Le rythme implacable de l'innovation est-il gouverné par des lois d'évolution internes aux objets ?

1239

Résumé :

*L'évolution des systèmes techniques a été étudiée, en France, par Gilbert Simondon et Yves Deforge dans la seconde moitié du XX*e *siècle. Après un relatif oubli, pendant vingt-cinq ans, on observe un regain d'intérêt pour cette notion de la part d'acteurs concernés par la conception de produits nouveaux et par l'innovation, notamment dans les milieux académique et éducatif (Le Masson* et al.*, 2006 ; Aït-el-Hadj, Boly, 2009 ; Ministère de l'Education Nationale, 2010). Ce regain d'intérêt est lié, pour partie, à la diffusion d'une méthode de créativité russe nommée TRIZ. Initiée par Guenrich Altshuller cette méthode compte, parmi ses notions essentielles, huit lois d'évolution des systèmes techniques. Si la méthode TRIZ présente des atouts dans l'instrumentation des processus de conception et d'innovation, elle comporte des notions qui prêtent à discussion et qui seront débattues dans cet article. Après avoir passé en revue les travaux des principaux auteurs qui ont étudié l'évolution des systèmes techniques, cet article corrobore certaines lois d'évolution de TRIZ et en réfute d'autres, dénonce leur caractère déterministe et remet en cause les métaphores biologiques fréquemment associées à l'évolution des produits. Ces résultats ont une portée à la fois théorique et pratique. Tout d'abord la réfutation de propositions, le test de robustesse de théories et la soumission de conjectures nouvelles comptent parmi les activités scientifiques classiques. Ensuite, la mise au jour des limites d'un outil méthodologique, associée à des propositions de dépassement de ces limites, devraient permettre de piloter plus efficacement les processus d'innovation et de mieux en appréhender leur complexité.*

Mots clés : innovation, lois d'évolution, TRIZ, lignées de produits, systèmes techniques.

1. INTRODUCTION

Des théories trouvent parfois le succès bien au-delà du champ scientifique où elles sont nées. C'est le cas de la théorie de l'évolution de Charles Darwin ou de la génétique de Gregor Mendel. Leurs lois ont inspiré les économistes qui ont fondé la théorie évolutionniste de l'entreprise, les informaticiens qui ont conçu les algorithmes génétiques, les chercheurs en sciences cognitives et bien d'autres. Les technologues, gestionnaires, philosophes, sociologues et autres auteurs qui s'intéressent à la technique ne sont pas en reste. Ils considèrent, à l'instar de Lattuf *et al.* (2002), que l'étude des approches biologiques est intéressante car elle permet d'établir des comparaisons entre concepts soit pour illustrer des phénomènes technologiques soit pour construire des outils méthodologiques.

A partir de 1946, dans l'ex-Union soviétique, Guenrich Altshuller ébauche ce qui deviendra la méthode de créativité TRIZ[1] qui comprend huit lois d'évolution des systèmes techniques. En France, entre autres auteurs, Gilbert Simondon publie *Du mode d'existence des objets techniques* en 1958 et Yves Deforge *Technologie et génétique de l'objet industriel* en 1985. Après vingt-cinq ans de pause, un regain d'intérêt pour l'évolution des produits est observable depuis le début du XXI^{e} siècle. Pascal Le Masson, Benoît Weil et Armand Hatchuel étendent le concept d'évolution aux familles et aux lignées de produits dans leur livre, publié en 2006, *Les processus d'innovation. Conception innovante et croissance des entreprises*. Un début de synthèse de l'ensemble de ces travaux est entrepris dans l'ouvrage collectif *Les systèmes techniques. Lois d'évolution et méthodologies de conception,* dirigé par Smaïl Aït-El-Hadj et Vincent Boly (2009). Malgré la variété des travaux dédiés à l'évolution des systèmes techniques, succinctement listés ci-dessus, les lois issues de la méthode TRIZ semblent s'imposer petit à petit. En France, par exemple, la réforme des lycées, qui a pris effet en septembre 2010, a institué un enseignement d'exploration, en classe de seconde, intitulé *Création et Innovation Technologiques* (Ministère de l'Education Nationale, 2010). Cet enseignement accorde une large place aux idées de G. Altshuller et ignore totalement les autres contributeurs. Or certains d'entre eux se sont interrogés sur la réalité des lois d'évolution des systèmes techniques. Dès 1985, par exemple, Y. Deforge, qui apparemment ne connaissait pas la méthode TRIZ, avait déjà pris ses distances à l'égard des lois d'évolution

[1] TRIZ est un acronyme russe qui signifie Théorie de Résolution des Problèmes Inventifs.

énoncées par G. Simondon. Ses doutes méritent d'être réexaminés aujourd'hui à la lumière des travaux postérieurs à 1985 ou connus en France après cette date.

Cet article prolonge les études comparatives entre les vues de Simondon, Deforge et Altshuller, initiées par Choulier (2000a, 2000b), en y ajoutant les travaux de Le Masson *et al.* (2006) et de Aït-El-Hadj et Boly (2009). La première partie de l'article présente une revue de la littérature sur l'évolution des systèmes techniques et relie les dimensions technologique et organisationnelle de l'innovation, souvent analysées de manière disjointe. La seconde partie de l'article éprouve la robustesse des lois d'évolution d'Altshuller au regard des théories des autres auteurs et dénonce leur dimension déterministe ainsi que les métaphores biologiques fréquemment utilisées.

2. L'EVOLUTION DES SYSTEMES TECHNIQUES : REVUE DE LA LITTERATURE

2.1. LA THEORIE DE RESOLUTION DES PROBLEMES INVENTIFS DE G. ALTSHULLER

TRIZ est une méthode de créativité utilisée au début d'un processus de conception de produit pour explorer de manière prospective des concepts nouveaux sur de futurs produits, pour résoudre des problèmes technologiques récurrents ou des situations de blocage sur des produits existants voire pour anticiper leurs voies de développement possibles. De façon plus large, TRIZ peut être mise à profit dans toute phase de recherche de solutions.

La méthode, mise au point par Guenrich Altshuller il y a quelques décennies, n'est connue dans les pays occidentaux que depuis les années 90. Ses recherches trouvent leur origine dans sa volonté d'appréhender « la mécanique de la création » (Altshuller, 2002). Il considère que si l'on trouve des régularités dans les inventions, on peut en déduire des lois, puis les appliquer pour résoudre des problèmes de manière guidée sans se perdre dans d'inutiles essais et erreurs. Altshuller a consacré une part importante de ses travaux à l'analyse des brevets et des méthodes de créativité. Au terme de l'examen de 400 000 brevets, il constate que seuls 10 % d'entre eux apportent des évolutions majeures. Il en tire 40 principes inventifs, facteurs de réelles avancées. La tâche d'un inventeur qui connaîtrait ces principes serait grandement facilitée. Au-delà de cet aspect pratique, l'ambition de G. Altshuller est de faire de la créativité une science exacte, ce qui permettrait de l'enseigner au même titre que les disciplines scientifiques. La créativité serait, dans ce cas, l'aptitude à poser correctement un problème. Cinq notions essentielles forment le « fil rouge de la réflexion » (Goepp *et al.*, 2001) de l'inventeur : les contradictions, le résultat idéal final, les ressources, l'inertie psychologique et les lois d'évolution (Altshuller, 1999, 2002).

