



COMMUNICATION DE L'ACADÉMIE DES TECHNOLOGIES

La technologie

Ecole d'intelligence innovante

Pour son introduction au lycée dans les filières de l'enseignement général

par

Bernard Decomps, Armand Hatchuel, Dominique Peccoud, Gérard Roucairol

Membres de l'Académie des technologies

29 octobre 2012

- **AVERTISSEMENT**

Le terme « technologie » est pris ici dans son sens premier et savant de « science des techniques : étude systématique des procédés, des méthodes, des instruments ou des outils propres à un ou plusieurs domaine(s) technique(s), arts(s) ou métier(s). » (*Trésor Informatisé de la Langue Française*).

Cette « science des techniques » s'exprime, comme pour toute science, dans des théories diversifiées. Nous présentons ici, parmi celles arrivées aujourd'hui à un degré de maturité suffisant, quatre d'entre elles : la technologie structurale, la technologie génétique, la technologie générique et la technologie générale.

Pour éviter les confusions avec l'emploi, « abusif » selon le Grand ROBERT, du pluriel « technologies » pour désigner des techniques innovantes, la présente communication recourt tantôt à « technologie », toujours employé au singulier, tantôt à des périphrases comme « démarche technologique » ou « discours sur les techniques ».

Liminaire – Pourquoi cette communication aujourd’hui ?

Tout laisse à penser que la compétitivité d’une économie nationale et de son industrie est fortement marquée par l’approche technologique véhiculée par son système d’enseignement.

*Dans nos Lycées, la technologie n’est pas absente. Sa présence reste toutefois le plus souvent masquée. Tantôt, dans des sections qui forment à des métiers techniques qui supposent davantage de dextérité manuelle que de réflexion intellectuelle, elle ne peut avoir une place comme discipline scolaire à part entière. Tantôt, dans les filières générales scientifiques, elle est enseignée implicitement en présentant toute technique comme procédant naturellement des sciences fondamentales, en empruntant le canal des sciences appliquées. C’est l’approche de la **technologie structurale**.*

Elle est au cœur d’une compréhension des objets techniques existants ; elle permet d’améliorer leur robustesse et l’évaluation de leurs performances. Elle est cependant insuffisante pour comprendre les mécanismes de l’innovation et de la création des objets techniques. Pour y parvenir il est nécessaire de focaliser l’attention sur les rationalités, tant historico-économiques que créatives, qui permettent d’élucider les désirs et finalités qui permettent l’émergence et le renouvellement des techniques. Mettre en œuvre ces rationalités dévoile alors un dynamisme inverse de celui révélé par la technologie structurale, où l’objet technique émergent renouvelle les cadres et les méthodes de la connaissance scientifique. Ainsi, à trop penser que l’objet technique n’est qu’une déduction de la science, une société court un double risque : celui de réduire le potentiel d’innovation et celui de rater les voies nouvelles de l’exploration scientifique.

Bien entendu, la science est souvent suffisamment avancée pour simuler certaines fonctions d’un objet technique existant. Elle fournit alors à l’expert ingénieur les garanties qu’il recherche, en particulier dans une activité de certification de conformité à des standards d’un objet technique. Toutefois, l’expert ne trouve pas toujours un appui suffisant sur la seule science pour formuler ses avis ; il est plus démuné encore quand il est confronté à des objets techniques en cours de mûrissement. L’ingénieur de conception, quant à lui, pourra trouver, dans des simulations, des idées d’amélioration de l’objet technique qu’il élabore.

Une technologie trop réductrice

Pour expliquer le manque de dynamisme de l’industrie, on met en cause l’attractivité insuffisante du métier d’ingénieur, la formation de ses filières, le manque d’investissements matériels et humains. Certes, ces questionnements sont légitimes, mais ils ne dispensent pas de soulever une interrogation de nature plus profonde : savons-nous observer les objets techniques par le service rendu, par leur valeur intrinsèque, par l’ingéniosité qui permet de les concevoir, de les maîtriser, de les fabriquer et de les vendre ? En éclairant par des lois scientifiques le bon fonctionnement des objets techniques, la technologie structurale laisse en suspens des interrogations majeures touchant à leur genèse et leur devenir. Peut-on repérer dans un objet technique achevé l’enchaînement de diverses finalités, marques de nouveaux désirs humains, d’innovations techniques et d’approfondissements proprement

scientifiques ? D'où peut jaillir l'innovation de demain ? Une technologie ne répondant qu'à la question du « comment » ne fournit pas les véritables clefs du progrès ; en ce sens, réduite à la technologie structurale, elle manque une partie de ses objectifs.

Attenter à la prééminence presque exclusive de la technologie structurale dans les enseignements visant à former les élites de notre pays ne va pas sans risques, même s'il ne s'agit pas de nier l'importance d'une solide formation scientifique. C'est en effet susciter une réflexion nouvelle sur les rapports entre l'ingénieur et le chercheur, l'ingénieur et le technicien. C'est aussi débattre du primat des sciences dans une sélection des futures élites de l'industrie qui teste davantage l'aisance dans la manipulation de concepts bien connus et solidement fondés que l'imagination créatrice d'innovation. On ne peut s'engager à la légère dans cette mise en cause, sans disposer d'excellents arguments et de méthodes rigoureusement balisées.

- **Le premier argument est très simple : avons-nous le choix** d'occulter la question lorsqu'il s'agit de préparer une génération d'inventeurs et d'entrepreneurs qui prendront le risque de se tromper sans l'assurance que procure la « démonstration scientifique » du bien-fondé de l'invention ou de la bonne santé de l'entreprise. L'innovation suppose que ses auteurs aiment et sont capables de naviguer au milieu des écueils et pas seulement de savoir tenir un cap en haute mer sans houle et sans tempête. Si les coups de projecteur dans les découvertes scientifiques sont utiles et nécessaires, l'ingéniosité d'une innovation réussie implique, par la liberté qu'elle suppose, de s'aventurer hors des chemins déjà balisés par la modélisation.
- **Le second argument passe par un détour : nous ne partons pas les mains vides.** En quelques décennies notre compréhension des objets techniques a été considérablement enrichie par l'apport des philosophes, des historiens, des sociologues, des sciences de la cognition et de l'éducation, des théoriciens de la conception et de l'organisation... Surtout nous disposons d'autres approches technologiques, aussi rationnelles que l'approche structurale. Elles épousent la diversité des cheminements entre l'objet technique et la pluralité de ses fonctions ; elles restituent de plus près l'ingéniosité de sa mise au point. Elles soulignent aussi la capacité des nouvelles techniques à relancer l'exploration scientifique. Il faut en prendre conscience, la technologie n'est pas une simple raison pratique ou une science appliquée, c'est le champ d'intégration des formes les plus complexes de la raison : de la compréhension du réel à l'appréhension inventive de l'inconnu.
- **La réforme des lycées, amorcée en 2010 pour s'achever en 2013, offre une opportunité supplémentaire d'intervenir :** En effet, la création d'enseignements d'exploration en classe de seconde donne désormais accès à des corpus originaux sur différentes questions majeures pour mieux appréhender le monde contemporain. Chaque élève dispose de deux (ou trois) enseignements de ce type, dont un au moins consacré à l'économie. La technologie figure sous différentes formes et l'une d'elles, dédiée à « la création et l'innovation technologiques », se démarque très nettement de l'approche structurale, démontrant, au passage, que ce type de présentation au Lycée ne relève pas de l'utopie. Compte tenu de la place de la technologie dans la vie de la Cité comme dans le dynamisme de l'industrie, l'initiative est à encourager et mériterait d'être poursuivie jusqu'au baccalauréat dans toutes les différentes filières de l'enseignement général.

De nouvelles approches destinées à stimuler l'innovation

Dans cette communication, nous évoquons essentiellement deux corpus qui marquent la technologie comme discours indispensable à la présentation ou représentation des techniques, en particulier dans l'approche pédagogique sur laquelle nous nous focalisons ici. Il s'agit d'approches codifiées, enrichies par de nombreux auteurs tant au plan national qu'au plan international¹ :

- D'une part, la «**technologie génétique**» de Gilbert Simondon² (1924-1989). Elle offre un cadre qui éclaire l'histoire des objets techniques, leur évolution en « lignées » et leur adaptabilité à la multiplicité des contextes de leurs usages ;
- d'autre part, des approches plus récentes rassemblées sous le terme de «**technologie générique**³». Elles explorent les conditions de l'invention, la conception innovante des techniques, lorsqu'il faut rompre avec d'anciennes lignées pour faire face à de nouvelles contingences, notamment celles qui sont imposées aujourd'hui par le développement durable.

Comment notre enseignement, qui consacre la prééminence de la science sur la technologie, parviendra-t-il à intégrer ces approches alternatives sans perdre de sa force et de sa rigueur, avec quels professeurs pour les mettre en pratique et les diffuser, avec quel mode de recrutement et de formation des formateurs ?

Nous voulons répondre à cette question au niveau des **lycées** qui nous semble le plus préoccupant pour l'avenir du pays : c'est à l'âge de ses élèves que se cristallisent dans leur esprit les places respectives de la science, de la technologie et plus largement de la culture.

Comme l'ont bien compris les promoteurs de l'enseignement d'exploration dédié à la « création et à l'innovation technologique », c'est probablement à cet âge qu'il est le plus pertinent de commencer à expliquer en quoi la technologie structurale est insuffisante ; puis de montrer comment l'approche génétique de Simondon et l'approche générique qui la complète permettent de rendre compte ou d'élaborer un objet technique en prenant acte de son identité provisoire puis des surprises qui naissent de son devenir (en particulier par ses usages nouveaux) et enfin de son obsolescence. On discutera enfin des rapports entre technologie et société qui nous permettra de dire quelques mots de la «**technologie générale**» de Leroi-Gourhan. Un tel exposé n'aurait pas grand sens sans des renvois précis à des objets ou systèmes techniques exemplaires par leur capacité à mettre en lumière les apports respectifs des différents discours sur la technologie. Il s'agit, en réalité, d'une méthode pédagogique dont les chances de succès impliquent un engagement des professeurs et requiert, de leur part, une contribution active à la collation et au partage de nouveaux exemples.

¹ Voir par exemple la revue américaine « Technology and Culture » ou l'ancienne revue « Culture technique »

² Gilbert Simondon : « Du mode d'existence des objets techniques » – Aubier 1958.

³ « Générique » signifie ici : relatif à l'engendrement, à la capacité à générer, à inventer de nouvelles générations... Cet usage se retrouve aussi en mathématiques et en philosophie.

Nous remettons à plus tard le propos d'examiner la transposition de la réponse dédiée aux classes d'enseignement général des Lycées à d'autres publics afin de dégager des perspectives comparables pour ceux qui vont suivre des enseignements techniques et professionnels.

Introduction – Rappel historique sur les approches de la technologie et leur diffusion

Pour décrire les objets techniques, comprendre comment ils remplissent la fonction qui leur est assignée, définir leurs performances, leurs dangers ou les limites de leur adaptabilité, l'approche la plus intuitive et la plus ancienne est celle de la **technologie structurale**. Il suffit d'ouvrir l'un quelconque des traités classiques publiés en France depuis le XVIII^e siècle pour la trouver exposée. Les ouvrages de *Maschinenbau* allemands de la même époque sont très différents. La technologie structurale opère une décomposition cartésienne des objets techniques en éléments structurels (principes, formes ou mécanismes) suffisamment simples pour être classés selon un ordre disciplinaire et soumis au regard de la science. Ainsi, chacun de ces éléments peut-il donner naissance à un corpus de connaissances qui sont accumulées de jour en jour. Telle est la méthode très majoritairement retenue en France dans les formations d'ingénieurs ou de techniciens supérieurs, qu'il s'agisse de préparer des concepteurs d'objets matériels ou immatériels, de systèmes techniques, voire de systèmes de systèmes. Ainsi représenté, l'univers technique apparaît comme un produit raisonné des sciences, le réceptacle des applications de celle-ci avec, chemin faisant, un passage par le statut de sciences appliquées qui se constituent en autant de sous-disciplines universitaires qu'il y a d'éléments structurels. Avec un corollaire pour celles et ceux qui aspirent à faire carrière dans le monde de la technique : l'impératif de disposer d'une base scientifique très solide et, dans la société française, la quasi-certitude pour les jeunes qui s'engagent sur d'autres chemins de se heurter au « plafond de verre » de l'opérateur moyen ou du bac pro qui bloquent leur ascension sociale.

D'autres cultures, qui n'ont pas à rougir, bien au contraire, de retard en matière de développements technologiques, ont fait d'autres choix d'orientation. Les mécanismes fondateurs de la découverte ou de l'innovation, ceux qui alertent de l'obsolescence des objets techniques y font partie des enseignements généraux initiaux des élites, sans passer au préalable par la médiation de la science.

Aujourd'hui, au niveau des écoles et des collèges, ce retournement de la pensée pointe dans la pédagogie de Georges Charpak pratiquée largement dans « La main à la pâte ». On ne peut accuser son auteur d'être un scientifique de bas étage ! Les objets qui y sont proposés aux regards des adolescents sont des objets techniques, bien plus simples à appréhender que ne le sont les phénomènes naturels ou la mise en évidence d'une loi fondamentale. Sans le dire – et pourquoi ne pas le dire ? – la manipulation des techniques devient un passage formateur pour l'accès à la pensée scientifique, sinon un présupposé dans une carrière scientifique. De fait, la manipulation d'objets techniques accompagne chez les jeunes enfants la découverte de l'espace, des formes et des couleurs, mais aussi le développement de la pensée conceptuelle comme l'atteste les développements récents en psychologie de l'enfant.

En effet, dans ce domaine, le « modèle dit de l'escalier » développé par Piaget a longtemps conforté la vision classiquement étagée des apprentissages qui n'est pas sans analogie avec la vision traditionnelle du passage de la technique à la science. Le premier développement de l'enfant (avant deux ans) – dit stade « sensori-moteur » – y était perçu comme un apprentissage dominé par les opérations de l'action immédiate. L'enfant y découvrait les

objets et leurs propriétés par le jeu des manipulations et des sensations. En revanche, la conquête des concepts abstraits ou des notions symboliques était réservée aux stades ultérieurs du développement. Ce modèle est aujourd'hui remis en cause par de nombreux travaux⁴. L'acquisition de notions abstraites et de raisonnements cognitifs, dont la catégorisation conceptuelle et la capacité à reconnaître la pensée des autres, apparaît aux débuts mêmes du stade que l'on pensait uniquement « sensori-moteur ». Ainsi, les temps de l'action et de la manipulation des objets sont inséparables d'une pensée abstraite, quand bien même serait-elle rudimentaire. Pour se développer, le petit enfant ne s'enferme pas dans les structures de ses sens et de ses gestes, il lui faut aussi être un peu technologue. La nouvelle psychologie de l'enfant insiste sur cette double capacité cognitive qui se forme d'emblée et va ensuite se complexifier et s'amplifier avec le temps. Ces découvertes confirment que l'apprentissage des techniques n'est pas séparable de l'approche technologique qui lui donne ses représentations et sa signification dans la relation aux autres. Plus ces démarches technologiques rendent compte de l'histoire de l'objet, de la multiplicité des perceptions qu'il engendre, des différentes formes qu'il pourrait prendre dans le futur, plus elle contribue à accélérer et élargir l'intelligence sensible, scientifique et sociale de l'enfant.

Au Lycée, la réforme de 2010 a mis en œuvre, en classe de seconde, des enseignements exploratoires sur des questions d'intérêt majeur pour la vie de la Cité. Parmi eux, les enseignements d'exploration prenant pour thème la technologie, plus particulièrement celui portant sur « la création et l'innovation technologique » ouvrent des perspectives très intéressantes. Néanmoins, alors que l'exploration de l'économie figure dans le cursus de tous les élèves, la création et l'innovation technologique est proposée dans très faible minorité d'établissements et touche moins d'un élève sur cinq. De surcroît, la proportion, parmi eux, de celles et ceux qui poursuivent cette initiation jusqu'au baccalauréat reste infime.

Dans l'esprit des futurs passionnés d'innovation technologique, il ne reste pratiquement plus que la voie classique de la seconde générale puis de la section S pour se diriger vers les métiers de concepteurs et d'ingénieurs, une voie qui passe toujours par le préalable de la maîtrise des disciplines scientifiques. Tant que la technologie structurale est la pédagogie exclusive, sa dépendance totale de la science ne plaide guère pour son introduction officielle dans les programmes ; c'est une perte de temps, peut-être un boulet, si on prête l'oreille aux discours sur la pureté de la science et sur les menaces d'asservissement que font peser sur elle les finalités trop « matérielles » de la technologie. Il est alors facile de comprendre que l'enseignement technologique ne trouve plus preneur, tant il est dévalorisant pour les jeunes qui aimeraient pourtant rester en contact avec les techniques et leur développement. Certes, les ingénieurs diplômés et les docteurs rencontreront dans leur parcours les autres approches de la technologie avant leur insertion professionnelle et parviendront à corriger cette lacune, au plus grand bénéfice des grands groupes industriels français ou étrangers qui attirent le plus grand nombre d'entre eux. En revanche, la dépréciation de l'image de la technologie amplifie l'appétit d'un diplôme de niveau 1 pour de nombreux BTS, DUT ou licences pro des spécialités industrielles. Trop souvent, il s'en ensuit pour eux un abandon

⁴ Pour une introduction voir l'article de Olivier Houdé, « La psychologie de l'enfant, quarante ans après Piaget », Sciences Humaines n°3 2006.

des métiers de la production pour des activités tertiaires. De surcroît les PME, productrices d'objets techniques de base au rôle déterminant dans l'économie nationale, peinent à offrir des carrières attractives aux ingénieurs et voient s'éloigner ces spécialistes très compétents. Et comment ne pas regretter le manque absolu de clés de lecture de la technologie, générateur de méfiance pour celles et ceux qui rejoignent les autres filières générales (lettres et arts, économie et gestion). Parvenues à des postes de leaders de la société, ils seront trop souvent des détracteurs de l'évolution technologique, alors que, comme dans tous les pays technologiquement avancés, les premiers utilisateurs des objets techniques innovants sont d'une importance capitale pour l'émergence de services innovants qui peuvent se développer autour de leurs usages ? !

