîtrisons, car les entreprises qui aujourd'hui ont les savoir-faire sont incapables de répondre à une telle demande. C'est un immense défi, parmi d'autres, comme les biotechnologies ou la gestion de l'eau, la lutte contre la pollution, le recyclage des déchets, que seuls les ingénieurs et non les idéologues seront à même de pouvoir relever, sans arrêter la machine économique.

L'un des plus grands scientifiques du 20<sup>ème</sup> siècle, John von Neumann, mathématicien de génie, juif hongrois, formé en Allemagne à Göttingen auprès de D.Hilbert, réfugié aux Etats-Unis dès 1933, professeur à l'IAS de l'université de Princeton, véritable inventeur des ordinateurs modernes, fondateur avec Norbert Wiener, autre transfuge européen professeur au MIT, de la science des systèmes complexes, dans l'introduction d'une de ses œuvres majeures en économie : *Theory of Games and Economic Behaviour* nous disait, il y a maintenant plus de 60 ans :

*“The great progress in every science came when, in the study of problems which were modest as compared with ultimate aims, methods were developed which could be extended further and further. ... The sound procedure is to obtain first utmost precision and mastery in a limited field, and then to proceed to another, some that wider, and so on. ... The experience of more advanced sciences indicates that impatience merely delays progress, including that of treatment of the «burning» questions. There is no reason to assume the existence of shortcuts.”*

Un beau programme pour la génération d'ingénieurs qui a l'avenir de la planète entre ses mains. Espérons que nos hommes politiques sauront gérer la transition avec courage et audace, et qu'ils trouveront les arguments à faire valoir auprès de nos concitoyens pour ramener à la raison les faux prophètes et autres partisans d'une décroissance économique que personne ne saura gérer, ce qui, à coup sûr, pourrait engendrer d'énormes conflits, voire de nouvelles guerres. La Chine, dont quelques uns des plus hauts dirigeants sont des ingénieurs, avec les autres pays du BASIC ont commencé le travail à Copenhague, et au G20 : facilitons leur la vie avant qu'il ne soit définitivement trop tard.

---

<sup>36</sup> En particulier Tim Berners-Lee et Robert Caillau ; voir le site du CERN <http://public.web.cern.ch/public/fr/About/WebStory-fr.html> et <http://www.lhc-france.fr/spip.php?article312>