Dans les démarches de résolution de problèmes, deux obstacles à l'invention de solutions créatives sont fréquemment constatés. Tout d'abord, un concepteur passe souvent directement du problème à la solution, sans étape intermédiaire. Par ailleurs, il recherche régulièrement des compromis entre des paramètres contradictoires. Pour améliorer la solidité d'une table, par exemple, il peut augmenter son épaisseur mais, du même coup, il augmente également sa masse, ce qui n'est en général pas souhaitable. Pour surmonter cet écueil, TRIZ interdit le passage direct du problème à la solution ainsi que le compromis synonyme de solution médiocre. Avec TRIZ tout problème doit énoncer une *contradiction* que la recherche de solutions devra affronter (par exemple : augmenter la solidité sans augmenter la masse).

Le *résultat idéal final* (RIF) consiste à décrire ce que l'on souhaiterait obtenir dans le cas idéal. Le RIF est une fantaisie de l'esprit, un rêve inaccessible destiné à ouvrir la voie à la résolution du problème. En théorie, le RIF assure la fonction sans exister lui-même. Il ne possède ni masse, ni volume, ni coût mais il assure néanmoins toutes les fonctions requises. L'objectif est de stimuler les idées novatrices et de diriger les réflexions vers des solutions sans compromis

Les *ressources* d'un système sont les substances, les énergies, les informations, l'espace, le temps, les fonctions ou les autres systèmes qui lui sont nécessaires. TRIZ préconise d'utiliser au maximum les ressources présentes dans l'environnement du système, particulièrement celles qui sont gratuites et facilement accessibles (air, eau...).

L'*inertie psychologique* résulte des habitudes, du jargon des métiers, de l'expertise professionnelle, des idées préconçues, du recours exclusif aux solutions éprouvées. Elle est un obstacle à la créativité car elle conduit à une autolimitation, le plus souvent inconsciente, dans la recherche des solutions. TRIZ propose des outils qui permettent de « débloquer » l'inertie psychologique.

Les systèmes techniques naissent, évoluent puis meurent. En étudiant leur développement, Altshuller a noté des régularités qui l'ont conduit à formuler huit *lois d'évolution*. Leur connaissance permettrait de résoudre, voire d'anticiper les problèmes d'invention.

Tableau 1. Les huit lois d'évolution de TRIZ

1. Loi d'intégralité des parties du système. Tout système technique est composé de quatre parties : le moteur, la transmission, l'élément de travail et l'élément de contrôle. Chaque partie doit atteindre une performance minimale pour que le système puisse fonctionner. Si une partie

manque, le système technique n'existe pas. Si elle est défaillante, le système technique n'est pas viable.

2. *Loi de conductibilité énergétique du système.* Pour qu'un système technique fonctionne, l'énergie doit circuler librement à travers toutes ses parties. L'énergie peut circuler de différentes manières (mécanique, thermique...). Le nombre de conversions d'énergie tend à diminuer avec l'évolution des systèmes.
3. *Loi de concordance du rythme des parties.* Pour qu'un système technique fonctionne correctement, le rythme de ses parties (fréquence, périodicité…) doit être coordonné.
4. *Loi d'accroissement du niveau d'idéalité.* Tout système technique évolue vers un degré plus important « d'idéalité ». La voie vers l'idéalité commence par une complexification du système (augmentation des fonctions utiles) puis se poursuit par une simplification (intégration des fonctions, suppression des fonctions inutiles ou néfastes).
5. *Loi de développement inégal des parties du système.* Les parties d'un système évoluent de manière inégale. Le perfectionnement concerne prioritairement la partie la moins efficace.
6. *Loi de transition du système vers un super système*. Lorsqu'un système a atteint ses limites d'évolution, il devient la partie d'un supersystème et poursuit son évolution au niveau du supersystème.
7. *Loi de transition du macro-niveau vers le micro-niveau*. Le travail d'un système se réalise en premier lieu à un macroniveau puis évolue vers un microniveau lorsque son évolution est bloquée. Les structures rigides des premiers temps sont remplacées par des structures segmentées plus adaptables à l'environnement et de plus en plus fines (mousse, gel, brouillard) jusqu'à obtenir la fonction recherchée au niveau microscopique (molécules, atomes).
8. *Loi d'accroissement du dynamisme et de la contrôlabilité*. L'évolution d'un système technique tend vers l'auto-contrôle (boucle de retour, autoadaptation...) et vers une réduction de l'intervention humaine (exécution, contrôle et prise de décision effectués par le système).

Des successeurs américains d'Altshuller, parfois émigrés russes, se sont inspirés des courbes de cycle de vie utilisées en marketing (Levitt, 1965) et en diffusion de l'innovation (Rogers, 1995) pour illustrer l'évolution des systèmes techniques avec une courbe en S. Dans sa prime enfance, un système se développe lentement. Dans sa jeunesse, à la rencontre du marché, ses évolutions sont plus rapides. Arrivé en phase de maturité, le rythme de développement se ralentit. Le système entre alors dans une phase soit de stagnation, soit de déclin, soit de renaissance permise par l'introduction d'une nouveauté (Fey et Rivin, 1999 ; Savransky, 2000). Généralement lorsqu'un produit a atteint les phases de maturité ou de déclin, un nouveau système, employant un principe nouveau aux performances accrues, est prêt à émerger. Selon Altshuller (1999) l'évolution des systèmes techniques serait donc irrésistible. Lorsqu'un système a atteint sa conclusion logique, il est prêt à la dépasser pour atteindre

l'impossible. C'est au point précis où l'évolution semble s'arrêter que des inventions importantes peuvent surgir.

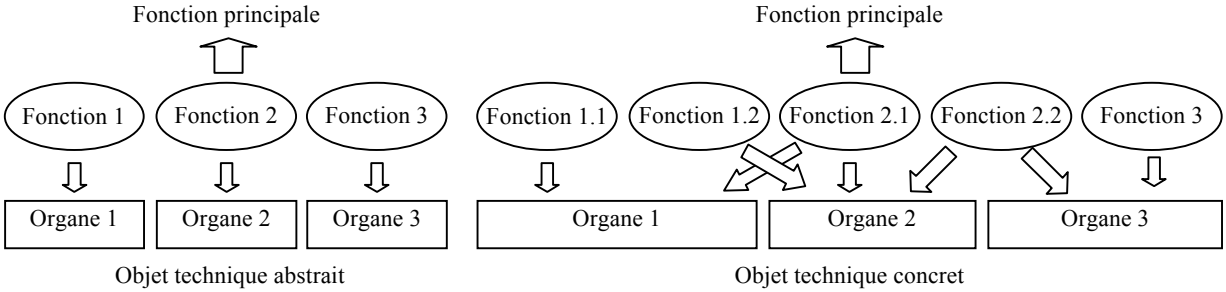
2.2. LA PHILOSOPHIE DES TECHNIQUES DE G. SIMONDON

L'ambition de Simondon, dans son ouvrage *Du mode d'existence des objets techniques* (1958), est de réintroduire les réalités techniques dans la culture. Pour ce philosophe, la culture est déséquilibrée car elle accorde à certains objets, comme l'objet esthétique ou l'objet sacré, un droit de cité dans le monde des significations alors qu'elle refoule d'autres objets, comme les objets techniques, dans le monde de ce qui ne possède pas de significations, mais seulement un usage, une fonction utile. Simondon entend réparer une injustice car l'opposition dressée entre la culture et la technique lui paraît fausse et sans fondement. Elle ne résulterait que d'une ignorance ou d'un ressentiment et masquerait la réalité riche en efforts humains que constituent les objets techniques, médiateurs entre la nature et l'homme. Le refus défensif, prononcé par une culture partielle, aurait pour conséquence de faire naître, chez les hommes qui connaissent les objets techniques et sentent leur signification, un technicisme intempérant idolâtre de la machine et une aspiration technocratique au pouvoir inconditionnel. Aujourd'hui les travaux de Simondon sont moins connus pour son défi de réhabilitation de l'objet technique que pour l'introduction des concepts de processus de concrétisation, de saturation, de synergie fonctionnelle et de loi de relaxation.