Pourtant, comme le montre l'initiative prise par l'éducation nationale avec la mise en œuvre du module « création et innovation technologique », des alternatives à l'approche par la technologie structurale ont vu le jour et sont à la portée des lycéens. La plus anciennement connue, sous le nom de **technologie générale**, s'inscrit délibérément dans le domaine des sciences de l'homme et de la société comme une perspective essentielle pour appréhender l'homme en société dans la voie tracée par l'anthropologue Leroi-Gourhan. L'approche la plus récente, développée sur la côte est des États-Unis, prolonge en quelque sorte la technologie générale pour intégrer, avec l'analyse du cycle de vie des objets techniques, la finitude de la planète terre et la responsabilité juridique des concepteurs d'aujourd'hui sur l'état dans lequel il la laisseront aux générations futures. Ce sont là, les fondements d'une **technologie éco-compatible** et du discours sur les techniques baptisé d'**écotechnologie**.

Est-il nécessaire de solliciter l'ensemble des sciences de l'homme et de la société pour créer l'espace où se développe la réflexion technologique ? S'il fallait en passer par là, reconnaissons que la reconquête des élèves techniciens ou ingénieurs ne serait pas aisée. Avec la suppression de l'histoire en terminale S, la seule occasion d'une réflexion construite sur l'évolution temporelle de l'Homme en société et sur les équilibres du Monde aura bientôt disparu du bagage des futurs ingénieurs ! Si le droit de cité de l'économie et de la gestion n'est pas discuté, l'époque tend à faire barrage aux autres sciences sociales qui risqueraient – sait-on jamais ? – d'encombrer leur esprit.

Il vaut mieux développer des approches technologiques qui n'exigent pas un important préalable culturel, ni dans les sciences exactes, ni dans les sciences humaines et sociales, mais au **contraire stimulent par elles-mêmes** la découverte de ces savoirs. C'est la méthode que nous souhaitons mettre en avant dans la présente communication. Ces approches peuvent prendre deux formes complémentaires aujourd'hui bien explorées et consolidées.

La première consiste à s'intéresser à l'objet technique, à le manipuler ou à observer la façon dont d'autres s'en servent, en étendant en quelque sorte la méthodologie de « La main à la pâte » à des objets ou des systèmes plus complexes. Cette approche est celle de la **technologie génétique**. En analysant l'objet technique dans son originalité, dans son *individuation* selon son fondateur, le philosophe Gilbert Simondon, on découvre en lui une sorte d'intelligence intrinsèque, par l'analyse de sa différence avec d'autres objets techniques dédiés à la même fonction mais procédant d'acquis scientifiques différents, ou encore avec d'autres objets techniques procédant d'acquis identiques, mais dédiés à des fonctions différentes. De cette façon, il devient possible de cerner l'origine de sa valeur ajoutée, de discerner sa vertu émancipatrice, pour celles et ceux qui vont l'utiliser, ou ségrégationniste, pour d'autres qui n'y auront pas accès. On vise par-là à préparer chez les

élèves le moment de l'innovation ou à observer les signes de son obsolescence. Le passage par la technologie génétique conduit souvent à appréhender des évolutions de l'objet technique qui élargissent ses territoires d'application, une sorte de brevet de versatilité ; C'est une qualité majeure dans un monde au changement accéléré, où le temps de retour sur investissement dans une technique innovante de rupture est de plus en plus court.

La seconde approche, dite **technologie générique**, se place d'emblée dans une logique de l'innovation et de la discontinuité, lorsque l'objet technique n'est pas encore là ou qu'il est encore largement inconnu. Si l'on peut faire remonter cette approche aux premiers traités d'architecture, elle connaît un développement accéléré avec les théories de la « construction » des machines, au début du XIX^e siècle. Cette approche s'ancre aujourd'hui dans les recherches sur la rationalité créatrice et les théories modernes de la conception. L'objet d'une technologie générique est d'analyser la conduite d'un développement technique novateur où les finalités et les moyens mobilisés doivent être définis avec originalité et pertinence. Il n'y a plus de solution unique à suivre, et les mêmes finalités peuvent être atteintes par des solutions techniques différentes. En outre, la capacité à faire adhérer différentes parties prenantes au projet (investisseurs, chercheurs, usagers, chargés de la maintenance...) compte autant que la capacité à renouveler les connaissances scientifiques qui seront utilisées dans la nouvelle technique. La technologie générique prend toute sa place quand il s'agit de relever des défis qui s'imposent, à partir de considérations totalement extérieures aux univers scientifique et technique, – comme le véhicule automobile à 1000 € ou la jonction terrestre de grandes villes françaises en une heure, pour citer des exemples de grande actualité – et quand il s'agit de stimuler la créativité de tous les acteurs d'une chaîne de production ou d'un nouveau service.

En France, il suffit de consulter un ouvrage quelconque d'enseignement technique pour constater le primat de la technologie structurale. Où que se portent les regards dans le monde de l'ingénierie, peu d'institutions se sont aventurées à l'extérieur du modèle pédagogique dominant de la technologie structurale en apprenant à jongler avec la technologie génétique et la technologie générique. Rares sont celles qui se sont laissées entraîner hors du sillage traditionnel et se sont efforcées de traduire à de futurs leaders de l'innovation, qui doivent être des technologues avertis, un vocabulaire parfois déstabilisant pour le non-spécialiste, notamment quand il fait usage de mots du vocabulaire de tous les jours ; on s'arrêtera, certes, pour comprendre des notions, développées par Gilbert Simondon, comme « individuation », « ontogénétique », « transduction » ou encore pour distinguer « l'artéfact » et le « technique » ; mais qui prendra le temps d'introduire la dialectique du concret et de l'abstrait, si originale chez le même Simondon ? Pourtant, elle permet de comprendre comment se forme l'identité d'un élément technique : un transistor par exemple.

La première ambition de la présente communication, est donc de donner toutes leurs chances aux Lycéens désireux d'exercer leur créativité par une initiation concrète à diverses « démarches technologiques », entendues comme des *discours sur les techniques*, à toutes les étapes de la formation. Comment procéder ? Il ne s'agit pas, bien sûr, de les présenter de manière théorique mais d'illustrer, sur quelques techniques exemplaires, comment leur conception et leur mise en œuvre ont requis la confrontation des différentes approches et de suggérer comment cette façon d'opérer peut changer la société et mobiliser tous les talents.

Première partie

Les principaux discours sur la technologie

1. La technologie structurale : son caractère attractif et ses limites
2. En quoi les techniques ne sont-elles pas réductibles au statut d'applications de la science ?
3. Une école alternative de la rationalité offerte par la technologie génétique
4. La technologie générique et son impact sur la créativité
5. Une mise en perspective de la place des techniques dans la construction des sociétés
Encart n°4 : Technologie, économie et gestion
Encart n°5 : L'écotechnologie
6. La technologie sous le regard de l'histoire : quelques repères

1. La technologie structurale : son caractère attractif et ses limites

La technologie structurale est particulièrement attractive quand les sciences fondamentales et les sciences appliquées, qui permettent de rendre compte du fonctionnement d'objets ou systèmes techniques existants, sont assez développées pour prévoir le comportement de ces objets dans des environnements divers et les modéliser.

C'est une première explication du pouvoir d'attraction de la technologie structurale et de l'intérêt d'y recourir dans un grand nombre de tâches d'expertise confiées aux ingénieurs. Encore faut-il réunir deux conditions : un état satisfaisant des connaissances dans les sciences « supports », tant fondamentales qu'appliquées, et un niveau d'optimisation de l'objet technique suffisamment proche de l'objet final pour ne pas remettre en question son principe général et l'inventaire des sciences support mobilisées autour de lui pour permettre de le modéliser. Dans ce contexte précis, l'expert dispose d'outils performants pour explorer les domaines de pertinence de l'usage de l'objet technique et prévoir ses défauts ou ses déficiences quand on l'en éloigne. À l'intérieur de ces domaines, la relation de l'objet avec un corpus scientifique induit une sensation de sécurité bien fondée. Quand l'expert ne dispose pas d'une modélisation suffisamment sûre, il a la possibilité de soumettre l'objet technique matériel à diverses expérimentations physiques, comme il pourrait le faire pour un système naturel. De la sorte, modélisation et expérimentation physique constituent des liens familiers entre l'objet technique et des domaines scientifiques fondamentaux ou appliqués. On entre alors dans un cercle vertueux étonnant où, pour beaucoup de ces domaines scientifiques, l'objet technique en viendra à ouvrir de nouveaux terrains d'investigation.

Mais il faut prendre garde à ne pas aller au-delà et, en particulier, ne pas considérer que les objets techniques sont naturellement engendrés par la Science seule. En effet, la technologie structurale se révèle inopérante pour rendre compte de mutations majeures au sein d'une séquence d'objets techniques dédiés à un même usage ou quand il s'agit de créer un objet technique totalement neuf. La technologie structurale borne son champ d'investigation aux objets techniques existants ou, relativement à la marge, aux objets techniques très proches de leur état final, essentiellement pour procéder à leur ajustement à tel ou tel usage ou à l'accroissement de leur robustesse. En revanche, quand il s'agit d'interpréter de grandes mutations et de stimuler l'innovation et la créativité, l'ingénieur doit être capable de maîtriser d'autres approches technologiques. La raison en est simple à formaliser : les techniques ne sont pas réductibles au statut d'applications de la science.

Encart n° 1

La technologie STRUCTURALE et le présent des objets techniques

1. La démarche

Elle analyse le fonctionnement d'un objet technique à partir des sciences dures, fondamentales ou appliquées, en dégagant ses références « savantes » dont l'objet technique se présente comme un « produit ». La méthode analyse des objets complexes selon divers points de vue scientifiques.

2. Sa diffusion dans les apprentissages

Elle est largement déployée dans le dispositif français de formation des ingénieurs et techniciens supérieurs. Le substrat scientifique est une condition d'accès nécessaire à cette approche « savante » de la technologie.

3. Ses atouts et limites de pertinence créative

Elle autorise une modélisation des objets ou des systèmes existants, favorisant leur plus grande robustesse. Elle est très utile aux ingénieurs dans les fonctions d'expertise. Tournée vers les objets existants, la démarche débouche sur des progrès incrémentaux. En revanche, elle se révèle insuffisante dans les phases de création plus ouvertes sur l'innovation. Sa liaison organique aux sciences dures et sa faible perméabilité aux sciences sociales écartent des talents qui seraient très bénéfiques pour la création, la diffusion et l'exploitation des objets techniques.

2. En quoi les techniques ne sont-elles pas réductibles au statut d'applications de la science

a – La non-gratuité des objets techniques

Dans son essence comme dans ses développements, la technique n'est pas « gratuite », ce qui la distingue frontalement des approches de la science dont la finalité est la connaissance, toute la connaissance, rien que la connaissance. Certes on peut défendre l'idée que la recherche de la connaissance est, elle aussi, portée par des finalités dénuées de gratuité, mais celles-ci lui sont extrinsèques et ne sont pas dans son essence.

Pour preuve de non-gratuité du développement technique, il suffit d'évoquer sa valeur, la contribution des objets et des systèmes techniques au développement de l'économie et aux créations d'emplois liés tout au long de leur cycle de vie à leur conception, leur fabrication, leur diffusion, leur exploitation, leur maintenance et leur recyclage quand ils sont obsolètes. Cette non-gratuité est particulièrement mise en lumière à deux moments importants, la naissance et l'obsolescence des objets techniques, alors que la science se pense intemporelle.

Pour preuve de la valeur des objets techniques, il suffit d'évoquer le lien entre leurs finalités et leur valeur marchande : c'est d'abord, pour ceux qui les possèdent, une nouvelle maîtrise de l'environnement, moins d'efforts à exercer, une capacité de conjurer les maladies, l'espoir de lendemains plus sécurisés, le rêve d'une survie...

Cette non-gratuité implique un système juridique pour définir et protéger un droit de propriété de celles et ceux qui ont contribué à l'invention d'un objet technique.

b – L'objet technique poursuit une finalité indépendante de ses sciences de référence

Si l'objet technique dérivait de la science, la finalité de chaque développement technique pourrait être circonscrite par ses domaines déterminants : or, il n'en est rien. Est-il nécessaire pour cela d'évoquer les différences entre les applications civiles et les applications militaires de l'énergie atomique ? De manière générale, on aime classer dans des catégories bien séparées les objets techniques destinés à servir l'homme et ceux qui sont utilisés pour l'asservir : or, dans de très nombreux exemples, les mêmes principes scientifiques donnent naissance à des objets qui se répartissent dans les deux catégories. Il suffit d'observer les produits issus de la robotique : japonaise, elle est essentiellement dédiée à la fabrication dans les usines, à lutter contre le handicap ou à assurer des services aux personnes ; américaine, outre sa présence dans les usines, elle concerne très majoritairement des objets ayant des fins militaires. Preuve, s'il en fallait une, que la finalité des objets techniques, rattachés aux une mêmes sciences, est étroitement dépendante de la culture du monde qui les entoure, des sources de financement qui permettent de les produire ou de les diffuser et du système juridique qui les encadre. Preuve aussi que la finalité de l'objet technique, dans une très large mesure, est indépendante des sciences qui sont impliquées dans son existence.

c - Valeur morale et nécessité d'une éthique de l'objet technique

Peut-on accorder une valeur morale à un objet technique sur la seule observation de sa finalité ? Il faut y prendre garde. La plupart des objets techniques, à en croire leurs inventeurs ou leurs promoteurs, sont naturellement bons dans leur finalité ; ce qui n'interdit nullement qu'ils puissent être mauvais ou partiellement nuisibles dans leurs effets de bords. L'identification des effets de bord constitue un des fondements essentiels de l'éthique des objets techniques. Leur ambivalence implique en général la mobilisation d'experts scientifiques pour évaluer la nocivité potentielle de l'objet, pour en fixer des règles d'usage, pour apprécier les effets négatifs de leur introduction sans précaution dans le système économique social et environnemental du pays, du continent ou du monde où il sera commercialisé et utilisé. L'éthique des objets ou des services techniques est une grande cause de l'Académie des technologies qui fait et fera appel au service des sciences. Elles l'aident à évaluer les bénéfices et risques encourus et à mettre en œuvre les expérimentations qui permettront d'établir ou de vérifier tel ou tel effet de leurs usages, qu'il s'agit de mettre en évidence.

d - La confrontation avec le monde réel interdit les retours en arrière

Dans le même esprit, la lutte obstinée contre les effets de bords indésirables d'une technique bénéfique pour la sauvegarde d'une population revêt une importance majeure, notamment dans les domaines de la santé ou de l'alimentation. À titre d'exemple, l'agriculture de précision est un système technique sophistiqué, destiné à la gestion des parcelles agricoles, fondé sur le constat de l'existence de variabilités intra-parcellaires ; il optimise la production sans épuiser les sols. Cette lutte contre les effets de bord indésirables est d'autant plus importante qu'en raison de leur impact indélébile sur la réalité concrète, les objets ou systèmes techniques ne donnent pas droit à l'erreur ou à la fausse manœuvre. En matière de technique, il n'existe pas de touche « reset » générale. À trop longtemps rester dans un espace scientifique de modélisation où un test supplémentaire porte toujours en lui l'espoir de découvrir un phénomène nouveau, on oublie parfois l'impossibilité du retour en arrière dans le monde de la technique.

e - Obsolescence et renouvellement des objets techniques : la longue marche de la mise au point d'objets ou de services innovants

La durée de vie des objets techniques, durée de vie de plus en plus courte, est à regarder comme un témoin de l'innovation. Tantôt une innovation vise à dépasser les limites imposées à un objet existant avec des modifications mineures de son objectif central (par exemple pour réduire ses effets de bord indésirables) ; tantôt une innovation conduit à une utilisation de l'objet inexplorée jusqu'alors. Il convient de bien séparer ces deux courants de l'innovation, car ils requièrent l'appel à des profils de compétences très différents.

Dans le premier cas, celui d'une innovation d'ajustement, la culture scientifique des concepteurs, une connaissance étendue des développements récents dans différentes spécialités, une pratique du dialogue interdisciplinaire ou une insertion dans un campus de grande dimension sont des atouts importants. La formation par la recherche au sens traditionnel du terme et la préparation d'un doctorat ou d'une HDR dans un domaine scientifique fondamental ou appliqué, définissent, de manière peu contestable, les contours d'un milieu favorable à ce type d'innovation d'ajustement. Sous ce regard, le crédit d'impôt recherche est une procédure recommandée susceptible de renforcer le lien entre la science

et le développement des objets techniques. À des nuances près, on pourrait tenir le même discours sur les innovations de procédés, ceux qui vont réduire les coûts de production des objets ou surmonter tel ou tel obstacle à l'approvisionnement en ressources rares.

En revanche, dans le second cas, celui d'une innovation fonctionnelle ou innovation de service offerte par un objet ou un système technique existant, il est assez peu probable que le concepteur de nouveaux services soit à même de trouver les simulations dont il aurait besoin dans un environnement purement scientifique. C'est sur le terrain de la culture et de l'intelligence conceptrice, domaine qu'on désigne souvent trop succinctement comme celui des « esprits inventifs », qu'il faut chercher, d'autant que plusieurs travaux récents permettent aujourd'hui de mieux former les étudiants à ce type d'intelligence. Comme de telles innovations impliquent des mécanismes d'appropriation des désirs des usagers, la confrontation à l'étude des phénomènes sociaux et psycho-sociaux devient dès lors indispensable.

Sans négliger les apports potentiels de l'innovation de produits – ou de procédés –, l'innovation fonctionnelle est devenue une composante majeure du dynamisme économique des pays avancés comme la France. En toute rigueur, on imagine mal le succès commercial d'une innovation de produit qui n'étendrait pas la gamme des services qu'il permet d'atteindre ou le renforcement du lien de ce produit avec la culture du milieu qu'on lui propose d'intégrer et, dans un certain sens, de le renouveler. Réciproquement, une innovation fonctionnelle conduit, à brève échéance, à susciter des innovations de produits radicalement nouveaux. Mais seul un petit nombre d'entreprises ou de régions du monde semblent capables d'obtenir un renforcement mutuel de ces deux vecteurs de l'innovation.