Un objet technique n'est à l'origine, pour Simondon, que la traduction physique d'un système intellectuel. Il qualifie cet objet d'abstrait et de primitif car les principes scientifiques qu'il opère dans la matière sont séparés les uns des autres et ne sont rattachés que par la convergence de leurs conséquences pour la production d'un effet recherché. En évoluant cet objet technique deviendra plus *concret* c'est-à-dire qu'il tendra vers une organisation et une cohérence internes, une adaptation à soi. Par le processus de concrétisation l'objet technique, primitivement artificiel, se rapprochera du mode d'existence des objets naturels car, mû par un phénomène d'auto-organisation, il s'affranchira du milieu qui l'a vu naître (laboratoire, atelier, usine) et de son assujettissement à l'intervention humaine. Pour expliquer le processus de concrétisation dans des termes plus courants, on pourrait dire que, dans l'objet abstrait, à chaque fonction correspond un organe tandis que dans l'objet concret chaque fonction est répartie sur plusieurs organes et que chaque organe assure plusieurs fonctions partielles (Aït-El-Hadj, 2009) (figure 1). Ainsi un moteur à combustion interne aux fonctions « guider les pistons » et « refroidir le moteur » dissociées sera moins concret qu'un moteur dont les chemises nervurées contribuent, outre le guidage des pistons, à la fois à l'allègement de la

masse et à l'évacuation de la chaleur. Les premières automobiles, avec un conducteur à l'avant, soumis aux intempéries, des passagers protégés par un habitacle et des bagages à l'arrière ou sur le toit étaient plus abstraites que les véhicules actuels où conducteur, passagers et bagages sont à l'abri sous la même carrosserie.

Figure 1. Répartition des fonctions et des organes dans les objets techniques (Aït-El-Hadj et Boly, 2009).

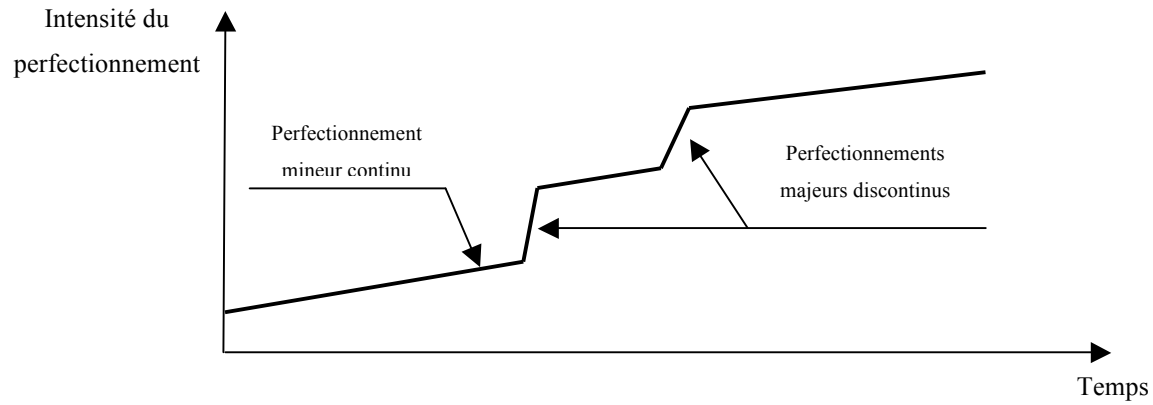


La concrétisation procède par paliers de cohérence. Lorsque les possibilités d'évolution d'un palier sont épuisées, Simondon parle de *saturation*, intervient un saut qui consiste à continuer les réarrangements de la convergence sur de nouveaux principes architecturaux. Les obstacles à l'évolution, dus aux incompatibilités provoquées à l'intérieur de l'objet par la saturation progressive, créent les conditions de leur propre franchissement qui ne peut alors se faire que par un bond (remplacement du moteur et de l'hélice d'avion par le turboréacteur par exemple). Par ailleurs l'évolution de l'objet technique ne se fait pas fonction par fonction mais groupes de fonctions par groupes de fonctions, ce que Simondon nomme *synergie fonctionnelle*. La découverte des synergies fonctionnelles est la principale caractéristique du progrès dans le développement de l'objet technique. Des objets phares de la fin du XX^{e} siècle, l'ordinateur personnel, le baladeur ou le téléphone portable, l'illustrent parfaitement. C'est grâce à la recherche des synergies que la concrétisation de l'objet technique peut se traduire par une simplification. L'adaptation d'un objet technique à un milieu particulier peut cependant devenir excessive et ne plus permettre d'évolution. Pire elle peut rendre l'objet inapte s'il rencontre un changement même minime dans ses conditions d'utilisation. Cette suradaptation fonctionnelle est qualifiée d'*hypertélie*. Les planeurs, par exemple, n'ont pas de moteurs afin d'être le plus léger possible. Ils en perdent leur autonomie car ils ne peuvent plus prendre leur envol seuls.

Pour comprendre la genèse d'un objet technique il ne suffit pas de savoir que l'évolution va de l'abstrait au concret. Il faut encore préciser que cette genèse n'est pas linéaire. Le progrès technique est rythmé par une alternance de paliers avec d'une part des perfectionnements continus et mineurs et d'autre part des perfectionnements discontinus et majeurs. Des

perfectionnements de détail peuvent exister entre deux paliers et provoquer une réorganisation structurale de type continu. Les perfectionnements mineurs peuvent nuire aux perfectionnements majeurs quand ils masquent les véritables imperfections de l'objet technique. Ils entretiennent une fausse conscience du progrès des objets techniques, diminuant la valeur et le sentiment d'urgence des transformations essentielles. Les perfectionnements mineurs sont suivis de bonds, de jaillissements de structures nouvelles. Ces perfectionnements majeurs discontinus sont les véritables étapes du perfectionnement de l'objet technique. Ils se font par mutations, mais par mutations orientées (Simondon, 1989).

Figure 2. Types de perfectionnements et loi de relaxation



Le fonctionnement global des perfectionnements, itératif et en dents de scie, a été nommé *phénomène de relaxation*, par Simondon, par analogie aux relaxateurs qui, en physique, évoluent eux aussi en dents de scie contrairement aux oscillateurs dont le régime de fonctionnement est sinusoïdal (figure 2). Dans une relaxation la fin d'un cycle déclenche le recommencement du suivant. Un cycle amorcé continue de lui-même mais chaque cycle, pour se produire, a besoin de l'achèvement du précédent (fontaines intermittentes, bélier hydraulique…).