Dès lors, on est en droit de s'interroger sur la pertinence de la focalisation exclusive sur la formation par la recherche, au sens traditionnel, qui semble se concentrer sur l'innovation de produit et non pas de services. Ne faudrait-il pas consacrer davantage d'attention à la confrontation du modèle national de formation avec celui de certains pays – notamment la Finlande – ou à la fécondité des collaborations entre Écoles d'ingénieurs, Écoles de commerce et Écoles de design, qui se sont récemment multipliées. Les contours du « crédit d'impôt recherche » et, notamment, la relation avec la capacité de décerner un doctorat pour les institutions académiques mériteraient sans doute quelques interrogations sur le bien-fondé d'une exclusion de ce crédit de milieux d'innovations plus proches des disciplines « artistiques » ou des petites structures économiques.

Bien entendu, entre l'idée d'une innovation potentielle – qu'il s'agisse d'une innovation de produit ou de procédés, qu'il s'agisse, au contraire, d'une innovation au profit d'un nouveau service – et la concrétisation de l'idée autour d'un objet ou d'un système capable de trouver un marché, le chemin à parcourir est long. Comme nous allons le voir au paragraphe suivant, durant ce processus d'adaptation aux réalités du marché, il serait dangereux de rester enfermé dans la démarche de la technologie structurale ; de fait, ce sont les démarches de la technologie génétique et de la technologie générique qui offrent les meilleures chances de succès, à condition d'en diffuser les principes élémentaires parmi ceux qui seront en charge de les transmettre et de présider à leur mise en œuvre.

Ajoutons, avant de conclure, que la montée en puissance de services très sophistiqués ne facilite pas l'identification des éléments simples sur lesquels il faut agir pour rapprocher l'offre et la demande. À défaut de visionnaires capables d'imaginer l'avenir tout en se

référant aux réalités techniques d'aujourd'hui, une démarche transversale, comme celle que l'Académie des technologies a entreprise lors de son séminaire d'octobre 2011, s'en trouve singulièrement confortée.

3. Une école alternative de la rationalité offerte par la technologie génétique

En dépit de son potentiel de rationalité la technologie structurale ne peut nous satisfaire. Deux caractères de cette approche justifient cette prise de position : premièrement, la décomposition d'inspiration cartésienne de l'objet technique en éléments détourne l'attention de la finalité des objets et systèmes techniques ; deuxièmement, elle crée une situation de dépendance des disciplines scientifiques sur lesquelles chaque élément reste adossé. D'où l'intérêt d'appréhender l'objet technique dans son intégralité et dans son évolution. Observons que l'initiateur de cette approche, Gilbert Simondon est l'un des rares philosophes du xx^e siècle qui a su résister à la relégation traditionnelle des objets techniques hors du champ de la Culture. Il introduit une démarche holistique, transversale par rapport aux disciplines scientifiques, avec un prix à payer, son recours à un vocabulaire déroutant qui implique, tantôt d'user d'une terminologie largement inconnue des techniciens, tantôt de se méfier de termes simples qu'on croit reconnaître alors qu'ils sont employés pour une signification précise différente du sens usuel.

a – L'individuation, la primauté de la fonction, la part d'autonomie des objets techniques et le risque de concurrence

Si le processus d'engendrement des objets techniques est conditionné par l'environnement des connaissances scientifiques, il est déclenché par une motivation interne au monde où il sera engendré, à savoir une fonction (ou plusieurs) à assurer. Mais Simondon s'intéresse moins au travail du concepteur qu'au processus qui donne naissance à des objets techniques ayant acquis une identité socialement partagée et évoluant dans des lignées stables. Ce processus explique l'individuation technique bien mieux que les lois scientifiques qui justifient le bon fonctionnement de l'objet. Une chaise, un moteur d'automobile, un parapluie ne seraient pas reconnaissables sans cette individuation.

L'individuation est le processus de distinction d'un individu des autres individus de la même espèce, du groupe ou de la société dont il fait partie. Il traduit l'effort d'appréhension de sa part d'originalité, de sa part de liberté au sein d'un collectif auquel il appartient. L'essentiel d'un objet technique ne réside pas dans l'explication de son fonctionnement ou des limites qui apparaissent dans l'adossement aux domaines scientifiques qui lui sont associés. Sa valeur réside dans sa capacité d'optimiser la fonction ou le service qui lui est confié. Ainsi reconnaît-on à l'objet technique une existence d'individu particulier en relation avec les autres individus qu'il rencontre dans l'environnement de son usage. C'est aussi lui reconnaître une capacité à s'autonomiser, à afficher son « être » – d'où la référence à l'ontologie –, de dicter les conditions optimales de sa conception et de son maniement, d'élargir les conditions de son usage et d'en accepter par avance ses limites. On parle, avec Simondon du *caractère ontogénétique* de l'objet technique.

L'objet technique ne se situe jamais dans un seul milieu. Il joue un rôle d'interface entre plusieurs milieux, à commencer par son milieu « géographique » et son milieu « technique » dont le développement est indispensable à son fonctionnement (comme la voie ferrée ou le réseau électrique pour un train). En clair, l'autonomie surgit dans la nécessaire adaptation ou optimisation à la fonction qui lui est assignée, mettre en relation plusieurs milieux, jouer la fonction de *transducteur*. L'objet technique évolue, évite l'adaptation étroite à un milieu donné. Cette capacité à relier des milieux de nature différente joue un rôle important dans l'assimilation de l'objet technique à un sujet. En effet, dans un large courant philosophique,

l'être existe en tant que relation. En s'inscrivant dans ce courant de pensée, Simondon postule qu'il y a bien de l'être dans l'objet technique, un être qui ne dépend plus de son concepteur ou de l'observateur dans la mesure où la justification première de son existence dérive de sa capacité de mise en relation de milieux différents. Ainsi, les évolutions de l'objet technique dans le temps et dans l'espace, bref, ce qui procède de son individuation, découlent d'une capacité d'adaptation à une multiplicité de contraintes externes.

Cette prise de distance du concepteur ne va pas sans problème. Une fois reconnu comme individu, l'objet technique court le risque d'apparaître comme un concurrent, voire un adversaire de l'homme qui concentrerait en lui l'individualité technique au temps où seuls existaient des outils ; la machine prend la place de l'homme quand l'objet technique accomplit une fonction qui lui est généralement dévolue quand il devient porteur d'outils. La méfiance qui résulte de cette tension est largement partagée par la majorité des philosophes.

b – Le processus qui part d'objets abstraits pour aller vers un objet concret

L'altérité des objets abstraits et de l'objet concret est une source de contresens, d'autant qu'elle opère à fronts renversés par rapport à la conception commune qu'on a de ces deux mots. Il ne s'agit pas d'une distinction entre un objet matériel (concret) et un objet immatériel (abstrait). Il s'agit pour Simondon de traduire l'évolution dans le temps d'un objet technique, de sa conception initiale à sa présentation quelques années après. Fraîchement conçu par un inventeur pour réaliser une fonction nouvelle dans un contexte spécifique, l'objet technique est de structure complexe, réunissant des sous-ensembles, les uns étant destinés à assurer sa fonction, les autres à corriger ses défauts⁵. Un tel objet, proche d'un assemblage plus théorique que pratique, perfectible, est qualifié « d'abstrait ». La technologie génétique assurerait qu'il peut marcher, tout en prévoyant des occasions de pannes fréquentes. Fidèle à la primauté du « pour quoi » sur le « comment », l'objet évolue avec le temps, le nombre de ses sous-ensembles techniques constitutifs diminue ce qui accroît sa résilience et permet d'étendre son domaine d'usage en évitant bon nombre des pannes de l'objet initial : le terme d'objet concret – ou précisément de transformation vers le concret – devient pour Simondon un facteur de progrès. L'objet « concret » est ainsi plus robuste, moins cher, et plus valorisé que l'objet « abstrait ». De manière générale, l'objet technique apparaît d'autant plus abstrait qu'il est plus proche du projet initial, des idées qui ont été à l'origine de sa conception, qu'il est encore une juxtaposition articulée primaire d'éléments ou d'ensembles déjà élaborés voire éprouvés, dont la présence est dictée par les fonctions à accomplir. Le passage de l'objet abstrait initial à l'objet concret est le produit d'innovations qui ont quelque chose à voir avec la conquête progressive de l'élégance dans l'histoire des démonstrations mathématiques.

⁵ Par exemple, on considère que le moteur actuel d'un véhicule automobile est concret, alors que les premiers moteurs étaient abstraits. Dans un moteur ancien, chaque élément intervient à un certain moment dans le cycle de carburation, puis est censé ne plus agir sur les autres éléments ; les différentes pièces sont comme des personnes travaillant à tour de rôle, sans communication entre elles.

d - Aux frontières de la science et de la technologie

Par le rôle qu'il assigne à la science dans la manifestation du caractère ontogénétique de l'objet technique, Simondon contourne trois écueils de la philosophie sur ce thème :

- *affirmer que la science et la technique sont des univers séparés et aux relations difficiles, conflictuelles, antagonistes*
- *affirmer que la technique n'est qu'une application de la science*
- *affirmer que la science et la technique sont complètement assimilables (ainsi que certains mouvements modernes de « scientification » de la technique et de « technologisation » de la science amène parfois à le penser, par exemple en parlant de « techno-science »).*

Si elles ne sont pas totalement fausses, ces affirmations sont approximatives et partielles. En étudiant les évolutions des objets techniques et leur ancrage sur les découvertes scientifiques, Simondon dessine des liens très étroits entre les sciences et la technique. Mais ces liens ne l'empêchent pas de préserver le caractère propre de la genèse technique et d'exclure à son propos l'idée d'une application de la science.

La concrétisation des objets techniques procède de la diminution de la distance qui sépare les sciences des techniques, mais ce rapprochement ne permet pas pour autant de penser l'objet technique comme une application de la science. Dans la situation la plus courante où la concrétisation provient de la réunion de plusieurs fonctions sur une même structure – on parle alors de convergence fonctionnelle – elle procède de corpus scientifiques séparés. Chacun apporte un concours à l'objet, mais aucun ne le contient⁶.

Comment s'opère le contournement de la techno-science ? *Ce ne sont pas d'autres lois que celles de la science qui sont mises en œuvre dans l'objet technique; mais la manière dont elles prennent place dans l'invention constitue ce résidu d'inédit qui ne peut être connu avant d'être là pour avoir été inventé, réalisé, concrétisé.* Toutefois, ne considérer dans la réalisation d'un objet technique qu'une application de connaissances scientifiques évacue l'existence des réalités techniques ; c'est supprimer la différence entre l'abstrait et le concret, et entre *l'artificiel* et *la technique*. Si l'objet technique était une application de la science, cette dernière serait en mesure de le prévoir et de le décrire avant même qu'il n'existe réellement.

Il faut considérer l'objet technique comme un intermédiaire entre l'objet naturel et l'objet artificiel ou l'artefact. On appelle « artificiels » (et non pas « technique ») des objets connaissables par la science, qui se présentent comme la somme directe des parties fonctionnelles dont on les compose, à l'image de la phase initiale d'une construction de laboratoire abstraite et artificielle. En revanche, au terme de sa concrétisation, l'objet technique occupe une place intermédiaire entre l'objet naturel et la représentation scientifique qu'on peut s'en faire après coup, quand il existe et que la science aide à prévoir et comprendre son fonctionnement. De fait, il se rapproche du mode d'existence des objets

⁶ Les ingrédients essentiels du TGV (la suspension des voitures, le transformateur à fréquence variable, le rail soudé) sont bien des applications de trois corpus de la science, mais leur intégration dans un objet nouveau ne découle directement d'aucun de ces trois corpus. Or, c'est bien cette intégration qui concrétise – confère sa réalité – à l'objet technique.

naturels – il est accessible et connaissable par l'expérience – et s'incorpore dans le monde naturel (réel) qui intervient comme contexte et condition de son fonctionnement.

Cette vision des rapports entre sciences et techniques respecte l'évolution historique du couple science et technique et reconnaît le rôle grandissant de la science dans la genèse des objets techniques. Mais, alors que nombre de ceux qui observent cette convergence concluent que science et technique se confondent au point de nier l'autonomie du domaine technique, au risque de mêler dans une même condamnation la science et l'objet technique considéré comme dévoyé, Gilbert Simondon voit dans ce rapprochement un argument en faveur du caractère ontogénétique de l'objet technique et de sa liberté. L'objet technique n'est pas une application (déductive) de la science puisque la science véritable (expérimentale et inductive) peut et doit lui être appliquée comme aux réalités naturelles. De plus l'utilisation de l'objet technique suscite, bien souvent, des recherches de sciences fondamentales, par exemple les ordinateurs relativement à l'arithmétique.

e - Une synthèse des apports de la technologie génétique à l'éducation des citoyens éclairés

La technologie génétique offre une méthode d'approche des objets techniques qui débute par une interrogation sur leur finalité, sur l'intérêt que présente leur usage et sur le bien-fondé – et les risques – de leur conception et de leur mise à disposition au sein de la communauté humaine. Cette démarche holistique conduit dans un second temps – mais seulement dans un second temps – à s'interroger, avec le concours de la science, mais aussi de l'économie et de l'ensemble des autres sciences sociales, sur les impératifs liés à leur réalisation et à leur diffusion auprès de divers publics en termes de capacité de services, de potentiel de libération des contraintes, mais aussi de nuisances.

Au travers du raisonnement induit par la démarche génétique, les objets techniques apparaissent comme une expression du génie des hommes, complémentaire des sciences auxquelles ils apportent de nouveaux sujets d'expérimentation, souvent plus simples à appréhender que les objets naturels.

En soulignant la proximité des sciences et des objets techniques, mais aussi la distance qui les sépare, la technologie génétique est une voie d'entrée bien utile dans les controverses qui naissent souvent de leur confusion.

Encart n° 2

La technologie GÉNÉTIQUE et l'histoire des objets techniques

1. La démarche

Elle analyse les évolutions dans leur histoire des objets techniques dédiés à des fonctions similaires apparaissant comme un gène qui les caractérise. Elle observe aussi leurs perfectionnements successifs, leurs bifurcations, leur autonomisation au sein de milieux associés, ainsi que leur impact sur le développement des disciplines scientifiques. L'exploration des « cousinages » entre des « lignées », organisées autour de fonctions différentes (par ex. métiers à tisser et calculateurs), est systématiquement mise à profit dans la technologie générique.

2. Sa diffusion dans les apprentissages

Démarche ancienne, elle a été formalisée au xx^e siècle par le philosophe français Simondon. Sa diffusion dans l'enseignement supérieur est limitée, en France, où l'on préfère le détour par les sciences et la technologie structurale.

3. Ses atouts et limites de pertinence créative

Approche aussi savante que la technologie structurale, elle est davantage orientée vers la créativité en repérant les discontinuités et les évolutions les plus récentes. Néanmoins, demeurant (presque) aussi techniciste que la technologie structurale, elle est aussi peu perméable aux sciences sociales que cette dernière.

4. La technologie générique : une approche par la conception inventive des techniques

a - La compétition par la rupture des identités techniques

La technologie générique s'intéresse à l'évolution historique des objets techniques. Elle permet d'échapper aux classifications dogmatiques de la technologie structurale et à l'idée que l'identité des objets techniques n'appartient qu'aux sciences qui en expliquent les principes. Néanmoins, elle ne répond que partiellement aux besoins d'une économie fondée sur l'intensification de la compétition par l'innovation. Car dans un tel contexte, la valeur ne réside pas seulement dans la compréhension des individus et des lignées techniques. Elle prend aussi sa source dans la capacité des acteurs à se « de-fixer » des individus existants et à « générer » de nouvelles identités techniques. Ces phénomènes étaient traditionnellement associés aux grandes périodes de « révolution industrielle ». Ainsi, après la redécouverte des traités d'architectures à la Renaissance, les premiers pas de la technologie générique sont à trouver dans les traités de conception de machines qui fleurissent après la naissance de la machine à vapeur. Ces traités prendront une forme de plus en plus universelle au cours du XIX^e siècle et serviront de base aux départements d'ingénierie et aux grands bureaux d'études, qui doivent régulièrement enrichir les fonctionnalités des machines qu'ils conçoivent. Mais depuis une trentaine d'années, force est de constater la permanence des « révolutions industrielles » ou tout au moins leurs fréquentes répétitions. La technologie générique contemporaine explique pourquoi l'innovation fonctionnelle traditionnelle est amplifiée par une individuation nouvelle des objets. De même que le chemin de fer n'était pas une diligence motorisée sur rail, la photo numérique n'est en rien une photo argentique dont on aurait simplement changé le principe technique de réalisation pour obtenir certaines fonctions bien connues. Nous pouvons tous constater une pratique nouvelle d'imagerie qui bouleverse toutes les valeurs et toutes les significations sociales de la photographie, y compris par la naissance de nouvelles esthétiques. Dans la compétition actuelle par l'innovation, le concepteur technique ne saurait passivement constater ces transformations radicales, il doit être préparé à les rechercher intentionnellement ou tout au moins à les identifier au plus tôt pour en comprendre la portée et les potentiels de développement. La technologie générique partage avec l'approche génétique le constat que les nouvelles identités techniques ne découlent pas directement des avancées de la science. Il est même fréquent qu'elles stimulent en retour la recherche scientifique la plus fondamentale. On sait aujourd'hui l'impact des calculateurs programmables (ordinateurs) sur l'évolution des objets mathématiques. C'est bien le concept technique du calcul itératif qui a stimulé la science algorithmique récente et réciproquement.

b - Les outils de la technologie générique : les sciences de la conception

L'idée clé de la technologie générique c'est que la conception d'un nouvel objet technique ne se réduit pas à une déduction ou à l'application numérique d'un modèle scientifique. Calculer la taille et le nombre des dents d'un engrenage pour une fonction donnée, ce n'est pas concevoir cet engrenage, c'est simplement ajuster un ensemble de lois et modèles des engrenages à une fonction. L'identité technique de l'engrenage est clairement maintenue dans l'exercice. Il n'en va plus de même lorsqu'il faut concevoir un système de domo-médecine ou de nouvelles manières de capturer la force du vent. Quelle est alors la

rationalité qui doit conduire ces projets ? On ne saurait parler ici de modélisation puisque celle-ci suppose que l'on ait d'abord isolé un phénomène à étudier ou que l'on ait déjà décrit précisément un concept technique. Les théories de la conception les plus récentes ont eu le mérite de s'attaquer à cette difficulté du raisonnement générique : le renouvellement des identités techniques ne peut partir du seul connu, ou de la simple résolution d'un problème bien posé. Il exige toujours la formulation d'un concept imaginaire, d'un « inconnu » porteur de valeurs. Promouvoir le développement durable, l'automobile intelligente, les robots pour l'aide aux personnes âgées, c'est précisément inviter à travailler sur de nouveaux inconnus techniques pour intentionnellement provoquer leur émergence.