2.3. LA GENETIQUE DE L'OBJET INDUSTRIEL D'Y. DEFORGE

Un objet, pour Deforge, est un élément dans un système et la réflexion sur son usage ne peut pas faire l'économie d'une réflexion sur le signe car « l'objet a, aussi, une fonction de signe[2] que lui donne volontairement ou involontairement le concepteur, que l'affectivité personnelle ou sociale du consommateur lui attribue et que souligne et provoque la publicité. (...) La montre [par exemple] donne l'heure et se donne à voir. Elle montre et se montre » (Deforge, 1985). Chargé de cours à l'Université de Technologie de Compiègne (UTC) Deforge a souhaité fournir à ses étudiants un cadre réflexif sur la conception, la production, la

[2] En analyse de la valeur, on parle de fonction d'estime, celle qui exprime la partie subjective du besoin.

consommation et l'usage des objets produits industriellement. Pour ce faire il a élaboré, à partir de 1978, une méthodologie fondée sur trois « outils rudimentaires mais opératoires » : la lignée génétique, les « lois d'évolution »[3] ainsi que les objets industriels et les systèmes. Contrairement à Altshuller ou Simondon, le but de Deforge est modeste. Il n'est pas de bâtir une théorie mais de donner à des étudiants-ingénieurs les moyens de regarder les objets autrement qu'à travers le seul prisme de leurs savoirs technologiques et de leur montrer que les productions de la technique sont non seulement des objets de consommation mais aussi des objets de culture.

1. La lignée génétique. La compréhension d'un objet industriel passe par la connaissance de sa fonction d'usage qui est le premier critère constitutif d'une famille d'objets. Elle doit également intégrer, avec le concept de lignée, la dimension temporelle et évolutive, condition *sine qua non* d'une réflexion sur les techniques industrielles et leurs produits. Une lignée, selon Deforge, est constituée par des objets, rangés par ordre chronologique, ayant la même fonction d'usage et mettant en œuvre le même principe constitutif (principal phénomène physico-chimique mis en jeu dans l'objet). De leur origine à leur abandon, les objets d'une lignée se succèdent dans un ordre évolutif censé aller dans le sens du progrès par perfectionnements successifs. L'approche intrinsèque des lignées doit être complétée par un examen de tous les facteurs techniques, socioculturels ou socio-économiques qui peuvent perturber son évolution (publicité, mode...).

2. Les « lois d'évolution ». Deforge reprend la notion de « lois d'évolution » de l'abstrait vers le concret, énoncées par Simondon, mais il utilise des guillemets pour en marquer le caractère hypothétique. En effet, pour lui, les lois d'évolution ne sont pas déterministes. Ce ne sont que des lois générales, des tendances où les accidents de parcours, les bifurcations, les fusions, les extinctions de lignées sont également possibles. Deforge n'exclut pas que l'évolution puisse atteindre un point de rebroussement. Il considère que la mise en évidence de « lois d'évolution » ne peut se faire que sur des lignées très évoluées et nombreuses, quand les solutions arrivent à un stade d'autonomie et de concrétisation extrêmes. Elles ne seraient donc qu'un outil de compréhension *a posteriori*. Par opposition à la solution idéale, fonctionnelle et élégante, la plupart des solutions, résultant de compromis, paraissent imparfaites. Leur mise en perspective dans des lignées reste toutefois nécessaire car elles montrent une direction générale de l'évolution. La cause première de l'évolution des objets techniques, pour Deforge,

[3] Les guillemets ont leur importance, on le verra plus loin.

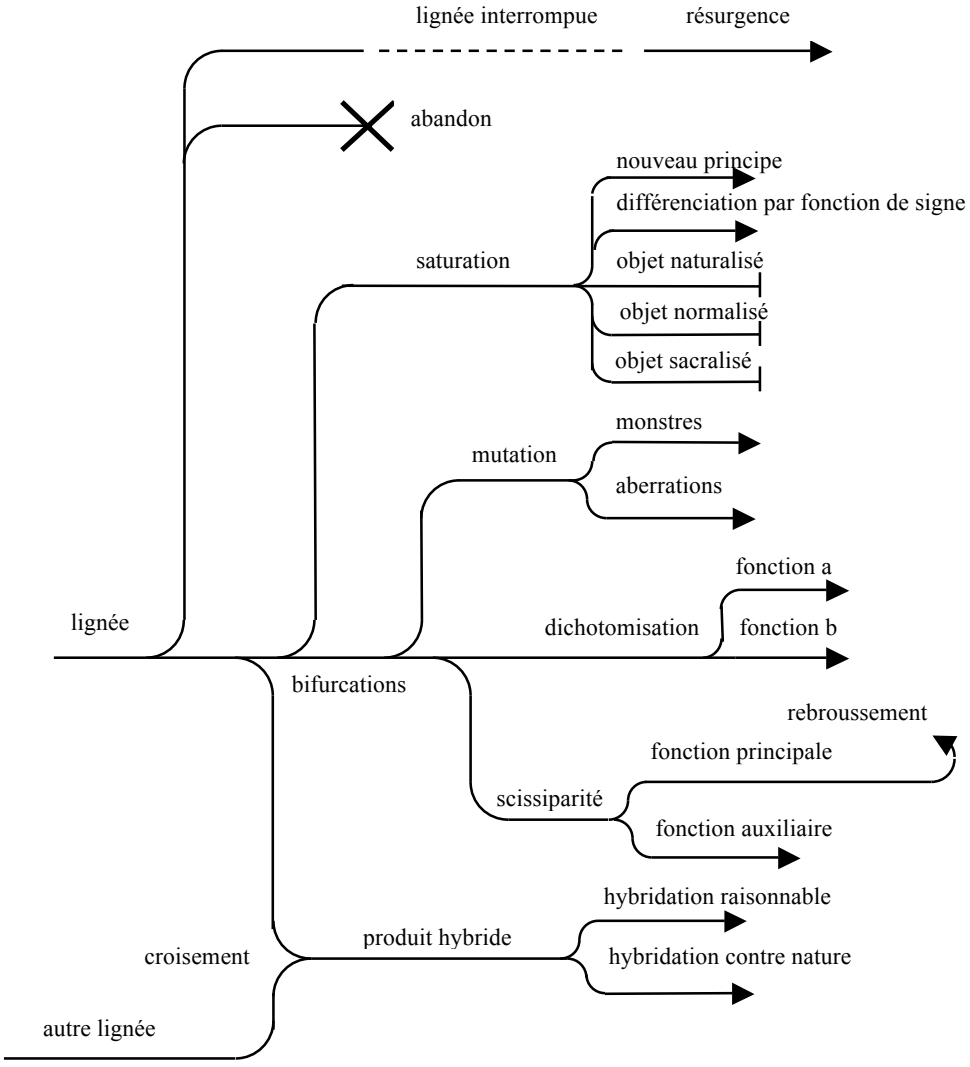
n'est pas économique, sociale ou fonctionnelle mais psychologique. L'objet est un mythe réalisé et ce mythe est autant celui du concepteur que celui du consommateur. C'est pour cela qu'il faut rattacher les « lois d'évolution » à la psychologie profonde et admettre que les objets industriels sont des émergences tout aussi signifiantes d'une société qu'une œuvre d'art, architecturale ou littéraire.

3. Les objets industriels et les systèmes. Pour mieux comprendre l'évolution des objets, Deforge suggère de reconstituer le réseau des relations réciproques que l'objet entretient avec son environnement. Cela le conduit à porter sur les objets successivement quatre regards qui facilitent une approche relationnelle ordonnée. Les quatre regards consistent à considérer les objets tour à tour comme des produits d'un système de production, comme des objets dans un système de consommation, comme des machines dans un système d'utilisation et comme des « êtres en soi » dans un système des objets. Dans le premier regard, les données sur le produit (cahier des charges, dessins de définition, gammes de fabrication...) disent le « comment c'est fait » (ou le « comment le faire ») et le « pourquoi c'est fait ainsi ». Dans le second regard, chaque produit, en tant qu'objet de consommation, est mis en relation avec le système économique (commercialisation, consommation, concurrence) et le système social (en particulier la demande sociale, profonde ou suscitée) afin de faire apparaître l'opposition dialectique entre fonction d'usage et fonction de signe. Le troisième regard, le produit en tant que machine, renvoie au système de production avec le couplage « homme (producteur) – machine » ou au couplage « homme (utilisateur) – machine » où il faut examiner la répartition des activités et des savoirs entre l'utilisateur et la machine. Avec le quatrième regard, celui des produits en tant qu'êtres êtres en soi dans un système des objets, chaque série d'objets peut être définie comme une suite répétitive d'objets identiques, à quelques minimes variantes près, qui aurait ses propres lois d'assemblage et d'exclusion, de ressemblance et de dissemblance et, si l'on introduit la durée, ses propres « lois d'évolution ».

Deforge, comme Altshuller et Simondon, observe que le sens général de l'évolution des objets passe par l'élimination du superflu, les synergies fonctionnelles, la réduction des circuits mécaniques, l'affinement des formes, l'autonomie de fonctionnement interne, etc. Il note également que la mise en œuvre d'un principe nouveau, pour remplir une fonction, peut relancer l'évolution (la vapeur qui remplace la voile). Un intérêt remarquable des travaux de Deforge (1985, 1989) est qu'ils complètent ceux d'Altshuller et de Simondon en introduisant de nouveaux facteurs de différenciation et en décrivant plusieurs alternatives possibles en fin d'évolution. Il montre que ce qui est fondamentalement identique peut se différencier par le

développement de fonctions de signe, par le paraître ou par des modifications non essentielles, étrangères à toute loi d'évolution. Il évoque également des cas où l'évolution peut s'arrêter. Si la fonction d'usage est excellemment remplie, l'objet se perpétue sans changement et acquiert le statut d'*objet naturalisé*. C'est ainsi que les formes des cloches n'auraient pas bougé depuis le XI^{e} siècle. L'objet normalisé en est une variante. C'est un objet naturalisé d'autorité pour des raisons de simplification et d'économie. La visserie par exemple a été normalisée à la fin du XIX^{e} siècle quand naissait l'automobile. La sacralisation est une troisième forme de naturalisation, à caractère affectif. Elle porte sur des objets, comme le violon, qui n'ont pas atteint l'ultime point de leur évolution.

Figure 3. L'évolution des lignées et ses possibles avatars (adapté de Deforge, 1985, 1989).



Deforge (1985) est le seul auteur à souligner que l'évolution des lignées peut connaître des *avatars* et qu'à côté de l'évolution générale les anomalies et les exceptions foisonnent (figure 3). Ce phénomène est compréhensible si l'on admet que l'évolution « naturelle » des lignées

est également soumise à des contraintes économiques et culturelles qui la perturbent. Des lignées intéressantes peuvent ainsi disparaître, pour des raisons économiques, tandis que d'autres moins performantes subsistent. Inversement des solutions disparues peuvent ressurgir le moment venu. C'est le cas du moteur électrique qui réapparaît aujourd'hui, dans l'industrie automobile, alors qu'il avait été supplanté par le moteur à combustion interne, au début du XX^{e} siècle, pour cause de puissance massique insuffisante, de poids excessif des batteries voire de manque de virilité. Des évolutions de lignées peuvent se terminer par des objets aux caractères tératologiques (la locomotive « big boy », 24 roues, 340 tonnes en 1936) ou par des *aberrations* liées à une hésitation au moment de changer de principe (paquebot à voiles et à hélice, premières automobiles aux lignes de carrosses).

Des *mutations génétiques* peuvent être observées lorsqu'un changement de principe physique ne s'explique pas par l'évolution « normale » du produit ni par le résultat obtenu (exemple : passage du broyage au concassage pour les moulins à café). Le croisement de deux lignées distinctes peut donner un produit nouveau *hybride* (le scooter qui emprunte à la trottinette pour les formes et à l'aviation pour le moteur ou l'hydroptère, le trimaran qui « vole » sur l'eau). Certains mariages sont raisonnables et leurs combinaisons sont viables. Le croisement entre la voiture et le bateau donne, par exemple, la voiture amphibie. D'autres croisements sont contre-nature (voiture plus salle de bain) ou débouchent sur des gadgets en rassemblant de manière incohérente des fonctions d'usage et des principes. Il y a *dichotomisation* quand une lignée se sépare en deux branches d'objets qui n'ont plus la même fonction. Au début du XX^{e} siècle, par exemple, le réseau électrique assurait les fonctions d'éclairage et de fourniture d'énergie. Les appareils électriques se branchaient sur les douilles d'ampoules avant que la dichotomisation ne sépare les deux réseaux. Le phénomène de *scissiparité* apparaît en réponse à une surcharge fonctionnelle c'est-à-dire quand l'objet principal remplit mal ses fonctions (le liquide d'un circuit de chauffage ou de refroidissement ne circule plus tout seul). La scissiparité conduit à la séparation entre fonction principale et fonction auxiliaire (la pompe de circulation).

2.4. LES LIGNEES DE PRODUITS DE P. LE MASSON, B. WEIL ET A. HATCHUEL

Les travaux de Le Masson, Weil et Hatchuel (2006) ne portent pas tant sur l'étude de l'évolution des produits que sur les transformations des entreprises, induites par le grand enjeu contemporain qu'est l'innovation. Dans la mesure où l'innovation est désormais répétée et intensive, il devient vital pour les entreprises de lancer régulièrement de nouveaux produits en déplaçant, si possible, leur performance sur des dimensions encore inexplorées mais

valorisables pour le client. Pour y parvenir, la conception innovante s'appuie de plus en plus sur des partenariats d'exploration malgré l'incertitude sur leur succès et les risques élevés qui les accompagnent. En réponse aux difficultés auxquelles se heurtent actuellement les organisations innovantes (limites des services R&D et de l'organisation par projet), Le Masson *et al.* proposent de nouveaux moyens pour piloter l'action et considèrent le management des lignées de produits comme un nouvel outil de gestion. Ces chercheurs ont observé que l'innovation intensive provoquait une déstabilisation permanente de l'identité des objets et une compétition pour la création de valeur. Les « nouveaux produits », tels que le téléphone portable, l'appareil photo numérique ou l'internet haut débit, présentent en effet des traits spécifiques. Tout d'abord leur taux de renouvellement est très rapide et, de ce fait, un point mort bas est visé. Ensuite ces produits n'existaient pas il y a quelques années. Lorsqu'ils étaient sans antécédents il était impossible de les rattacher à un « dominant design »[4] préexistant. Une fois sur le marché ils se diffusent à une vitesse jamais observée dans l'histoire industrielle. Il ne leur a fallu qu'une décennie pour atteindre un taux de diffusion dans les ménages de 80 à 90 %, là où il en a fallu trois ou quatre pour les produits électroménagers ou audio-visuels. Enfin l'identité de ces produits n'est plus un point de départ stable de la conception. Ils présentent au contraire une *identité versatile* c'est-à-dire qu'au moment de leur conception leurs usages, les performances à atteindre, les grandes alternatives architecturales ainsi que la nature des métiers à maîtriser pour les développer sont des questions largement ouvertes.