On est tenté ici de parler de créativité, d'invention, qui seraient l'apanage de quelques individus hors normes, mais les sciences de la conception nous apprennent que ces mécanismes peuvent être décrits de façon tout à fait rationnelle dès lors que l'on pose bien le point de départ : partir d'un concept inconnu pour stimuler le développement d'objets techniques inédits à la fois dans leur fonctionnement et leurs finalités. Les premières tentatives pour formaliser le raisonnement de conception datent du XIX^e siècle. Elles ont été relancées dans les années 80 avec l'apparition des outils de CAO, mais elles ont connu une avancée très rapide depuis une vingtaine d'années avec les travaux d'équipes japonaises, israéliennes et françaises⁷. On leur doit notamment de ne plus confondre créativité et conception innovante. D'origine psychologique, la notion de créativité caractérise l'originalité relative des idées émises par un individu. La démarche de conception intègre cette production d'idées dans une logique constructive destinée à faire exister une technique ou un objet futur. L'incarnation de l'idée dans une première maquette exige l'intégration de cette idée originale avec d'autres connaissances. Mais à son tour la maquette sera génératrice de nouvelles idées qui n'appartiennent pas nécessairement au cadre de l'idée initiale. C'est ce processus itératif, **générateur de nouveaux objets** que l'on peut réellement qualifier de technologie générique.

La rationalité associée à la technologie générique est donc inverse de la rationalité scientifique tout en mobilisant cette dernière. Il ne s'agit pas d'une démarche *déductive* qui part de faits établis ou de points théoriques pour en tirer toutes les conclusions. Il faut utiliser une démarche *heuristique* **où l'on part de l'inconnu, du futur souhaitable** qu'on ne peut décrire que très partiellement ou en associant des attributs inédits : donc en quelque sorte d'une « chimère » mobilisatrice. Le travail suivra alors ce que la théorie de la conception contemporaine appelle *une double expansion* : d'une part le passage d'une chimère à de multiples expériences réelles ; d'autre part, la recherche concomitante d'expertises et de connaissances sans lesquelles les nouveaux objets techniques ne peuvent pas naître. Résultat essentiel de ces travaux⁸ : les deux processus se renforcent mutuellement. Ainsi sans la chimère, pas de connaissances nouvelles, et sans ces connaissances nouvelles la chimère reste sans réalité.

⁷ Notamment avec le développement de la théorie C-K par l'équipe des Mines ParisTech. Cette théorie est aujourd'hui enseignée et mobilisée pour la conduite des projets innovants dans de nombreuses industries (cf. références sur la page Wikipédia « C-K theory »).

⁸ Cf. « Les nouveaux régimes de la conception », (sous la direction de A. Hatchuel et B. Weil), Vuibert, Paris 2009

On sait donc aujourd'hui, et beaucoup d'Écoles d'ingénieurs le font déjà, former au raisonnement de conception et guider de façon rigoureuse des projets d'innovation. Ainsi, l'objet technique retrouve-t-il une part oubliée de ce qui fait son essence : la mise en exercice d'une raison conceptrice qui s'appuie aussi bien sur l'imaginaire que sur le connu pour construire un progrès technique conforme aux aspirations modernes. La bonne nouvelle est que cette raison conceptrice ne s'oppose en rien aux démarches scientifiques classiques, au contraire elle les stimule et s'appuie sur elles. Mais n'est-ce pas aussi la leçon que nous donne le développement des mathématiques ? Si celles-ci se limitaient à modéliser le connu, ou à se décrire par un ensemble de structures figées, nous n'aurions ni les nombres complexes, ni les géométries non euclidiennes ! Et c'est un des résultats les plus étonnants des sciences de la conception contemporaines : former à la technologie générique c'est aussi retrouver la rationalité expansive et exploratoire des mathématiques !⁹

c - Technologie générique et usages : une transformation importante du rapport entre technique et société

Dans une approche structurale des techniques, l'usage est un invariant implicite. Les marteaux sont faits pour clouer, et on suppose que tout le monde sait ce que clouer veut dire. L'approche générique tend à rediscuter ce lien en se demandant par exemple ce que l'on entend exactement par clouer : Qui cloue ? Quand ? Dans quelles conditions, etc. ? Cette investigation visera à mieux connaître les usagers, mais elle peut aussi conduire à les inviter à concevoir ou re-concevoir eux-mêmes tout ou partie des techniques que l'on cherche à faire naître. Le terme d'usager, lui-même, doit être élargi à tous ceux qui peuvent prendre part au travail d'engendrement du système technique. C'est ainsi que l'un des phénomènes les plus étonnants du développement technique est celui des « plates-formes digitales » (pc, terminaux mobiles, tablettes) qui offrent à des milliers de développeurs la possibilité de proposer à l'infini de nouveaux usages (via les applications « apps »). Devant cette offre infinie, l'utilisateur final, y compris le moins informé, peut choisir la combinaison qui lui convient et la variété des offres est telle que la personnalisation (mass customization) de l'objet peut être rapidement atteinte. En soi le phénomène n'est pas nouveau, le système technique « ouvert » d'une cuisine familiale, même réduite à peu, permettait à chacun de réaliser des plats originaux. Mais la généralisation de ce principe d'ouverture aux objets techniques les plus sophistiqués induit un bouleversement profond des rapports entre technique et société. L'usage détourné, inattendu, surprenant d'une technique n'est plus nécessairement ce qu'il faut éviter ou empêcher, mais c'est le but même que s'assignent les concepteurs de ces techniques. La dimension générique de la démarche se retrouve dans l'objet lui-même qui devient ainsi, en cascade, l'outillage commun à de multiples démarches relevant de la technologie générique. On ne peut aujourd'hui ignorer des faits aussi massifs, sauf à conserver et transmettre une conception obsolète des techniques.

⁹ Ibidem, Hatchuel et Weil 2009, et plus particulièrement le chapitre « Introduction au Forcing en Théorie des ensembles ».

Encart n° 3

La technologie GÉNÉRIQUE et les objets techniques en émergence

1. La démarche

En explicitant les logiques d'invention, d'exploration et de conception des nouveaux produits, elle cerne les conditions de la naissance d'un objet technique innovant et stimule la créativité industrielle. Elle pense le lien à la recherche, au design, découvre des cohérences de générations d'objets et de plates-formes dont les fonctions et les services ne sont que partiellement connus et vont émerger par les apports d'une multitude de concepteurs, de réalisateurs, de distributeurs de réparateurs et usagers.

2. Sa diffusion dans l'enseignement

Héritière de pratiques anciennes, elle est largement diffusée dans le monde industriel et fait l'objet de recherches très actives. Une présentation élémentaire pourrait faire partie du bagage culturel de ceux qui doivent être les acteurs de leur temps. C'est l'ambition de l'enseignement d'exploration « création et innovation technologiques » dont bénéficient aujourd'hui seulement 3 % d'une classe d'âge.

3. Ses atouts et limites de pertinence créative

Elle est nécessaire à l'ensemble des entreprises, permettant, notamment, de relever le pari des « chimères ». Ses atouts indéniables pour mobiliser tous les talents impliquent de montrer à chaque discipline les avantages qu'elle tirerait d'une présentation de la technologie tournée vers l'objectif « concevoir et réaliser ensemble ».

5. Une mise en perspective de la place des techniques dans la construction des sociétés

La prise en compte simultanée des trois démarches technologiques exposées ci-dessus conduit naturellement à une réflexion générale sur les rapports entre techniques et société¹⁰. On peut mieux percevoir les deux grands mouvements qui caractérisent ces rapports. La technologie génétique et la technologie générique montrent comment le renouvellement des techniques est lié aux grandes forces économiques, sociales, légales et culturelles. Mais les techniques, une fois consolidées, pèsent à leur tour et font évoluer ces forces. Il n'y a donc pas de techniques possibles sans société, mais l'inverse est tout aussi vrai. Les sciences sociales sont donc elles-mêmes tributaires, en tant que sciences, des technologies, c'est-à-dire des discours sur les techniques. C'est ainsi que la science économique est très dépendante dans ses hypothèses et ses résultats de la manière dont on modélise les progrès des techniques. Par ailleurs, il est difficile de penser des systèmes sociaux ou politiques sans examiner les vues technologiques retenues par ces systèmes.

Précurseur en la matière, Leroi-Gourhan (1911 – 1986)^{11 12}, a édifié le premier pont entre la technologie et les sciences sociales en se plaçant dans une perspective anthropologique. Pour sonder l'état d'avancement du langage chez les primates, pour repérer l'évolution des comportements, l'anthropologue ne peut prendre appui que sur des collections d'objets techniques. La confrontation des collections en différents points de la planète et sous différents climats a entrouvert la porte d'une reconstitution des comportements et des modes de pensée de leurs créateurs et utilisateurs. Mais, pour ce qui nous concerne, le grand mérite de Leroi-Gourhan et de l'école de pensée qu'il a créée, a été d'étendre la méthode mise au point pour sonder le comportement des primates à l'exploration des comportements de toute société, en partant des objets techniques qu'elle parvient à fabriquer et à manipuler. Leroi-Gourhan précédait la démarche de Simondon et la technologie génétique. Sous ce regard de la **technologie générale**, nom qui a été donné à cette méthode, une collection d'objets techniques devient un marqueur de la société qui les a mis au point et un témoin de sa capacité à communiquer et à se situer dans son environnement.

En ce sens, le travail de Leroi-Gourhan et de ses premiers élèves est la première marche d'une technologie générale aux implications universelles¹³.

¹⁰ Les travaux en cours, réflexions et propositions de la commission « société et technologies » de l'AT développent tout particulièrement ces aspects.

¹¹ André Leroi-Gourhan : « Milieu et techniques », Paris, Albin Michel, 1945.

¹² André Leroi-Gourhan : « Le Geste et la Parole, 1. : Technique et langage, 2. : La Mémoire et les Rythmes », Paris, Albin Michel, 1964-1965

¹³ Une telle perspective se retrouve dans l'ouvrage collectif dirigé par Bruno Latour et Pierre Lemonnier, « De la préhistoire aux missiles balistiques, l'intelligence sociale des techniques », La découverte, Paris 1994. Rassemblant des chercheurs venus de la primatologie, de la préhistoire, de l'ethnologie, de l'archéologie, de l'histoire, de la sociologie, de l'économie et de la philosophie, l'ouvrage veut décrypter, dans les dispositifs techniques, le monde social que nous habitons. Il introduit aussi une question plus nouvelle : comment faisons-nous pour construire nos relations sociales par le truchement des techniques ?

Le bénéfice de la technologie générale est double : créer un dialogue rapidement fructueux entre des spécialités qui, jusqu'alors, étaient étrangères les unes aux autres ; ce faisant, aborder de façon transversale des problématiques comme celles qui relèvent du risque, de la qualité, ou encore de la sécurité, problématiques où les objets techniques sont indissociables du regard porté sur eux par les utilisateurs. À titre d'exemple, toute problématique sur le risque induit par un objet ou service technique provoque deux lectures : celle du risque naturel ou « physique » qui est une donnée accessible par des analyses conduites dans le cadre de la technologie structurale, et celle du risque « perçu » qui implique le regard des psychologues et des sociologues. Seule, une démarche de technologie générale permet de rapprocher les deux discours. Il en va de même de la qualité ou de la sécurité.

Parmi les nombreuses approches de la technologie générale, deux d'entre elles revêtent une grande importance et font respectivement l'objet des encarts n°4 et n°5.

- *La technologie, l'économie et la gestion*
- *L'écotechnologie*

Encart n°4

Technologie, économie et gestion

Les liens entre développement technique et prospérité économique ont été reconnus depuis longtemps. Mais ils ont évidemment évolué à la fois avec la complexification des techniques et l'évolution des savoirs économiques et gestionnaires.

Du point de vue générique, le développement de nouvelles techniques résulte de multiples arbitrages. Et si la naissance d'un nouveau concept technique peut avoir une part d'aléatoire, en revanche son développement dépend des évaluations et des investissements multiples qui lui seront attribués par de nombreux acteurs (État, chercheurs, entreprises, usagers...). Une performance technique pure (énergie, puissance, fonction) ne suffira pas à garantir sa survie si les pistes étudiées se révèlent trop coûteuses, non rentables ou trop difficile à gérer, à organiser et à maintenir. On ne peut donc juger d'une technique en elle-même, on doit envisager sa place potentielle dans un environnement économique, politique et social ; sans oublier son environnement technique, lorsqu'il s'agit d'intégrer un nouvel élément d'un système plus large. Depuis la première révolution industrielle, l'innovation technique s'est considérablement étendue et accélérée. En même temps, les sociétés modernes multiplient les conditions de survie et les exigences de toute nature auxquelles doit répondre la conception des nouvelles techniques. On exigera d'un nouveau procédé de production que l'on puisse évaluer *ex ante* l'ensemble du dispositif gestionnaire et des ressources financières qui seront nécessaire.

Il en résulte que l'innovation technique a stimulé la modélisation économique, gestionnaire, organisationnelle, etc. Cette modélisation oriente en retour le progrès technique lui-même. On sait que Thomas Edison fut conduit à explorer de nouveaux types de lampe électrique, guidé par un calcul économique qui prenait en compte l'ensemble du cycle de production et de distribution électrique et indiquait que les solutions les plus traditionnelles ne seraient pas soutenables. De même, un modèle de gestion et d'organisation d'usine qui soutient la polyvalence des personnels, conduira à concevoir de nouveaux concepts d'atelier ou de nouveaux procédés.

Les sciences économiques, les sciences de gestion ou toute autre science sociale, ne cherchent pas seulement à orienter la conception des techniques, elles s'efforcent aussi de comprendre la dynamique des techniques et contribuent ainsi aux approches génétique et générale des techniques. Les économistes s'interrogent sur le bon niveau des dépenses de R & D ou sur les mécanismes qui déterminent des « trajectoires techniques » ; les chercheurs en gestion étudient les modes d'organisation du travail d'ingénierie et le management de l'innovation dans les entreprises ; les sociologues réfléchissent aux inégalités qu'engendre la dynamique technique ou au pouvoir des usagers dans l'orientation de l'innovation. On ne peut retracer ici tous ces travaux. On soulignera surtout le double rôle de diverses sciences économiques et sociales : intervenir dans la conception des techniques d'une part, nourrir l'approche technologique à partir des cadres théoriques propres à chaque discipline d'autre part.

Encart n°5

L'écotechnologie

Un développement important de la technologie générale est récemment apparu dans l'**écotechnologie** qui se présente comme un discours novateur sur la conception et l'évaluation des techniques éco-compatibles.

Née il y a une dizaine d'années dans l'est des États Unis d'Amérique autour de Wynn Calder et Julian Dautremont-Smith, l'écotechnologie introduit deux critères de compatibilité des objets et systèmes techniques avec le développement durable : l'analyse du cycle de vie (ACV) pour chaque composant et l'impact potentiel à différentes échelles spatiales et temporelles des choix de conception, de réalisation et d'usage.

Pour les fondateurs de l'écotechnologie, il s'agit de compétences universelles que devraient acquérir tous les futurs ingénieurs dignes de ce nom. On notera également l'insistance de cette école de pensée à mettre en exergue dans le parcours de formation de ces ingénieurs une sensibilité à un large panorama de sciences sociales venant, en quelque sorte, équilibrer la formation plus coutumière dans les sciences dures. Pour les ingénieurs en poste, il ne s'agit pas de suppléer à l'absence d'économistes, de sociologues, psychologues ou de juristes, mais d'être suffisamment imprégnés des logiques disciplinaires citées, pour percevoir leur importance dans les décisions techniques à prendre au jour le jour et solliciter à bon escient le concours de spécialistes.

Calder et Dautremont-Smith ont créé plusieurs réseaux mondiaux qui se reconnaissent dans cette perspective. Ils sont à l'origine de la création de l'association AASHE (Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education) et de la constitution du réseau mondial ULSF (University Leaders for a Sustainable Future)

La technologie sous le regard de l'histoire : quelques repères

À travers quelques grandes figures qui ont marqué la pensée et les approches de la technologie à travers les siècles, il est bon de rappeler, même de façon très abrégée et nécessairement incomplète, quelques étapes historiques qui ont ouvert la voie aux approches répertoriées dans la présente communication. Ces repères signalent les grandes continuités, les ruptures ou, même, certaines différences dans l'appréhension des techniques selon les cultures nationales. Ce détour est souvent utile et nécessaire pour mieux saisir le développement respectif de la science et de la technologie.

a - Quelques repères

1/ Les concepts de rationalité, efficacité, économie, utilité, etc., sont des notions déjà théorisées par les auteurs gréco-romains (de Xénophon à Frontin en passant par Vitruve et quelques autres) : c'est l'architecture, une technologie transversale – faut-il le rappeler – incluant les machines de levage et la mesure du temps, qui forge la matrice de ces pensées. La notion de « fonction » est déjà présente dans leurs écrits qui nous ont été transmis. Ces notions ne sont pas prises pour des finalités évidentes et naturelles, mais bien pour des objets de pensée. La technologie est déjà une réflexion sur les fins autant que sur les moyens.

2/ La question des « modèles de représentation » (dessins techniques, maquettes...) prend son essor avec le néo-machinisme de la Renaissance (« Théâtres de machines », « proto-plans »...) qui veut à la fois rationaliser, expliquer et séduire, notamment par l'exploit. Il faut noter que la « représentation » joue deux rôles bien distincts, comme chez Vinci : décrire au mieux la nature (science) ou penser des objets nouveaux (technologie générique).

3/ Il est remarquable que jusqu'à la révolution industrielle, les traités technologiques (comme l'encyclopédie de Diderot et d'Alembert) sont à la fois génétiques et génériques : il faut expliquer l'histoire des techniques, mémoriser des savoir-faire et il faut aider à en penser de nouvelles, notamment en liaison avec les connaissances scientifiques – et ce mode de pensée va fonctionner au-delà des espérances !