Pour faire face à ces enjeux, le processus de conception doit avoir des capacité d'expansion c'est-à-dire qu'il doit être capable de générer du nouveau. Le raisonnement de conception innovante se distingue du raisonnement de R&D en ce sens qu'il préfère la variété à la convergence, l'originalité au « routinisé », la production de connaissances nouvelles à l'expertise. Toute conception nouvelle oblige à créer plus de connaissances que le produit n'en nécessitera *in fine* et l'effet de « sur-apprentissage » sera d'autant plus marqué que l'identité des objets est incertaine. Les connaissances produites en excès ne doivent pas être perdues mais au contraire être intentionnellement réinvesties pour améliorer les générations suivantes du produit et constituer ainsi des *rentes d'apprentissage* permettant de mieux jouer à l'avenir. Les apprentissages proviennent de la transformation des compétences associée à toute conception et aux retours d'expérience des produits lancés sur le marché. Le Masson *et*

[4] Abernathy et Utterback (1978) nomment « dominant design » une architecture de produits quasi standardisée et commune à tous les fabricants (l'automobile de la fin du XX^{e} siècle, à quatre roues, à moteur thermique, à traction avant...).

al. (2006) ont nommé *martingale d'innovations* la stratégie de développement qui tire parti des rentes d'apprentissage résultant d'une suite prévisible de développement associés. Les martingales peuvent prendre trois formes : la famille de produits, la lignée de produits et l'hybridation entre lignées. Une famille est un simple regroupement de produits (famille des avions de la gamme Airbus...) dans lequel il est difficile de valoriser les apprentissages en dehors de la famille. Une lignée de produits se distingue par trois caractéristiques : 1) un ensemble de compétences bien identifiées et de nature relativement stable (chez Téfal par exemple : l'accrochage du téflon sur l'aluminium, l'emboutissage), 2) une famille de produits en expansion (les poêles ou les casseroles) et 3) un concept directeur également relativement stable (les appareils de cuisson antiadhésifs). La lignée est une forme plus sophistiquée que la famille car elle permet, avec les progrès accomplis grâce au premier produit, d'anticiper les développements futurs. Le produit « tête de lignée » permet d'explorer et d'accumuler des connaissances qui vont faciliter la définition et la conception des produits suivants, mieux ajustés au marché et moins chers grâce à l'exploitation des apprentissages effectués. L'hybridation est une martingale à l'interface de deux lignées, elle consiste à transférer les compétences particulières d'une lignée sur l'autre (transfert des compétences en électronique de la lignée « repas informels » vers la lignée « puériculture ») . La notion de lignée, ainsi entendue, montre les liens profonds entre les compétences et les produits : les compétences sont générées par les nécessités de la conception et sont ensuite mobilisées pour la conception des générations suivantes de produits. L'entreprise tire parti de la rente d'apprentissage en concevant les produits que les connaissances disponibles permettent de concevoir. Le couplage dynamique des compétences clés et des produits constitue à la fois un facteur de stabilité et d'évolution. La lignée apparaît au client comme une famille de produits successifs aux modifications mineures mais ces évolutions légères peuvent masquer un renouvellement important des connaissances ainsi que des remises en cause profondes des compromis établis et des compétences nécessaires (passage de la photographie argentique à numérique par exemple). La lignée n'est pas donnée *ex ante*, elle se construit progressivement au fur et à mesure des produits conçus. Le marché n'est plus alors une rencontre entre une offre et une demande définies *ex ante* mais une dynamique de construction collective de cette offre et de cette demande.

Parmi les quatre approches de l'évolution des produits, présentées dans cette section, ce sont actuellement les travaux d'Altshuller qui semblent les plus connus et qui semblent se diffuser le plus rapidement. Cela s'explique, pour partie, par les atouts de la méthode TRIZ

(Xxxxxxxx, 2005, 2006). Comme l'ont noté Aloui et Boehm (2009) la littérature sur la définition fonctionnelle des produits est abondante alors que celle sur leur définition organique ou architecturale est beaucoup plus restreinte. Or le passage fonctionnel - organique est, selon Aït-el-Hadj (2009), un moment clé du processus de conception. TRIZ permet ce passage mais son intérêt majeur, selon Cavallucci et Lutz (1997a), réside dans le fait que c'est la seule méthode à générer des idées nouvelles porteuses de solutions. Pour cette raison, TRIZ est parfois considérée comme le « chaînon manquant » dans l'instrumentation des processus de conception. Cette méthode suscite toutefois des questionnements notamment avec ses lois d'évolution. Nous avons évoqué les réserves de Deforge (1985, 1989) à l'égard de celles de Simondon. Dans le prolongement de ces travaux, il convient aujourd'hui de s'interroger sur la validité des lois d'évolution d'Altshuller. La prochaine section examinera cette question en approfondissant une étude comparative entre Simondon, Deforge et Altshuller réalisée par Choulier (2000a, 2000b). Elle remettra également en cause les métaphores biologiques utilisées dans l'évolution des produits.

2. QUELLE VALIDITE POUR LES LOIS D'EVOLUTION DES SYSTEMES TECHNIQUES ?

Si les concepts de Simondon n'ont pas connu le succès de ceux d'Altshuller, dans les milieux académiques et industriels qui s'intéressent à l'innovation, c'est, expliquent Bontems et Le Roux (2009), parce que Simondon est « trop technologue pour les philosophes [et] pas assez opérationnel pour les ingénieurs ». Un apport significatif de Simondon, comparée à Altshuller, est pourtant d'avoir articulé une analyse dynamique des reconfigurations internes des objets techniques avec une étude psychosociologique de l'insertion de ces objets au sein de la société (*ibid*.). Deforge approfondira cette articulation ainsi que, d'une certaine façon, Le Masson, Weil et Hatchuel.

Les idées de Deforge n'ont guère eu plus d'écho que celles de Simondon. Il est particulièrement surprenant, par exemple, qu'il soit totalement ignoré par la réforme du lycée mentionnée en introduction. En effet Deforge a été successivement professeur de construction mécanique, inspecteur pédagogique régional des Sciences et techniques industrielles, expert auprès du Conseil de l'Europe pour les enseignements technologiques et chargé de cours à l'UTC. Sa proximité fonctionnelle, culturelle, géographique avec les instances de l'Education nationale aurait pu faire que ses travaux soient une référence incontournable dans la construction de l'enseignement d'exploration *Création et Innovation Technologiques*. Les trois outils qu'il a forgés, tout en étant opérationnels, permettent une lecture multidimensionnelle

plus subtile et plus complexe (au sens étymologique) de l'évolution des objets techniques que celles d'Altshuller ou de Simondon. Nous reprendrons les « questions vives » que Deforge (1989) s'est posées au sujet des lois d'évolution simondiennes pour éprouver la robustesse des lois d'évolution altshullériennes.

Quant à Le Masson, Weil et Hatchuel, leurs travaux sont récents et il faudra sans doute encore attendre un peu pour juger de leur impact. Leur intérêt, pour cet article, est de montrer qu'il est possible de construire intentionnellement des lignées évolutives.

2.1. VALIDATION ET REFUTATION DES LOIS D'EVOLUTION DE TRIZ

Un point commun des travaux d'Altshuller, de Simondon et de Deforge est qu'ils postulent tous les trois que le sens de l'évolution des objets techniques va vers la simplification et vers l'autonomie de fonctionnement interne. Simondon précise que la simplification résulte de la concrétisation obtenue grâce aux synergies fonctionnelles. L'objet technique concret n'est plus alors en lutte avec lui-même, aucun effet secondaire ne nuit plus au fonctionnement de l'ensemble. Deforge remarque que l'homme est, d'un côté, progressivement exclu des systèmes techniques qui, en devenant auto-régulants et auto-suffisants, assurent les activités motrices, celles de prise d'information et de prise de décision voire celles de prévision. D'un autre côté, l'homme reste toujours présent en tant que concepteur, fabricant, utilisateur, régleur et agent d'entretien. La vision commune des trois auteurs, au sujet du mouvement de simplification et d'autonomisation, tend à conforter les lois d'évolution de TRIZ n°4 (accroissement du niveau d'idéalité) et n° 8 (accroissement du dynamisme et de la contrôlabilité). Les synergies fonctionnelles entraînent la réduction du nombre de pièces, l'utilisation de matériaux plus performants et la conception d'objets plus petits, de moindre prix, comme le montre l'exemple de la microélectronique. Cela tend à corroborer la loi n° 7 (transition du macro-niveau vers le micro-niveau). Les synergies fonctionnelles, par le regroupement d'organes qu'elles sont susceptibles d'opérer, peuvent également expliquer la loi n°6 (Transition du système vers un super système).

Pour le reste, les lois d'évolution de TRIZ prêtent à discussion. Les trois premières lois, par exemple, (intégralité des parties du système, conductibilité énergétique du système et concordance du rythme des parties) sont souvent qualifiées de lois statiques car elles régissent l'organisation et la viabilité des systèmes. Il est donc surprenant de ranger des lois « statiques » parmi les lois d'évolution. Elles auraient davantage leur place dans des travaux consacrés à l'analyse morphologique des systèmes (Aloui & Boehm, 2009). En dépit de ce qui

a été écrit quelques lignes plus haut, la loi n° 4 (accroissement du niveau d'idéalité) est également une des lois d'évolution les plus contestables de TRIZ. On comprend aisément que l'énoncé d'un résultat idéal final, fantaisie de l'esprit ou rêve inaccessible destiné à ouvrir la voie à la résolution du problème, puisse constituer une puissante heuristique dans la recherche de solutions techniques. Il n'empêche que cette notion appelle plusieurs critiques (Xxxxxxxx, 2005, 2007). Une invention, selon Altshuller (2002), doit posséder quatre qualités : être *la*[5] solution technique du problème, être nouvelle, se distinguer du déjà connu et donner un effet utile. Cette liste révèle quelques présupposés d'Altshuller. Tout d'abord il considère que le problème précède la solution. TRIZ est effectivement une démarche de résolution de problèmes dont les trois étapes ne seront pas détaillées ici. Cette vision s'oppose à celle de nombreux chercheurs pour qui le lieu de l'innovation se situe dans l'activité de conception laquelle se trouve être un carrefour de métiers, de points de vue, de disciplines et de connaissances (de Terssac et Friedberg, 1996 ; Perrin, 2001). Considérer la conception uniquement comme une résolution de problème supposerait que le problème résolu soit le problème posé au départ. Or comme les problèmes sont larges, peu circonscrits et qu'ils comportent des incertitudes, il est impossible de bien les poser au départ. Leur structuration est nécessairement progressive et il est indispensable de les reformuler à chaque étape de la conception. Le problème ne pré-existant pas à la solution, le concepteur doit simultanément définir le problème et élaborer la solution, voire les multiples réponses possibles (Darses & Falzon, 1996). Un second présupposé d'Altshuller est que, parmi les solutions possibles à un problème, l'une d'elles est idéale : « Je vous propose *la solution idéale*[6] » (Altshuller, 2002). Or la conception de produits requiert la prise en compte de paramètres extrêmement variés (mécanique, électronique, fiabilité, ergonomie, légèreté, sécurité, esthétique, bruit mais aussi coût, compétences, structure organisationnelle, partenariats...), lesquels nécessitent des processus de négociation, au sein d'un acteur collectif communicant (de Terssac et Friedberg, 1996), aboutissant à des compromis. La sélection d'un matériau, par exemple, en fonction de ses seules qualités environnementales constitue un micro choix dans un processus de conception. Malgré cela la question du choix optimal n'est pas évidente. Un polychlorure de vinyle, par exemple, plastique souvent désigné par son abréviation PVC, contribuera peu à l'impact environnemental « épuisement des ressources fossiles » car le chlore, l'un de ses principaux composants, est abondant sur la Terre. Par contre la contribution du PVC à l'impact « toxicité humaine » sera plus importante s'il est incinéré en fin de vie à cause des

[5] C'est nous qui soulignons.
[6] C'est nous qui soulignons.

émissions d'acide chlorhydrique et de dioxines qui se produiront. Ce genre de dilemme peut se répéter pour les centaines ou milliers de paramètres que la conception devra prendre en compte. En innovation et en conception, comme en toute situation complexe, il n'y a donc pas de décision optimum (Le Moigne, 1995). C'est une des raisons pour laquelle les concepteurs, dans leur pratique effective, se dirigent rapidement vers des solutions simplement satisfaisantes (Simon, 1991), en adoptant ce que l'ergonomie cognitive nomme une « stratégie de moindre compromission ».

La notion d'idéalité est encore critiquable dans une perspective évolutive. Chaque consommateur a pu observer que des nouveaux produits étaient moins satisfaisants que leurs prédécesseurs, au moins pour certains attributs de valeur. La télévision numérique terrestre (TNT) permet de capter plus de chaînes que son homologue analogique mais le délai d'apparition de l'image, à l'allumage et lors des changements de chaîne, est plus long. Il est également plus long et plus coûteux en énergie de se sécher les mains au sèche-mains électrique qu'avec une serviette en coton. Deforge (1985) a émis une idée dérangeante à l'égard de l'évolution des objets techniques : il envisage qu'elle puisse connaître des points de rebroussement. Ne serait-ce pas le cas actuellement dans l'une des plus vieilles activités productives humaines, l'agriculture ? La houe et l'araire ne travaillaient le sol qu'en surface. L'évolution de la charrue a permis, avec l'invention du versoir, du soc réversible ou l'installation de plusieurs socs en parallèle tirés par un tracteur, de labourer toujours plus profond et toujours plus vite jusqu'à ce que l'on s'aperçoive que cette technique dégradait la qualité de la terre, nuisait à la vie qu'elle abritait et favorisait l'érosion des sols. Depuis peu, les techniques de travail superficiel du sol, comme le hersage ou le semis sous couvert végétal réapparaissent.