4/ Le machinisme de la révolution industrielle crée des objets d'une complexité déroutante et nouvelle sur tous les plans (les grandes filatures mécanisées, la machine à vapeur, l'instrumentation de précision...) qui parachève la dissociation entre Architecte et Ingénieur et entraîne aussi la séparation des différentes approches technologiques. On découvre alors :

- *les premières technologies structurales* : elles naissent probablement avec Smeaton qui traite des moulins à vents et des roues hydrauliques (circa 1760), puis Poncelet, Prony qui travaille sur la machine à vapeur, etc. Cette démarche ne veut pas décrire le système technique dans sa réalité matérielle et sociale. Elle vise à dégager les éléments structuraux qui rendent possible l'étude scientifique autonome de telle ou telle technique (théorique ou expérimentale) et non l'inverse comme on feint de la croire trop souvent dans l'enseignement !!!

- *les premières technologies génétiques* : elles remontent à certains articles de l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert ; elles apparaissent ensuite chez les économistes technologues comme Ure et Babbage (1830) qui théorisent les régimes du progrès technique, puis viendront philosophes, sociologues...
- *les premières technologies génériques* : le *MaschinenBau* allemand qui re-systématise avec rigueur la notion de « fonction » (la trilogie fonction / structure / comportement qui n'est pas dans la tradition architecturale relève du « pur MaschinenBau », le mot de « structure » renvoie au choix d'un « principe technique général »). Les industriels allemands jouent un rôle important dans son développement ; ils veulent rattraper les Anglais et développer vite, ce qui explique sans doute l'absence de référence à l'innovation, à la recherche et à la créativité dans cette représentation. En réaction, plusieurs mouvements (notamment le mouvement *Arts and Crafts*¹⁴ puis le Bauhaus¹⁵) s'efforcent de penser une approche humaniste et sensible des techniques, annonçant le « Design » et les critiques à venir du progrès technique.

5/ Jusqu'à la fin des années 1960, on reste encore dépendant de ces premières approches, mais elles ne vont pas tenir longtemps face à la multiplication des innovations.

- La technologie structurale se développe mais elle commence à rencontrer des problèmes, car depuis le début du xx^e siècle, la multiplication accélérée des objets techniques et des domaines scientifiques qui permettent de les étudier rend très difficile la stabilisation des « structures » à enseigner (par exemple, les grands types de matériaux ou les grands modes de production de l'énergie). Il faut développer des structures plus réflexives et diversifiées.
- L'approche génétique s'enrichit car on commence à mieux comprendre les multiples déterminants de l'identité technique et des trajectoires de développement (Leroi-Gourhan, Simondon, les théories économiques et gestionnaires des organisations, la nouvelle socio-anthropologie des techniques, les débats écologiques...). On comprend mieux les rôles respectifs des entreprises, des scientifiques, des pouvoirs publics, des marchés, des organismes normalisateurs et des cultures nationales dans la formation des choix techniques.
- L'approche générique se libère des hypothèses limitatives du MaschinenBau, hypothèses trop dépendantes du monde des machines mécaniques. Elle intègre la recherche scientifique comme moyen de connaissance et tend à développer des théories de plus en plus générales de la conception, indépendantes des domaines techniques particuliers (universalisation et extension de la CAO) ou des critères fonctionnels classiques (légitimité du « Design », de l'anti-consumérisme, de l'informationnel, de l'intelligence artificielle, de l'éthique...) puisque, par définition, la nouvelle génération des objets à créer échappera aux classifications structurales anciennes et introduira de nouveaux critères fonctionnels. Ce défi a donné naissance à une variété d'écoles et d'approches (école américaine de H. Simon, école japonaise,

¹⁴ Mouvement anglais de la deuxième moitié du XIX^e siècle, à l'origine du Modern style

¹⁵ Le **Bauhaus** est un [institut](#) des arts et des métiers fondé en 1919 à [Weimar \(Allemagne\)](#), sous le nom de *Staatliches Bauhaus*, par [Walter Gropius](#). (Wikipedia)

russe, israélienne, française...). Une théorie pure de la conception émerge de la même manière que la théorie de la décision au milieu du xx^e siècle.

b- Implications

Dans les premières formalisations de la technologie structurale, c'est le désir de mieux comprendre comment fonctionnent les objets techniques déjà existants qui a fait naître les sciences appliquées et non l'inverse comme le laissent à penser sa déclinaison dans les programmes d'enseignement ainsi que la majorité des traités des auteurs français sur la technologie. Comment l'histoire peut-elle aider à dépasser ces débats ?

1/ Tout le monde s'accorde pour dire que les sciences sont des théories, certes relatives à la connaissance du monde réel, mais des théories, gage de leur rationalité. En revanche, pour parler de « technologie », les mots de « pratique », de « mise en œuvre », prennent le pas. D'où la position ambiguë de la plupart des présentations de la technologie dans l'enseignement qui oscillent entre un cours de techniques où l'on insiste sur les aspects économiques et industriels, et un cours de génie technologique qui correspond à une technologie structurale spécialisée dans un champ classique : génie mécanique, électricité, génie thermique, optique, bientôt le numérique, le génie génétique... Et pourtant, tous les génies technologiques se retrouvent pour impliquer des notions plus abstraites (fonction, simulation, technico-économique), sans les situer théoriquement.

2/ Parmi ces champs classiques, on cite plus rarement la métallurgie qui date du ix^e millénaire avant JC, qui a fait l'objet de traités importants bien avant la mécanique et qui donne aujourd'hui la science des matériaux. C'est dommage, la métallurgie présentant incontestablement l'intérêt d'être une technologie, la notion de « matériau » étant précisément une notion artificielle, inséparable de son histoire génétique.

3/ Bref, il y a une difficulté culturelle, plus forte en France que chez la plupart de nos partenaires, à reconnaître que la technologie est une *démarche théorique guidée par la raison*, mais qui diffère fondamentalement de la démarche scientifique par le fait que ses objets sont des construits chargés de tout ce qui fait l'humain quand les sciences se définissent traditionnellement par des objets qui ne doivent rien aux humains (c'est ce qui est affirmé – du moins ! – avec des évolutions...). Les démarches technologiques sont, au contraire, des approches théoriques et pratiques des créations humaines. *Elles ne se définissent pas comme un collectif de génies particuliers, mais comme des approches du génie humain collectif*. C'est pour cela qu'elles dépendent très largement de l'orientation que nous leur donnons avec la maxime de l'Académie, « pour un progrès raisonné, choisi et partagé ».

Deuxième partie

Introduction de la technologie au Lycée dans les filières de l'enseignement général

1. En quoi le Lycée est-il une étape décisive dans la diffusion de la technologie ?
2. La méthode pédagogique proposée : un apprentissage en plusieurs étapes
3. Une sélection de techniques exemplaires de l'intérêt de les soumettre à plusieurs approches technologiques
4. Le rôle dédié aux enseignants dans l'entretien d'un corpus de techniques exemplaires

Même circonscrit aux élèves de l'enseignement général des lycées, l'objectif de cette communication reste ambitieux : il veut, parmi les meilleurs élèves, répondre à l'appétit de créativité de certains et encourager de nouvelles vocations ; conférer officiellement une place à la technologie dans la culture générale, au même titre que les langues, les sciences exactes, les sciences humaines et sociales est un objectif qui dépasse les limites de cette étude. L'objectif plus modeste que nous poursuivons est déjà une grande innovation dans notre pays.

Il s'agit de montrer l'inventivité nécessaire à la conception des objets et systèmes techniques innovants, aux lieux et aux organisations favorables à leur création, à leur production et à leur diffusion. Il s'agit enfin d'initier à la multiplicité des discours qui ont favorisé et favorisent la genèse des objets et des systèmes techniques depuis les origines de l'humanité et stimulent leurs évolutions et leurs perfectionnements : bien avant que celle-ci ait été formalisée et systématisée, l'inventeur du boomerang avait intuitivement suivi une forme de raisonnement qui s'apparente à la technologie générique.

Dans l'exercice de diffusion de ces connaissances auprès des élèves, on aura bien sûr avantage à mettre l'accent sur l'actualité des techniques et sur les grandes innovations du moment. On n'omettra pas de donner à ressentir et à comprendre, à partir d'exemples significatifs, comment des objets ou des systèmes techniques sont à la fois des produits de l'activité humaine et jouent, en retour, un rôle majeur dans les comportements individuels et la création de liens sociaux.

La réussite du projet pédagogique préconisé dans la seconde partie de cette communication dépend de la cohérence de quatre éléments fondateurs :

1. le choix volontaire des élèves désirant recevoir, dans les classes d'enseignement général des lycées, un enseignement approfondi sur la technologie, leur niveau d'abstraction et leur souci d'apprendre et de comprendre,
2. l'originalité de la méthode pédagogique proposée,
3. l'éventail d'objets ou de systèmes techniques exemplaires retenus pour l'intérêt et la pluralité des discours technologiques qu'ils permettent d'enseigner,
4. le rôle moteur d'un corps de professeurs compétents et motivés.

Les différents chapitres de la seconde partie passent en revue ces éléments fondateurs.

Le projet ne part pas de rien. L'enseignement d'exploration concernant « la création et l'innovation technologique » que la réforme des lycées vient d'introduire en classe de seconde EGT des lycées, en dépit d'une diffusion encore insuffisante, montre bien le réalisme de la proposition.

1. En quoi le Lycée est-il une étape décisive dans la diffusion de la technologie ?

L'enjeu économique et industriel justifie amplement de revisiter les dernières marches de la formation des ingénieurs et scientifiques qualifiés, tant dans les Écoles que dans les universités. Sans dissimuler l'ampleur des modifications à entreprendre, la proximité du passage à la vie professionnelle et la participation de nombreux praticiens aux enseignements y sont autant d'atouts d'une bonne réception des trois approches technologiques (structurale, génétique, générique) et de l'incomplétude d'un système organisé autour des seules connaissances scientifiques.

Une résistance importante au changement se situe en amont, dans la sélection à l'entrée du cycle terminal, dans les classes préparatoires des lycées ou dans les préparations intégrées. Pour résorber cette résistance, la bonne façon de procéder, sans doute la seule, consiste à démontrer qu'une culture imprégnée de la technologie – au sens d'un discours multiple et ouvert à la création sur les objets et systèmes techniques – est porteuse d'excellence.

Certes, le défi est majeur et l'investissement de la communauté éducative pour le surmonter est considérable. En revanche, il ne manquera pas d'apparaître doublement rentable, d'abord par la créativité des ingénieurs et cadres, mais aussi par ses incidences positives dans les formations dédiées aux techniciens et techniciens supérieurs qui, à peu d'exceptions près à ce jour, s'éloignent trop rarement de la seule approche structurale de la technologie. Dans un contexte national où la distance entre les opérateurs et les cadres ne cesse de croître en dépit des incantations en faveur de la compétence professionnelle tout au long de la vie, l'élargissement du socle culturel des voies technologique et professionnelle qui en résulterait est un facteur d'équité sociale et un gage d'espoir pour celles et ceux qui se heurtent de plein fouet au « plafond de verre » qui les attend quand ils chercheront à devenir cadres.

C'est aussi un moyen de vaincre le handicap des petites et moyennes entreprises productrices d'objets techniques de base, qui attirent difficilement les ingénieurs diplômés ou les docteurs et qui, dans le même temps, observent une diminution des candidatures de titulaires d'un DUT, d'un BTS ou d'une licence pro dans les spécialités industrielles. Le faible renom de la technologie pousse, en effet, nombre de techniciens supérieurs confirmés, à poursuivre leur formation pour tenter de décrocher un titre de niveau 1 qui apparaît comme la seule façon de gagner le statut de cadre, en abandonnant trop souvent leur qualification technique pour d'autres métiers. En cela, sans qu'il soit besoin d'évoquer son impact sur la contribution potentielle des premiers utilisateurs d'objets techniques dans la création de services innovants, la valorisation de la culture technologique auprès de tous les talents est porteuse d'un renouveau du dynamisme industriel.

Pour toutes ces raisons, c'est dans les lycées qu'il faut engager au plus vite une approche plurielle et moderne de la technologie afin de contourner une sélection réductrice et inadaptée, ignorante comme aujourd'hui de la raison d'être de l'objet technique et de son invention alors qu'il s'agit, en définitive, de stimuler le nombre et l'ingéniosité de nos cadres techniques.

2 - Comment procéder ? Un apprentissage en plusieurs étapes

Dans les classes élémentaires et au collège, « La main à la pâte » a largement démontré la pertinence d'une méthode de construction de la raison qui décortique des objets techniques. En quelque sorte, les objets techniques courants et la technologie qui permet de comprendre les rouages de leur fonctionnement servent de plate-forme pédagogique à un contact authentique avec l'univers des sciences. Pourquoi ce qui marche à l'école élémentaire et au collège ne serait-il pas aussi utile avec les lycéennes et les lycéens ? C'est en partant de cette interrogation, qu'a été élaboré l'enseignement d'exploration « création et innovation technologique » en classe de seconde. L'Académie offre ses services pour participer à une évaluation externe de cet enseignement dans le champ de la technologie et des sciences de l'ingénieur, en raison de sa proximité avec l'esprit de la présente communication.

Au niveau des deux dernières classes de l'enseignement général des Lycées, il ne s'agit, pas de créer une nouvelle filière conduisant au bac, mais de proposer aux élèves des options importantes, à l'exemple de l'option SVT pour la filière S ou de la filière arts pour la filière L. Le Ministère pourrait, avec l'appui de l'Académie des Technologies, si le Ministre le lui demande, organiser des groupes d'études mixtes (enseignants de technologie et enseignants des disciplines majeures en S, L, ou SES) pour conduire ensemble, selon une procédure inspirée de la Commission Lagarrigue, un projet d'enseignement conjoint, procéder à son expérimentation au plan national et remettre ses conclusions. Notre proposition découle de la conception plus complète de la technologie présentée plus haut. Partant d'une collection d'exemples retenus en fonction de leur nouveauté et de leur proximité avec les interrogations des élèves, il faut conduire l'étude de ces objets de façon à expliciter leurs apports et les ponts qu'ils offrent aux autres disciplines enseignées dans les classes des lycées. Or, cette explicitation ne sera vraiment attractive et formatrice que si l'on distingue bien l'approche structurale, l'approche génétique et l'approche générique comme trois moments clés de cet enseignement.

Les objectifs et la pédagogie requises par chaque approche peuvent être illustrés sur deux exemples : celui *des réseaux électriques domestiques* et celui de *l'action sur le génome animal*.

Approche structurale

Dans cette étape, les deux objets techniques peuvent être introduits par des exemples concrets et simplifiés : le réseau électrique d'un petit appartement (ou celui de la salle de cours) ; la reproduction cellulaire ou celle d'un animal très simple. Le processus de découverte peut aller ici de l'apprentissage de fonctionnalités et de causalités simples vers des modélisations scientifiques plus abstraites (les propriétés du courant électrique, la composition du code génétique et son action sur l'individu ou l'espèce). L'élève va ainsi acquérir des notions qu'il sera capable de relier à des observations de la vie courante et/ou de laboratoire. Il pourra aussi saisir des mécanismes simples qui lui permettent d'être sensibilisé à l'existence de savoirs scientifiques qu'il faudrait approfondir pour aller plus loin (Les sources du phénomène électrique, la biologie, etc.)...

Approche génétique

Dans cette seconde étape, on introduit l'évolution historique de ces objets techniques. En proposant, par exemple, une comparaison entre un réseau électrique d'appartement, il y a une cinquantaine d'années et celui d'un appartement récent. On peut ainsi illustrer toutes les grandes notions simondoniennes : l'évolution de la câblerie et du gainage, la protection face aux dangers des courts-circuits (introduction, des fusibles et des disjoncteurs...). On peut aussi introduire les mécanismes économiques en réfléchissant à la facturation : comment paie-t-on l'électricité ? Comment dimensionne-t-on les besoins ? Comment marchent les compteurs et quelles sont leurs fonctions ? Ainsi, le milieu de l'objet et ses conditions de concrétisation seront présentés, et, l'on peut, par exemple, demander aux élèves de faire une petite étude chez eux en mesurant les variations de consommation introduites par la mise en œuvre de différents appareils. Cette étape est aussi propice à l'initiation aux normes techniques qui permettent aux appareils de fonctionner sur un même réseau... Il en va de même pour le code génétique : on peut rappeler que l'on a pendant longtemps agi sur le code génétique par la sélection animale et végétale (des exemples peuvent être pris sur les animaux domestiques ou sur des variétés de semences). Par comparaison, l'action directe sur le génome suppose à la fois de connaître le code et de pouvoir le modifier. Ici l'étude des premiers animaux clonés ou des semences auto-immunes à certains parasites peut servir de cadre pour le débat plus sociétal en introduisant quelques questions simples sur les risques liés aux OGM. On le voit, dans cette seconde étape, l'objet technique n'est plus réductible à des mécanismes et à des principes. Il est le produit d'une histoire qui prend en compte les finalités économiques, sociales et politiques, ainsi que les nécessités de l'organisation et de la gestion des systèmes techniques. Enfin, on peut attester de ces réalités en montrant que des choix différents ont été faits d'un pays à l'autre – d'une culture à l'autre.

Approche générique

Dans cette troisième approche, il faut sensibiliser aux notions d'innovation et d'évolution future. Les élèves doivent sentir que cette évolution n'est pas fatale et qu'elle dépend notamment de leurs capacités à concevoir et choisir des options intéressantes. On peut ainsi leur demander de faire des propositions sur ce que pourront être demain des « smart grids » ou une « carte du génome pour tous », ainsi que de réfléchir à leurs conséquences potentielles. Dans ce travail, les élèves peuvent être invités à prendre connaissance eux-mêmes des débats et des réalisations autour de ces deux concepts. On doit les inviter à réfléchir à des innovations dont la faisabilité n'est pas encore acquise, mais aussi à tenter d'anticiper sur des enjeux de ces développements techniques ou des obstacles futurs qu'ils pourraient rencontrer. La restitution des travaux peut se faire sous plusieurs formes : schémas, prototypes plus ou moins simplifiés, scénarios illustrés ; on peut aussi avoir recours à des jeux de rôles opposant par exemple un « inventeur » et un « conservateur » ; dans certains cas, si le temps et les ressources nécessaires sont disponibles, on peut aller jusqu'à des mini-projets de conception à présenter devant un jury.

Approche générale, apports respectifs des sciences économiques et sociales et de la technologie

La réflexion sur l'impact multiple des objets et systèmes techniques sur les comportements des individus et la construction de la société, quatrième et dernier volet des discours sur les techniques, est un bon moyen de prendre du recul et de situer la technologie comme une

composante centrale de la culture générale. Il permet aussi d'insister sur son rôle intégrateur de différentes formes de la raison : analytique, critique, économique, inventive, sensible, sociale, éthique, etc. La technologie générale offre un cadre naturel pour aborder des questions essentielles comme celle de la valeur, de la richesse, de la qualité, du risque et de l'ensemble des problématiques éthiques que soulèvent les objets et les systèmes techniques.

Le tableau suivant résume les logiques pédagogiques de chacune de ces approches :

	Apprentissages	Matériel	Liens aux autres disciplines	Type de pédagogie
Technologie structurale	Notions de bases, principes techniques généraux, mécanismes.	Exemples simples et concrets, manipulation, observations.	Introductions aux disciplines scientifiques.	Cours classiques, + « La main à la pâte ».
Technologie génétique	Évolutions des objets techniques ; découvertes des finalités et des enjeux associées comme déterminants de l'objet technique.	Documents historiques ; études concrètes <i>in situ</i> ; initiations aux coûts et aux enjeux sociaux ; trajectoires par pays.	Rudiments d'histoire, gestion, économie, sociologie, politique.	Dossiers à faire par petits groupes à partir de documents et d'études personnelles sur un terrain facile d'accès : (maison, école...)
Technologie générique	Formulations de pistes d'innovation; compréhension des multiples directions d'évolution actuelles ; Initiation à l'évaluation d'options techniques.	Recherches sur le Web ; interviews d'experts ; jeux de rôles ; présentations de synthèse face à des jurys.	Initiation à la recherche, aux méthodes de conception, à la gestion de projets, à l'évaluation dans l'incertain, aux techniques de financement, à la propriété intellectuelle.	Animation critique de travaux collectifs ou de mini projets
Technologie générale	Initiation à la question de la valeur, de la qualité, du risque ;	Identification de sujets impliquant technologie et sciences	Recherche des convergences : complexité, valeur, qualité ; identification de	Projets pluridisciplinaires conduits en partenariat avec les enseignants

	introduction de l'éthique.	sociales ; regard sur les temporalités.	conflits : usages et questions éthiques.	de sciences sociales (histoire, économie)
--	----------------------------	---	--	---

Ces indications visent un enseignement de la technologie pour le Lycée. Mais le schéma d'ensemble pourrait s'adapter à l'enseignement supérieur, en donnant à chaque fois plus d'ampleur et plus d'approfondissement aux apprentissages recherchés. On comprend ainsi pourquoi il ne faut pas s'arrêter dans les grandes Ecoles d'ingénieurs à un enseignement structural des techniques auquel on viendrait simplement juxtaposer des enseignements de gestion, d'économie ou de droit. Les formations contemporaines les plus avancées et les plus attractives introduisent des activités d'enseignement dont la vocation est de compléter ce schéma classique par des approches génétiques et génériques.

Enfin, il faut aussi noter que la grande diffusion des pédagogies par « projets », ne signifie pas que les quatre approches sont déjà bien présentes ; encore faut-il que le travail de projet soit précédé ou suivi d'un accompagnement critique et d'enseignements permettant une vraie acquisition des approches technologiques évoquées. Rien ne garantit qu'un étudiant (ou un groupe d'étudiants) qu'on laisse se « débrouiller » seul sur un projet a vraiment acquis une vision historique, scientifique et créative de la technologie. On peut même craindre le contraire quand on ne procède pas à un recul réflexif organisé.

À tous les niveaux, on ne saurait trop insister sur l'intérêt de faire intervenir, de manière préparée et avec des objectifs pédagogiques précis, des professionnels extérieurs au monde éducatif, tant pour leur expérience des processus d'innovation pour que pour leur capacité à montrer une image positive de l'industrie. On attend beaucoup de ces interventions – dont le bilan devrait être rigoureusement dressé – dans la formation des formateurs, mais on en attend au moins autant dans la formation des élèves des Lycées et dans la démonstration *in situ* de métiers qui sont de plus en plus ressentis comme opaques par la société.

3 – Une sélection de techniques exemplaires de l'intérêt de la pluralité d'approches technologiques

Les exemples proposés ici ont été retenus en fonction de trois critères préférentiels : le caractère innovant et la grande actualité des objets ou systèmes techniques cités, le fort intérêt des approches génétiques ou génériques pour analyser et stimuler le processus d'invention et les perfectionnements en cours et, pour finir, leur importance dans le développement d'une PME industrielle développant des techniques de pointe¹⁶. Rappelons qu'il s'agit essentiellement de stimuler la capacité de compréhension et d'imagination des élèves et de les amener à se projeter dans un univers à la fois complexe et ouvert à la créativité dans lequel ils auront à prendre une place déterminante.

a. Approches génétiques et génériques du champ de l'informatique.

Le domaine de l'Informatique recèle de nombreux exemples de développements techniques à observer par les approches relevant de la technologie génétique ou de la technologie générique. On pourrait évoquer les évolutions considérables induites par l'approche numérique dans différentes filières techniques comme la construction mécanique ou la réalisation des circuits intégrés en microélectronique. On retiendra ici des développements majeurs dans son propre domaine.

Comme exemple d'analyse par la technologie génétique, prenons le Web

Au début des années 1990, l'idée émerge d'élaborer un système ubiquitaire de partage d'informations entre individus connectés à un réseau en s'appuyant sur le succès grandissant du protocole de transmission de données IP (Internet Protocol). Par rapport à d'autres propositions visant le même objectif, « l'individuation » réussie par Tim Berners Lee repose entre autre sur deux caractéristiques simultanément présentes : d'une part le choix de l'hypertexte comme modèle d'information partagée (html), d'autre part une mise en œuvre efficace du mécanisme d'hyperlien sur un réseau à grande distance (http) pour accéder de manière uniforme à des éléments de texte locaux ou géographiquement distants et ceci de façon « naturelle ». Depuis son invention et avec le succès que l'on connaît, le Web, n'a cessé de se « concrétiser », au sens de Simondon, indépendamment de son créateur et d'affirmer son rôle de « transduction » dans plusieurs dimensions : la diversité et la multiplicité des services d'intermédiation et celles des formats d'informations partagées, l'extension de la communication entre individus à la communication entre objets ou entre objets et individus. On remarquera par ailleurs la « minimalité » des concepts qui ont présidé à la conception du Web et qui confèrent à ce dispositif technique une forme d'élégance certaine. En terme d'évolution, il aura simplement fallu considérer que tout logiciel situé sur un ordinateur connecté au réseau peut disposer d'une adresse sur le Web pour transformer ce dernier en un « méta-ordinateur » programmable – et ceci à l'échelle de la planète – et par là même, offrir les extensions mentionnées tout en conservant cette élégance liée à la « minimalité » des dispositifs employés.

¹⁶ Jean-Claude Millet, « L'art d'innover dans une PME technologique industrielle », Editions Héphaïstos 2012

Les exemples d'innovations illustratifs de la fécondité d'une approche générique abondent également. Retenons ici la conception de grands logiciels.

Dans la plupart des cas on ne conçoit un nouveau grand logiciel que si la fonction à remplir n'existe pas encore de manière partiellement ou totalement automatisée au sens de l'informatique. S'il s'agit, à titre d'exemple, d'automatiser telle fonction ou tel processus au sein d'une entreprise, la fonction ainsi obtenue n'est pas une simple extrapolation de la fonction réalisée manuellement. Il n'existe pas de modèle général d'automatisation dont on pourrait dériver une application particulière. Si la fonction ou le processus sont complexes au sens où ils présentent de nombreuses sous-fonctions à mettre en œuvre, de nombreux composants à faire interagir, de multiples données à prendre en compte, on va aboutir à la conception d'un *grand objet technique entièrement nouveau* et comportant des centaines de milliers, voire des millions d'opérations (instructions) élémentaires. Si on ajoute à cela que la taille de l'objet à élaborer nécessite la collaboration d'un grand nombre d'individus on se convainc rapidement de la nécessité d'une forme de rationalité qui garantit l'aboutissement de cette conception dans un délai donné, tout en maximisant la satisfaction des besoins initialement exprimés et minimisant les erreurs qu'il s'agisse des erreurs de conception ou de programmation. C'est le rôle des outils et des méthodologies dites du « génie logiciel » que d'apporter la rationalité nécessaire. Sans entrer ici dans le détail des principes et outils du génie logiciel, soulignons que ce domaine est à l'origine d'une véritable science des programmes informatiques qui permet, à partir de la sémantique mathématique d'un programme, de vérifier si ce dernier satisfait certaines propriétés ou encore valider divers types de transformation de ce programme.

b. Dans le domaine de la construction, deux techniques dont la genèse et le développement sont illustratifs la technologie générique

La maison verte (passive house)

Le développement durable, les économies d'énergie, la réduction des émissions de gaz à effet de serre ou de l'empreinte carbone ne sont pas atteignables si l'on conserve les règles classiques d'architecture, et si l'on ne développe pas de nouvelles techniques de climatisation, d'isolation ou de production d'énergie dans les immeubles et les maisons. Or, si l'on n'adopte pas une perspective rationnelle issue de la technologie générique on risque d'entrer dans un cercle vicieux, où les architectes proposent de nouveaux concepts que les ingénieurs ne savent pas faire, et réciproquement les ingénieurs proposent de nouvelles techniques mais celles-ci ne sont pas retenues par les architectes. Pour sortir de ce cercle vicieux, de nouvelles méthodes de conception ont été développées dans de nombreux pays, elles invitent à créer conjointement de nouveaux concepts d'habitat (nouvelles approches des murs, des fenêtres, du confort thermique, de la relation aux différents réseaux et effluents, etc.) qui serviront de pôles d'attraction heuristiques, selon les principes de la technologie générique, pour engager de nouvelles recherches sur des phénomènes jusqu'alors peu étudiés. Cette combinaison entre la rupture avec les modèles techniques classiques et l'activation de nouvelles approches scientifiques pour atteindre la réalisation d'objectifs définis en commun montre la puissance de développement de la rationalité sous-jacente à la technologie générique. C'est ainsi qu'en peu d'années le mouvement « passive house » a suscité une génération nouvelle de « maisons » qui sont devenues des systèmes énergétiques et climatiques originaux.

Dans la même veine, les éco-quartiers et les éco-cités sont des systèmes offrant un terrain propice à la mise en œuvre des rationalités sous-jacentes à la technologie générique et invitant à de fructueuses collaborations avec les sciences sociales et l'écotechnologie pour mettre l'accent sur la fonction sociétale de ces systèmes.

Les matériaux fonctionnels.

Traditionnellement, l'approche structurale des matériaux classaient ces derniers par leur composition de base : roches, métaux, bois, plastiques, matières biologiques. Cette approche est de plus en plus complétée par une approche fonctionnelle où ce qui est mis en avant ce n'est pas la composition du matériau mais la classe des fonctions que l'on recherche, introduisant ainsi une démarche de conception de matériaux nouveaux (materials design). Le champ d'exploration s'est ainsi ouvert à des combinaisons inédites et inventives : nanomatériaux, fibres textiles ou peintures dites techniques, matériaux structuraux et composites, aérogels, etc. Dans ce domaine, la démarche biomimétique a joué un rôle important en attirant l'attention sur les propriétés surprenantes des fibres végétales ou animales. On voit aussi se multiplier les outils permettant de concevoir de nouveaux matériaux à partir de bases de connaissances sur des composants de bases et des simulations permettant d'anticiper, au moins partiellement, les propriétés de combinaisons nouvelles. Même un champ technique aussi classique que les bétons a connu dans les années récentes des évolutions similaires avec la conception de bétons à très hautes performances autorisant des constructions ultra légères et d'une très grande finesse de formes qui ont attiré l'intérêt des architectes les plus ambitieux. On voit ainsi que le champ de l'innovation des matériaux se prête de moins en moins à une approche structurale figée et témoigne de la grande capacité de l'approche générique.

c. L'art d'innover dans une PME industrielle à forte valeur ajoutée par l'innovation technique

Dans son ouvrage intitulé « L'art d'innover dans une PME technologique industrielle », notre confrère Jean-Claude Millet fait état de ses expériences en matière de gestion d'une PME innovante, pour en tirer de nombreux principes dans l'art d'innover. Il est intéressant de constater que plusieurs de ces principes relèvent implicitement des approches de la technologie génétique et générique. Il explique en effet comment à partir d'un objet technique existant il est possible d'en concevoir de nouveaux par le processus qu'il appelle « d'hybridation ». Cette hybridation peut prendre une forme verticale, horizontale ou encore transversale. Dans le cas d'une hybridation verticale il s'agit d'exploiter un marché en profondeur en donnant des fonctionnalités nouvelles à un objet existant. L'hybridation horizontale consiste à adapter un produit existant à d'autres marchés. L'hybridation transversale a pour but de donner une nouvelle fonctionnalité à un objet technique pour accéder à un nouveau marché en associant deux produits non destinés à l'être. Il est clair que, dans tous ces cas, l'hypothèse est faite que dans leurs « gènes », les dits objets possèdent les qualités d'une extension possible voire aisée de leurs fonctions. Ce sont les qualités d'une bonne « individuation », au sens de la technologie génétique. Cette même « hybridation » conduit à l'innovation de rupture lorsque l'on combine des fonctionnalités inattendues. Ainsi, le praticien retrouve des démarches développées par l'École du Morphological Design qui fut l'une des étapes de l'histoire moderne des théories de la conception.

4. Le rôle dédié aux enseignants dans l'entretien d'un corpus de techniques exemplaires

La présente communication s'adresse, en premier lieu, aux professeurs chargés de l'enseignement de la technologie que nous souhaitons voir développé dans les filières d'enseignement général des lycées. Elle veut leur donner confiance dans la place centrale qu'ils ont à occuper. Mais une telle place nécessite des connaissances et une préparation qui vont au-delà des « sciences des techniques » qu'ils ont acquises au cours de leur formation. Une insertion d'une certaine durée au sein d'une entreprise industrielle à fort développement d'innovations techniques constitue, à l'évidence, une méthode de choix pour bien situer les deux fonctions majeures qu'auront à exercer les futurs ingénieurs, l'expertise et la création de nouveaux objets et systèmes techniques. C'est dans cet esprit que les enseignants de « technologie » dans les filières d'enseignement général au Lycée pourront se prévaloir d'une familiarisation aux trois ou quatre étapes qui permettent de comprendre la spécificité des objets ou des systèmes techniques et de porter, à leur tour, le message de « la technologie, une école d'intelligence innovante ».

L'Académie des technologies, pour sa part, pourrait contribuer à cette préparation qui implique, dans un premier temps, de leur faciliter l'accès à trois types de matériaux pédagogiques :

- **d'abord des « histoires » d'objets techniques** impliquant, au cours des siècles passés, des accroches successives sur différentes disciplines scientifiques, permettant de sensibiliser les élèves à la complexité des relations entre la science et la technologie et de faire émerger la singularité, l'individuation de chaque objet ;
- **ensuite des documents sur les grandes problématiques actuelles et futures** de l'énergie, des matériaux, de la ville dé-carbonée, des biotechnologies ou du numérique... leur permettant d'introduire les étapes successives de ces « inventions en cours ». De tels matériaux, leur permettrait de souligner l'ampleur du développement des techniques du futur et de stimuler ainsi la curiosité des élèves, et, pour certains d'entre eux, le désir de créer et d'entreprendre ;
- **enfin des manuels**, nécessaires pour soutenir l'enseignement de toute discipline scolaire. L'Académie pourrait concourir à la relecture de manuels et à l'évaluation des premiers, déjà mis à disposition des équipes enseignantes.

Ces trois objectifs pourraient utilement susciter, au sein de l'Académie des technologies, la production de fiches régulières, à la fois pour soutenir les enseignants expérimentés et donner aux novices le désir de s'initier à l'ensemble des approches technologiques. Parmi les plus fécondes pour éveiller des esprits inventifs et entreprenants, la technologie génétique et la technologie générique ont une place de choix.

Mais il va de soi qu'il ne s'agit que d'un premier pas. La véritable adhésion à l'esprit préconisé dans la présente Communication passera nécessairement par la contribution du plus grand nombre à un corpus de techniques exemplaires, par établissement, par région ou au plan national, un corpus dont l'Académie pourrait utilement reconnaître la valeur – par exemple sous la forme d'attribution de prix – et encourager la diffusion.

En guise de conclusion...

En préconisant la diffusion de la technologie – au sens d'un discours sur les objets et systèmes techniques – aux élèves des seules filières de l'enseignement général des lycées, les auteurs ont conscience de réduire la portée de cette communication. En effet, elle ne prend notamment pas en compte les élèves des filières professionnelles dont on sait que les compétences professionnelles et la perception des objets techniques sont tout aussi déterminantes pour le dynamisme de l'économie et la créativité de l'industrie.

L'importance des enjeux se mesure à l'aune du professionnalisme des opérateurs, mais aussi dans le registre de nouvelles assurances pour ces mêmes opérateurs de disposer de compétences « durables » tout au long de la vie. De son côté, la complexité spécifique du sujet tient aux confusions possibles et difficilement évitables entre l'apprentissage prioritaire de techniques indispensables pour l'exercice d'un métier bien défini dans le temps présent et une ouverture aux « discours sur la technologie » comme facilitateur de conversions inéluctables dans le Monde tel qu'il est.

La réunion de ces deux critères justifie, à l'évidence, une réflexion spécifique qui pourrait faire ultérieurement l'objet d'une autre communication.

Pour en savoir plus...

Madeleine Akrich, « Les objets techniques et leurs utilisateurs : de la conception à l'action », « *Raisons pratiques* », 4, 35 - 57. 1993

Armand Hatchuel et Benoit Weil, “ A new approach of innovative design : an introduction to C-K theory”, ICED Proceedings, 2003.

Armand Hatchuel et Benoit Weil, « Les nouveaux régimes de la conception. Langages, théories, métiers », Vuibert 2008.

Olivier Houdé, « la psychologie de l'enfant, quarante ans après Piaget », *Sciences humaines* n°3, 2006.

Bruno Latour & Pierre Lemonnier, (ss. La dir.), « De la préhistoire aux missiles balistiques, l'intelligence sociale des techniques ». La découverte, 1994

André Leroi-Gourhan, « Milieu et techniques ». Paris, Albin Michel, 1945.

André Leroi-Gourhan, « Le Geste et la Parole, 1. : Technique et langage, 2. : La Mémoire et les Rythmes ». Paris, Albin Michel, 1964-1965

Jean-Claude Millet, « L'art d'innover dans une PME technologique industrielle ». Héphaïstos 2012

Antoine Picon, « Culture numérique et architecture ». Birkhauser, 2010.

Antoine Picon, « Architectes et ingénieurs au Siècle des Lumières ». Parenthèses 1988

Gilbert Simondon, « Du mode d'existence des objets techniques ». Aubier 1958 (ainsi que les éditions suivantes).

F. Zwicky, « Discovery, Invention, Research - Through the Morphological Approach », TheMacmillan Company, Toronto 1969.

Mis en forme : Anglais (États Unis)

|

Annexes

Annexe n°1

Les enseignements d'exploration

1 - La nouvelle classe de seconde générale et technologique

La classe de seconde générale et technologique (GT), commune aux élèves destinés à s'orienter vers la voie générale et la voie technologique, comprend des enseignements communs à tous les élèves dont un accompagnement personnalisé de deux heures hebdomadaires, **deux enseignements d'exploration optionnels**, (à titre dérogatoire, les lycéens peuvent en suivre un seul ou bien trois) auxquels peut s'ajouter un enseignement facultatif. Un des enseignements d'exploration est nécessairement « sciences économiques et sociales » ou « principes fondamentaux de l'économie et de la gestion ». Le second enseignement peut-être un de ces enseignements, s'il n'a pas déjà été pris, ou l'un des suivants : « littérature et société », troisième langue vivante, langues anciennes, « arts », « sciences de l'ingénieur », « méthodes et pratiques scientifiques », « sciences et laboratoire », « biotechnologies », « santé et social », « création et innovation technologiques », « écologie – agronomie – territoire et développement durable », « éducation physique et sportive ». Le nombre de ces enseignements et de leurs combinaisons a rendu nécessaire leur regroupement en grands « profils ».

Composante majeure de la réforme de 2010 dite « du nouveau lycée », le déploiement des enseignements d'exploration en classe de seconde générale et technologique obéit à des principes généraux. Ces enseignements portent sur un ensemble de sujets majeurs pour mieux appréhender le monde contemporain.

2 - Les règles générales présidant aux enseignements exploratoires

Les objectifs

Ces enseignements, d'une durée de 54 heures, ont pour objectifs principaux :

- de faire découvrir des champs disciplinaires de connaissances et les méthodes associées ;
- d'informer sur les cursus possibles au cycle terminal comme dans le supérieur (IUT, classes préparatoires, universités...);
- d'identifier les activités professionnelles auxquelles ces cursus peuvent conduire.

Deux enseignements au choix

Chaque élève choisit deux enseignements d'exploration, un choix qui ne conditionne en rien son orientation future en classe de première.

- obligatoirement, un des deux enseignements d'exploration, au moins, est pris parmi les enseignements d'économie suivants : « principes fondamentaux de l'économie et de la

gestion » ou « sciences économiques et sociales ». Ces deux enseignements sont proposés au choix à tous les élèves ;

- un second enseignement d'exploration différent du premier.

Une offre complémentaire pour les enseignements technologiques

Afin de valoriser la voie technologique, l'élève peut choisir, en plus de l'enseignement d'exploration d'économie, deux enseignements parmi les suivants : biotechnologies, sciences et laboratoire, santé et social, création et innovation technologiques, sciences de l'ingénieur.

Les formations spécifiques

Les deux enseignements d'exploration peuvent être remplacés par un seul des enseignements suivants en raison des spécificités des formations auxquelles ils conduisent et des horaires qu'ils nécessitent : éducation physique et sportive (180h), création et culture design (216h) ou arts du cirque (216h).

3 – Les thèmes des enseignements d'exploration

Principes fondamentaux de l'économie et de la gestion

Découvrir les notions fondamentales et de la gestion par l'observation et l'étude des structures concrètes et proches des élèves (entreprises, associations, etc.)

Sciences économiques et sociales

Découvrir les savoirs et les méthodes spécifiques à la science économique et à la sociologie à partir de quelques grandes problématiques contemporaines.

Biotechnologies

Découvrir les protocoles expérimentaux, les procédés bio-industriels, aborder les questions de qualité de sécurité biologique ; réfléchir à la place des sciences et des biotechnologies dans la société actuelle.

Sciences et laboratoire

Découvrir et pratiquer des activités scientifiques en laboratoire ; apprendre à connaître et utiliser des méthodologies et des outils propres aux différentes disciplines scientifiques concernées.

Santé et social

Découvrir les liens entre la santé et le bien-être social – aborder la préservation de la santé de la population et de la protection sociale – explorer les métiers du médical, du paramédical et du social.

Sciences de l'ingénieur

Analyser comment des produits ou des systèmes complexes répondant à des besoins sociétaux à travers la question du développement durable ; découvrir les objectifs et les

méthodes propres aux sciences de l'ingénieur.

Création et innovation technologiques

Comprendre la conception d'un produit ou d'un système technique faisant appel à des principes innovants et répondant aux exigences du développement durable – explorer de manière active des domaines techniques et des méthodes d'innovation.

Annexe n° 2

**Données statistiques nationales sur les lycéens
des filières générales et technologiques**

extrait du DEPP-RERS 2011

Présentation

Mise en place en 1992 et revue en 1999, l'organisation du second cycle général et technologique connaît une nouvelle réforme qui débute en classe de seconde à la rentrée 2010. Dans cette classe de seconde générale et technologique (GT), réaffirmée comme étant une « classe de détermination », la réforme instaure notamment un accompagnement personnalisé et introduit deux enseignements d'exploration pour aider les élèves à préparer leurs choix d'orientation futurs. À l'issue de la seconde GT, les lycéens préparent un baccalauréat général (S, L, ES) ou un baccalauréat technologique (STI, STG, STL, ST2S, STAV), marginalement un brevet de technicien (diplôme en voie d'extinction relayé par le baccalauréat professionnel).

À la rentrée 2010, le second cycle général et technologique compte 1 425 700 élèves, soit 5 700 élèves de moins qu'en 2009 (- 0,4 %) [1]. Les séries générales accueillent un peu plus des deux tiers des élèves de terminale et les séries technologiques un peu moins du tiers. Entre 1994 et 2000, l'évolution s'est faite au profit de la voie technologique (+ 4 points), avec notamment le développement des séries tertiaires STG/STT et SMS, et au détriment de la série littéraire L. Entre 2004 et 2008, la tendance s'inverse à nouveau au profit de la voie générale, par la hausse de la série S [2]. Depuis la rentrée 2008, la série S se stabilise au profit de la série ES. À la rentrée 2010, la série littéraire reste autour de 11 %. La part de la série S dépasse le tiers, celle de la série ES dépasse le cinquième (22,4 %). Enfin, un peu plus de 9 % des élèves de terminale sont scolarisés dans les séries technologiques de la production (STI et STL), 22,7 % dans les séries technologiques des services (essentiellement STG et ST2S).

Pour l'ensemble du second cycle général et technologique, les filles, globalement majoritaires (54,3 %), se répartissent inégalement entre les séries : elles sont nettement majoritaires dans les séries littéraires (78,7 % en terminale L) et tertiaires (56 % en terminale STG, 92,8 % en ST2S) et sous-représentées dans les séries à caractère scientifique (39,6 % dans l'ensemble des classes terminales des séries S, STI et STL). Mais d'importantes disparités existent entre ces dernières (45,2 % pour la série S, 10,6 % pour la série STI, 56 % pour la série STL). En définitive, compte tenu de l'importance de la série S, les filles sont plus présentes en terminale S (56 400) qu'en terminale L (33 200) [1].

Sources : MENJVA-MESR DEPP
Système d'information SCOLARITÉ et enquête n° 16 auprès des établissements privés hors contrat.

Définitions

Champ

Établissements sous tutelle du ministère de l'éducation nationale, de la jeunesse et de la vie associative.

Secondes générales et technologiques

En classe de seconde GT de détermination, les enseignements comprennent :

- des enseignements communs à tous les élèves (« tronc commun ») et un accompagnement personnalisé de deux heures hebdomadaires ;
- des enseignements « d'exploration » optionnels et des options facultatives.

Il existe également des classes de seconde spécifiques préparant aux baccalauréats technologiques « Techniques de la musique et de la danse » (TMD) et « Hôtellerie », ainsi qu'à quelques brevets de technicien.

Premières et terminales générales et technologiques

Les classes de première et terminale préparant au baccalauréat comportent :

- des séries générales :

- S : Scientifique ;
- L : Littéraire ;
- ES : Économique et sociale.

- des séries technologiques :

- STI : Sciences et technologies industrielles (y compris la spécialité Arts appliqués [AA] depuis 1997 en classe de première, depuis 1998 en classe de terminale) ;
- STG : Sciences et technologies de la gestion (qui remplace la série Sciences et technologies tertiaires [STT] depuis la rentrée 2005 en classe de première, depuis 2008 en terminale) ;
- STL : Sciences et technologies de laboratoire ;
- ST2S : Sciences et technologies de la santé et du social (qui remplace la série Sciences médico-sociales [SMS] depuis la rentrée 2007 en classe de première, depuis 2008 en classe de terminale) ;
- STAV : Sciences et technologies de l'agronomie et du vivant, série préparée dans les lycées agricoles ;
- TMD : Techniques de la musique et de la danse ;
- Hôtellerie.

Il existe en outre des classes préparant aux brevets de technicien (BT), ainsi que des premières d'adaptation au baccalauréat technologique ou au BT qui accueillent les élèves titulaires d'un BEP ou d'un CAP.

📖 Pour en savoir plus

- Note d'Information, 11.10
- « Vœux, stratégies et orientations réelles des bacheliers technologiques », *Éducation & Formations*, L'orientation, n°77, MEN-DEPP, novembre 2008.

Le second cycle général et technologique par série

4.10

[1] Répartition des élèves du second cycle général et technologique selon le sexe et la série à la rentrée 2010

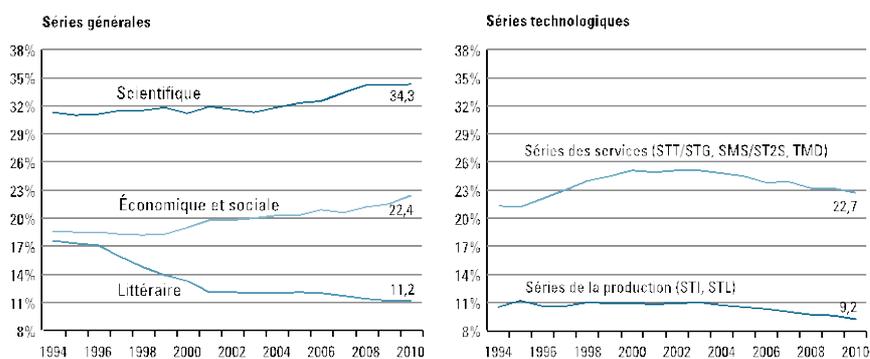
(France métropolitaine + DOM, Public + Privé, y compris EREA)

Séries	Public			Privé			Public + Privé	
	Garçons	Filles	Total	Garçons	Filles	Total	Total	% filles
Secondes								
GT de détermination	179 070	213 055	392 125	50 126	57 934	107 220	499 345	54,1
Techno (TM) et Hôtellerie, BT	1 127	1 775	2 902	777	204	481	2 883	49,6
Total secondes	180 247	214 280	394 527	50 403	57 298	107 701	502 228	54,1
Premières								
S	70 522	59 314	128 836	22 532	16 596	39 678	188 614	77,7
L	8 390	32 515	40 905	2 218	7 477	9 695	30 900	79,0
ES	29 170	48 133	77 313	10 437	14 486	24 943	102 256	61,4
ST (1)	23 406	2 765	26 171	3 347	713	4 060	30 231	11,5
STG	75 024	27 435	102 459	6 936	6 237	12 853	33 437	55,4
S L	2 729	3 427	6 156	629	720	1 349	7 505	55,3
S 2S	978	1 874	2 852	768	706	1 474	21 26	91,7
TMD et Hôtellerie	1 107	1 008	2 110	734	215	449	2 559	44,8
D'application	1 527	3 700	5 227	541	1 271	1 812	7 039	70,6
Brevet de technicien	129	296	425	73	31	104	479	68,3
Total premières	163 027	194 627	357 654	46 885	55 662	102 547	460 201	54,4
Terminales								
S	67 337	66 438	133 775	19 534	15 277	34 811	188 786	45,2
L	8 785	33 180	41 965	2 235	7 832	9 887	31 952	78,7
ES	25 879	49 050	74 929	10 527	14 422	24 949	102 978	61,0
S (1)	27 478	2 874	30 352	3 838	730	4 568	35 020	10,6
STG	27 234	35 596	62 730	6 594	7 064	13 858	76 588	58,0
STI	7 820	3 460	11 280	805	708	1 513	7 473	56,1
S 2S	1 076	15 423	16 505	739	8 156	9 245	23 750	92,8
TMD et Hôtellerie	1 403	1 223	2 626	273	216	489	3 115	46,2
Brevet de technicien	72	471	543	72	101	173	716	69,2
Total terminales	165 884	197 921	363 805	44 727	54 716	99 443	463 248	54,5
Total second cycle GT	509 158	606 828	1 115 986	142 015	167 676	309 691	1 425 677	54,3

(1) Inclut la série STAV (Sciences et technologies de l'agriculture et du vivant) : 46 élèves en première, 54 en terminale.

[2] Évolution du poids des séries de terminale générale et technologique (%)

(France métropolitaine + DOM, Public + Privé)



Lecture - En 2010, 11,2 % des élèves de terminale GT sont inscrits en terminale littéraire.
 Coefficient de production s'élevait à 17,5 % en 1994.

Présentation

À la rentrée 2010, les classes de seconde accueillent 502 200 élèves (France métropolitaine et DOM, secteurs public et privé). Ils sont quasiment tous (499 300 élèves, soit 99,4 %) inscrits en seconde générale et technologique (GT) et 54,1 % sont des filles. L'enseignement privé scolarise 21,4 % d'entre eux [1].

La mise en place d'une nouvelle classe de seconde à la rentrée 2010 constitue la première étape de la réforme des lycées, laquelle verra son aboutissement avec le baccalauréat de la session 2013. La seconde générale et technologique (GT) est réaffirmée comme étant une classe de détermination permettant un choix ouvert de la série menant au baccalauréat.

L'apprentissage d'une deuxième langue vivante est devenu obligatoire. Au titre du premier enseignement d'exploration (voir « Définitions »), 85,5 % des élèves ont opté pour les sciences économiques et sociales (SES) et 22,5 % pour les principes fondamentaux de l'économie et de la gestion (PFEG) [2]. Parmi eux, 9,4 % ont suivi les deux enseignements. Au titre du second enseignement d'exploration, un lycéen sur trois a opté pour « méthodes et pratiques scientifiques » (MPS), un sur six pour « littérature et société ».

On peut classer les enseignements d'exploration en quatre grands profils [3]. Le profil « économie et gestion », fondé sur l'association SES+PFEG, concerne près de 10 % des élèves, à part égale pour les garçons et les filles. Le profil basé sur les lettres, les langues et les arts concerne 32,7 % des élèves, en nette majorité des lycéennes. Le profil « scientifique ou technologique » regroupe 57,3 % des élèves. C'est le profil largement dominant pour les garçons (68,6 % d'entre eux), tandis que les filles se répartissent à peu près équitablement entre ce profil (47,7 %) et le profil « lettres, langues et arts » (42,8 %). Le profil « EPS » est marginal, il concerne moins de 1 % des élèves.

Définitions

Champ

Établissements sous tutelle du ministère de l'éducation nationale, de la jeunesse et de la vie associative.

La nouvelle classe de seconde générale et technologique

La classe de seconde générale et technologique (GT), commune aux élèves destinés à s'orienter vers la voie générale et la voie technologique, comprend des enseignements communs à tous les élèves dont un accompagnement personnalisé de deux heures hebdomadaires, deux enseignements d'exploration optionnels, (à titre dérogatoire, les lycéens peuvent en suivre un seul ou bien trois) auxquels peut s'ajouter un enseignement facultatif. Un des enseignements d'exploration est nécessairement « sciences économiques et sociales » ou « principes fondamentaux de l'économie et de la gestion ». Le second enseignement peut-être un de ces enseignements, s'il n'a pas déjà été pris, ou l'un des suivants : « littérature et société », troisième langue vivante, langues anciennes, « arts », « sciences de l'ingénieur », « méthodes et pratiques scientifiques », « sciences et laboratoire », « biotechnologies », « santé et social », « création et innovation technologiques », « écologie-agronomie-territoire et développement durable », « éducation physique et sportive ». Le nombre de ces enseignements et de leurs combinaisons a rendu nécessaire leur regroupement en grands « profils ».

Options

Le terme d'option fait référence à tout enseignement qui, dans le programme de chaque classe, nécessite un choix de la part des élèves. Ces options peuvent faire partie des enseignements obligatoires (enseignements d'exploration en seconde GT) ou facultatifs.

SES - Sciences économiques et sociales.

PFEG - Principes fondamentaux de l'économie et de la gestion.

MPS - Méthodes et pratiques scientifiques.

Arts

Enseignements d'exploration. Regroupe les cinq enseignements d'exploration au choix : patrimoines, arts visuels, arts du son, arts du spectacle, arts du cirque.

Arts, option facultative

Regroupe les six options facultatives au choix : musique, arts plastiques, cinéma-audiovisuel, théâtre, histoire des arts, danse.

④ Pour en savoir plus

- RERS 4.10.

- F. Defresne, F. Rosenwald, « Le choix des options en seconde générale et technologique : un choix anticipé de la série de première ? », *Éducation & formations*, n° 70, MEN-DEPP, décembre 2004.

Sources : MEN/JVA-MESR/DEPP
Système d'information SCOLARITÉ et enquête n° 16 auprès des établissements privés hors contrat.

Les options de seconde générale et technologique

4.12

[1] Répartition des élèves de seconde à la rentrée 2010

(France métropolitaine + DOM, Public + Privé, y compris EREA)

	2 ^{ème} GT	Hôtellerie	TMD	BT	Total
Public	392 125	2 027	230	148	394 527
Privé	107 220	42*	15	75	107 350
Ensemble	499 345	2 465	245	193	502 228
Répartition	96,4	0,5	0,0	0,0	100,0
% de filles	54,1	48,4	53,3	43,7	54,1

[2] Les enseignements d'exploration et les options facultatives à la rentrée 2010

(France métropolitaine + DOM, Public + Privé, y compris EREA)

Enseignements d'exploration										
SES	PFEQ	Littérature et société	Arts (1)	Créa. culture design	MPS	Sciences de l'ing.	Sciences et labo.	Biotechno.	Santé et social	Créa. innov. techno.
427 037	112 116	78 508	32 340	3 329	157 236	48 558	40 509	15 576	20 669	27 312
85,5%	22,5%	15,7%	6,7%	0,6%	31,5%	9,7%	8,1%	3,1%	4,2%	5,5%

EPS (5h)	Ens. d'exploration ou options facultatives				Options facultatives			Effectif de 2 ^{ème} GT
	Latin	Grec ancien	LV3	EPS (3h)	Arts	Atelier artistique	Autres (2)	
3 871	20 429	6 771	50 307	14 287	34 047	861	744	499 345
0,6%	5,3%	1,4%	10,1%	2,9%	6,8%	0,2%	0,1%	100

(1) Van « Définition ».

(2) Autres : pratiques sociales et culturelles, pratiques professionnelles, népidologie, équitation.

(3) La somme des pourcentages est supérieure à 100% puisque chaque élève peut choisir plusieurs enseignements d'exploration.

[3] Répartition des élèves de seconde GT selon le profil des enseignements d'exploration suivis à la rentrée 2010

(France métropolitaine + DOM, Public + Privé, y compris EREA)

	Public	Privé	Total	% total	Garçons	% garçons	Filles	% filles	Part des filles (%)
Profil économie-gestion (SES + PFEQ)	36 638	10 432	47 070	9,4	22 413	9,8	24 657	9,1	52,4
Profil lettres, langues, arts	129 376	33 375	162 751	32,7	47 259	20,7	115 492	42,8	71,0
<i>dont lettres/langues/soc. avec SES</i>	113 732	26 973	42 755	26,7	49 550	17,6	102 153	37,5	71,0
<i>dont lettres/langues/arts avec PFEQ</i>	13 379	3 295	16 667	3,3	5 815	2,5	10 852	4,3	65,1
Littérature et société	60 667	10 301	70 971	14,2	22 011	9,6	48 960	20,9	71,9
LV3	31 324	5 437	36 761	7,4	10 277	4,5	26 484	9,8	72,0
Arts (1)	29 636	5 356	35 092	7,0	10 477	4,6	24 615	9,4	70,8
Latin/grec (avec ou sans LV3)	8 048	2 678	11 727	2,4	4 500	2,0	7 227	2,7	50,6
Profil scientifique ou technologique	223 514	61 948	285 462	57,3	156 872	68,5	128 590	47,7	45,0
<i>dont scientifiques ou techno avec SES</i>	184 640	51 468	237 018	47,6	124 745	54,6	112 273	41,6	47,4
<i>dont scientifiques ou techno avec PFEQ</i>	37 503	10 479	48 082	9,7	32 059	14,0	16 024	6,0	23,7
<i>dont choix de deux enseign. techno.</i>	70 794	4 764	75 578	15,1	15 614	6,8	59 964	3,3	36,5
Méthodes et pratiques scientifiques	119 747	37 989	157 736	31,6	87 056	38,8	70 680	27,5	47,8
Sciences de l'ingénieur	23 807	4 327	28 134	5,7	27 311	12,0	8 823	2,2	11,6
Sciences et laboratoire	28 638	7 785	36 421	7,3	17 343	7,6	19 078	7,1	33,4
Santé et social	10 126	4 333	14 462	2,9	1 743	0,8	12 716	4,7	37,9
Création, innovation technologiques	11 454	1 166	12 620	2,5	9 979	4,4	2 641	1,0	20,9
Biotechnologies	4 820	1 989	6 819	1,4	2 728	1,2	4 091	1,5	36,0
Sciences de l'ingénieur + créa. innov. techno.	12 571	1 358	14 268	2,9	13 073	5,7	1 195	0,4	8,3
Santé et social + bio. acromulogues	3 920	2 016	5 936	1,2	587	0,3	5 349	2,0	90,1
Sciences et laboratoire + biotechnologies	2 172	367	2 539	0,5	897	0,4	1 642	0,6	60,7
Autres prof. scientifiques/technologiques	1 658	368	2 026	0,4	1 343	0,5	683	0,4	48,4
Profil EPS de détermination	2 597	274	2 871	0,6	1 970	0,9	901	0,3	31,4
Total des profils connus	392 125	107 029	499 154	100,0	228 514	100,0	269 640	100,0	54,1
Profil inconnu	-	1 191	1 191	0,2	687	0,3	504	0,2	47,7
Ensemble	392 125	107 220	499 345		228 196		271 149		54,1

(1) Y compris création et culture des gn.

(2) Lecture : 8,4 % des élèves de 2^{ème} GT suivent deux enseignements d'exploration en « économie-gestion ». Cette proportion s'élève à 9,6 % pour les garçons et à 7,1 % pour les filles.

Annexe n° 3

L'enseignement d'exploration "création et innovation technologiques"

Circulaire extraite du BOEN du 29 avril 2010

PROGRAMME DE CRÉATION ET INNOVATION TECHNOLOGIQUES EN CLASSE DE SECONDE GÉNÉRALE ET TECHNOLOGIQUE

Enseignement d'exploration

Préambule

La société doit faire face à de nouveaux défis pour satisfaire les besoins des générations actuelles et à venir. Les sciences et technologies apportent des réponses aux questions de société en utilisant des méthodes de conception rigoureuses et en développant des innovations toujours mieux adaptées. L'enseignement d'exploration *Création et Innovation Technologiques* a pour ambition de faire appréhender aux élèves les démarches de créativité permettant de favoriser l'innovation.

L'enseignement d'exploration *Création et Innovation Technologiques* propose aux élèves de découvrir pourquoi et comment un produit s'inscrit dans une évolution technologique, à partir de quelles découvertes, inventions et innovations technologiques il est apparu et comment une démarche de créativité est indispensable au développement des innovations technologiques.

Cet enseignement s'appuie sur les acquis des programmes de Technologie du collège. Il s'intéresse aux innovations technologiques intégrées dans des produits et aux démarches de créativité associées. Il s'appuie sur des évolutions de produits ou de grands systèmes technologiques et permet d'identifier des facteurs d'innovation s'appuyant sur des principes scientifiques et des solutions techniques innovantes associées.

Cet enseignement d'exploration permet de faire le lien avec d'autres disciplines, pour appréhender l'impact de toute innovation technologique sur les évolutions sociétales et environnementales. Il développe ainsi une approche originale en valorisant l'imagination et la réflexion collective. Les activités proposées permettent par le biais d'études concrètes d'innovations technologiques, d'identifier des perspectives d'études supérieures scientifiques et technologiques et, au-delà, de découvrir des métiers et les domaines professionnels vers lesquels elles s'ouvrent.

Le programme repose sur la découverte et l'analyse d'innovations technologiques et de démarches de créativité industrielles pour découvrir comment et pourquoi un produit technique évolue.

Les technologies de l'information et de la communication sont systématiquement mises en œuvre dans cet enseignement. Elles accompagnent toutes les activités proposées :

- recherche et exploitation de dossiers numériques ;
- visualisation et analyse de produits techniques modélisés en 3 dimensions et simulés ;
- expérimentations assistées par ordinateur locales ou à distance et la matérialisation d'idées (prototypage rapide et programmation) ;
- suivi et comptes-rendus d'activités d'analyse et de projet
- archivage et consultation des productions des élèves.

Toutes ces activités, individuelles et en équipe, s'inscrivent naturellement dans le contexte d'un environnement numérique de travail (ENT) et participent à la préparation du B2I niveau lycée.

Cet enseignement se déroule dans une salle dédiée comportant essentiellement des ordinateurs complétés par des dispositifs expérimentaux simples. Cette organisation matérielle rend possible son implantation dans tous les lycées.

Finalités

Les activités proposées visent à :

- appréhender la place de l'innovation par une approche sociétale, économique ou environnementale ; découvrir les processus permettant d'aboutir à une innovation ;
- vivre une démarche de créativité pour aborder de nouvelles solutions technologiques.

Elles permettent d'aborder les compétences et démarches ci-dessous.

Appréhender les bases d'une culture de l'innovation technologique

Cette partie de l'enseignement s'appuie sur les acquis du collège, les complète si nécessaire et « les met en situation » dans des études de cas concrètes pouvant être complétées par des travaux pratiques.

En utilisant une démarche d'investigation ou de résolution de problèmes, les élèves identifient, dans chaque étude proposée, des améliorations, des innovations, des découvertes, des inventions. Ils comprennent que la performance d'un secteur industriel et économique est alors étroitement associée à sa capacité à innover.

Cet enseignement pourra être abordé selon 3 approches différentes et complémentaires :

- **par les produits**, amenant à une étude des évolutions constatées entre plusieurs produits répondant à une même fonction ;
- **par l'innovation technologique**, passant par l'étude de l'intégration d'une innovation dans des produits différents ;
- **par l'évolution d'un grand secteur d'activité**, à partir de l'étude des évolutions constatées ou envisagées de systèmes globaux (sociaux, économiques et technologiques).

Ces approches passent naturellement par l'analyse des évolutions de plusieurs générations de produits (liens avec les évolutions des savoirs scientifiques et techniques) et la prise en compte de contraintes (sociales, économiques, culturelles) dans leur développement.

Mettre en œuvre une démarche de créativité

La créativité est une composante de l'innovation. C'est une démarche intellectuelle, culturelle, une disposition ou un état d'esprit qui amène une personne à essayer de créer pour répondre à un besoin... Lorsqu'elle y parvient, on peut alors constater qu'il y a création.

Cette phase de l'enseignement s'appuie sur un produit ou un ouvrage existant et permet de proposer des réponses à une attente particulière et limitée (de transformation, d'amélioration, de modification, etc.). Elle est mise en œuvre dans le cadre d'un projet et donne lieu à une restitution collective permettant au groupe d'élèves de rendre compte de leurs analyses et de leurs propositions.

Contrairement au monde de l'entreprise, qui est confronté en permanence à une obligation de résultat, l'enseignement d'exploration de la classe de seconde ne peut pas répondre à cette obligation et doit se contenter de proposer de « vivre une démarche » de créativité technologique.

Communiquer ses intentions

L'innovation et la créativité technologique impliquent un travail collaboratif et de réelles capacités de communication, entre acteurs, à l'intérieur, pour échanger au sein d'une structure et à l'extérieur pour expliquer et convaincre.

Les élèves devront construire un argumentaire, structurer une analyse, expliquer leurs choix afin de rendre compte en « temps réel » du déroulement d'une réflexion ou d'une activité menée en groupe.

L'utilisation d'un logiciel de création de « cartes mentales » facilite la structuration de leurs réflexions et la présentation collective (diaporama, note de synthèse, affiche, compte rendu de projet, etc.).

Thématiques proposées

De grandes thématiques porteuses d'innovation et de créativité sont proposées ci-dessous. Les enseignants devront retenir des produits et systèmes techniques pertinents relevant de ces thématiques. Ils ont cependant la possibilité de s'appuyer sur d'autres thématiques en rapport avec la créativité, la création et l'innovation et les grandes questions de la société.

1. **La mobilité**
 - Les véhicules individuels et les transports collectifs, les énergies utilisées, le pilotage et la sécurité, ...
2. **Le sport**
 - Les sports de glisse, mécaniques, etc, les matériaux et vêtements techniques, la mesure de performance, ...
3. **La santé**
 - L'imagerie, l'investigation physiologique, l'observation non invasive, l'assistance à l'intervention médicale, ...
4. **L'habitat**
 - La performance énergétique, la maison à énergie positive passive, la domotique, ...
5. **L'énergie**
 - Les énergies renouvelables, le stockage et la distribution, ...
6. **La communication**
 - La téléphonie, les interfaces de communication, les réseaux, ...
7. **La culture et les loisirs**
 - Le son et l'image, les jeux vidéo, les musées en ligne, ...
8. **Les infrastructures**
 - Les viaducs, les tours, les tunnels...
9. **La bionique**
 - Prothèses, robots humanoïdes, drones, solutions techniques recopiant le vivant,...
10. **La dématérialisation des biens et des services**
 - Monnaie, réservation en ligne, bureau virtuel, ...

Compétences abordées

Le tableau ci-dessous dresse la liste des activités et des notions qui seront abordées par les élèves à travers les études de cas et le projet.

Activités	Notions	Commentaires
Acquérir les bases d'une culture de l'innovation technologique		
Sélectionner des références et des ressources documentaires spécifiques. S'initier au vocabulaire de l'innovation et de la créativité.	Marché, compétitivité, besoin, fonction, coût et valeur.	<i>Les connaissances sont introduites en fonction des besoins.</i>
Identifier les principes qui régissent la propriété intellectuelle, la normalisation et l'intelligence économique.	Analyse de la valeur d'un produit, brevets et normes.	<i>Cet enseignement a uniquement pour fonction d'identifier des règles et des principes stimulant ou orientant la créativité et l'innovation à travers quelques études de cas.</i>
Identifier les étapes de l'évolution d'un produit, d'une solution technologique. Identifier les contraintes réglementaires, environnementales et économiques liées à un contexte donné.	Cycle de vie d'un produit : évolutions d'un produit (prise en compte des dimensions technique et économique).	
Identifier des règles d'évolution de produits ou d'ouvrages. Analyser des évolutions de produits ou d'ouvrages pour identifier une règle d'évolution technologique.	Amélioration, innovation de rupture, découvertes. Analyse historique de l'évolution d'un produit (liens avec les évolutions des savoirs scientifiques et techniques). Contraintes dans le développement d'un produit.	<i>On peut s'appuyer sur l'histoire des innovations techniques à partir d'exemples montrant des découvertes scientifiques ayant précédé l'innovation technique et des innovations techniques ayant précédé des découvertes scientifiques</i>
Communiquer ses intentions		
Exprimer une réflexion, un principe, une idée, une solution technique	Les outils de communication techniques : cartes mentales, croquis, schémas, descriptions d'un comportement, représentations numériques.	<i>Pour les produits ou les ouvrages, la maquette numérique est essentiellement exploitée en lecture, sauf pour des modifications simples</i>
Utiliser des outils de communication techniques, « manuels » et numériques.		
Mettre en œuvre une démarche de créativité		
Formuler des hypothèses, hiérarchiser, sélectionner, expliciter, contextualiser.	Méthodes rationnelles et non rationnelles.	<i>L'enseignant propose d'utiliser une méthode de son choix.</i>
Utiliser une ou des méthodes de créativité. Matérialiser une solution innovante*	Outils de formalisation d'une démarche. Niveaux de présentation de solutions : maquette, prototype, produit.	<i>Un travail en équipe doit permettre les échanges et la prise en considération des propositions de chacun. La démarche retenue visera à révéler à l'élève sa créativité propre ainsi que l'apport du collectif.</i>

* À ce niveau et dans ce contexte, cela correspond à la réalisation d'une maquette à partir d'éléments existants, à la modification d'un composant (comme la création d'une pièce nouvelle prototypée ou un agencement particulier, la modification d'un programme de commande, l'amélioration d'une solution technique, etc.) ou à la représentation de différentes solutions à l'aide d'outils de représentation virtuelle.

Organisation pédagogique

L'enseignement d'exploration est organisé en deux phases distinctes. Les activités proposées sont menées sur les principes du travail de groupe (5 élèves maximum) :

- les études de cas portent sur l'analyse et la caractérisation de l'innovation. Les supports proposés sont sélectionnés pour mettre en évidence les différentes approches de l'innovation, les principes scientifiques, les choix techniques, économiques et environnementaux associés. Au moins, trois études de cas issues de thématiques différentes doivent être traitées ;
- le projet met en œuvre une démarche de créativité, adapté au contexte de formation.

Le thème du projet de créativité, relatif à l'une des thématiques, doit prendre en compte les aspirations des élèves. Il est validé par l'équipe pédagogique.

À travers les études et le projet, les trois champs technologiques ci-dessous sont abordés :

- champ de l'information grâce aux innovations associées aux systèmes d'acquisition, de traitement, de stockage et de restitution de voix, images et informations, du virtuel, de la numérisation, des réseaux, etc. ;
- champ de l'énergie grâce aux innovations associées aux systèmes de génération, de transformation, de stockage et de régulation de l'énergie, à l'efficacité énergétique, aux économies d'énergie, aux impacts environnementaux associés, etc. ;
- champ des matériaux et des structures grâce aux innovations associées, aux nouveaux matériaux et aux systèmes techniques, structures et constructions associées, aux impacts environnementaux dus aux matériaux et aux principes de transformation et de mise en forme retenus.

À l'issue de chacune des études de cas et du projet de créativité, chaque équipe propose une synthèse de son travail à l'ensemble de la classe. Elle peut s'ouvrir à des personnes extérieures à la classe, enseignants, parents, professionnels et experts invités. Elle donne lieu à une évaluation, de la part de l'enseignant, qui intégrera les compétences exploitées durant toute la phase concernée et évaluera chaque élève en prenant en compte les attitudes, aptitudes et connaissances dans le cadre des actions collectives.

Cet enseignement peut s'ouvrir, en fonction de projets pédagogiques précis, vers des collaborations pluri disciplinaires. Les relations avec les entreprises locales et l'invitation de professionnels ou d'experts contribuent à la découverte concrète des métiers et des formations associées aux fonctions de conception, de réalisation et d'innovation mises en œuvre dans les entreprises.