A ce point de la mise en regard des lois d'évolution d'Altshuller avec les travaux de Simondon, Deforge et Le Masson *et al.*, il est possible de proposer une synthèse des arguments qui tendent à valider, ou au contraire, à réfuter ces lois (tableau 2).

Tableau 2. Synthèse des arguments qui tendent à valider ou à réfuter les lois d'évolution de TRIZ

Lois d'évolution de Triz	Arguments qui tendent à valider la loi	Arguments qui tendent à réfuter la loi
1. Intégralité des parties du système		Ces trois lois statiques sont hors sujet en ce qui concerne l'évolution des systèmes. Elles peuvent par contre trouver leur place dans des travaux sur l'analyse morphologique des systèmes (Aloui & Boehm, 2009).
2. Conductibilité énergétique du système		
3. Concordance du rythme des parties		
4. Accroissement du	Les systèmes évoluent vers le simple,	• En situation complexe, il n'existe pas

niveau d'idéalité	le concret, le synergique (Simondon, 1989 ; Deforge, 1985).	d'optimum (Le Moigne, 1995). • Les concepteurs se contentent de solutions satisfaisantes imparfaites en adoptant une « stratégie de moindre compromission » (Darses, 1992 citée *in* Perrin, 1999). • Les capacités d'expansion du raisonnement de conception sont infinies (Hatchuel, Weil, 2002). • L'évolution des systèmes peut connaître des avatars ou des points de rebroussement (Deforge, 1985).
5. Développement inégal des parties du système		L'évolution par synergie fonctionnelle s'oppose partiellement au développement inégal des parties (Simondon, 1989).
6. Transition du système vers un super système	Les synergies fonctionnelles tendent au regroupement des organes (Simondon, 1989 ; Deforge, 1985).	
7. Transition du macro-niveau vers le micro-niveau	Les synergies fonctionnelles tendent à la réduction des volumes et des masses par l'intégration des fonctions dans les organes (Simondon, 1989 ; Deforge, 1985).	
8. Accroissement du dynamisme et de la contrôlabilité	Les produits évoluent vers l'auto-régulant et l'auto-suffisant (Simondon, 1989 ; Deforge, 1985).	

Notre étude comparative permet également de dresser un tableau des points de divergence entre les travaux examinés.

Tableau 3. Synthèse des tensions dialectiques relatives à l'évolution des systèmes techniques.

Le statut de l'objet technique	Objet technique uniquement (Altshuller).	Objet culturel (Simondon, Deforge) Objet dans un marché (Deforge, Le Masson *et al.)*
Les causes de l'évolution des produits	Internes aux systèmes (Altshuller, Simondon).	Egalement externes et liées aux conditions socio-économiques et socio-culturelles (Deforge, Le Masson *et al.*).
Le sens de l'évolution	Convergence, concrétisation progressive, évolution vers un idéal avec, périodiquement, des sauts, des bonds (Altshuller, Simondon).	Des divergences, résurgences, régressions, avatars, rebroussement possibles (Deforge). Expansion soit divergente soit convergente des concepts (Le Masson *et al.,* 2006).
Rôle des lois d'évolution	Fonction prospective, anticipatrice (Altshuller, Simondon)	Outils de compréhension *a posteriori* (Deforge).
La relation problème - solution	Le problème précède la solution (Altshuller)	Il y a co-construction entre problème et solution solution (Darses & Falzon, 1996 ; Perrin, 2001).
Le résultat	Une solution idéale(Altshuller) Saturation de l'objet (Simondon)	Des solution imparfaites mais satisfaisantes (Deforge, Simon)

2.2. UN DETERMINISME OUBLIEUX DE LA DIMENSION SOCIOTECHNIQUE DE L'INNOVATION

On se souvient qu'Altshuller a sélectionné 40 000 brevets, parmi 400 000, pour en inférer 40 principes inventifs, eux mêmes souvent issus de principes physiques. Sa démarche est donc de nature inductive et *Science push* dans la génération des solutions inventives. Cela limite de manière importante l'appréhension des multiples facettes des processus innovants (Xxxxxxxx, 2005, 2007). Cette approche considère en effet que les progrès technologiques sont la principale impulsion du développement économique. Elle se distingue de celles qui postulent

que le cœur de l'innovation est la conception et non pas la science car la majorité des innovations sont de nature incrémentale et ne requièrent pas nécessairement d'expertise scientifique (Perrin, 2001). L'approche d'Altshuller postule ensuite que la théorie précède la pratique. Ce mythe de l'innovation est dénoncé, entre autres, par Flichy (1995) et Gaudin (1998), qui observent qu'au contraire c'est plus souvent la pratique qui précède la théorie. La machine à vapeur, par exemple, a précédé la thermodynamique de plusieurs décennies. Comme le note Choulier (2000a), l'état d'esprit de TRIZ se fait sentir par une sorte de déterminisme « internaliste » où seules les causes internes au système expliquent son développement. Cette vision fait abstraction du marché, des clients, des usagers, de la concurrence, des acteurs stratégiques comme facteurs d'évolution. Elle ignore la dimension socio-technique de l'innovation. Si les premières voitures avaient la forme de carrosses ce n'est sans doute pas à cause du caractère abstrait du produit nouveau. La copie de l'existant peut s'expliquer par de simples raisons d'acceptation sociale. L'évolution des lignées de produits n'est donc pas gouvernée par les seules lois internes, elle résulte aussi d'une dynamique de construction collective de l'offre et de la demande comme l'ont montré Le Masson *et al.* (2006). Un autre point sur lequel Altshuller montre son ignorance de la dimension socio-technique de l'innovation est quand il utilise le terme inventeur. Le mot est employé au singulier non seulement dans le titre de l'un des ouvrages *Et soudain apparut l'inventeur* (Altshuller, 2002) mais également dans la plupart de ses travaux. Le singulier témoigne à nouveau de deux mythes de l'innovation : celui de l'inventeur génial et marginal (Callon, 1994) et celui de la séparation du technique et du social (Gaudin, 1998). Ces deux mythes sont faux car si les individus peuvent avoir des idées, seuls les collectifs avec leur porte-parole sont en mesure de les éprouver, de les transformer et de les faire aboutir. L'innovation est dans ce cas « l'art d'intéresser un nombre croissant d'alliés qui vous rendent de plus en plus fort » (Akrich *et al.*, 1988). L'important développement des coopérations interorganisationnelles, en matière d'innovation, montre bien que l'innovation est un processus social dans lequel les contributions individuelles des acteurs sont de plus en plus difficiles à délimiter.

Les travaux d'Altshuller conduisent donc à une vision déterministe du progrès et à une illusion scientiste (Choulier, 2000b, Bontems & Le Roux, 2009.) Son ambition de prédire l'évolution des systèmes et d'anticiper les futurs problèmes à résoudre (Altshuller, 2002) doit être, pour le moins, tempérée. Comme l'ont observé Deforge (1985), Gaudin (1998) et même des successeurs d'Altshuller (Fey & Rivin, 1999), les étapes d'évolution ne suivent pas toujours un

ordre chronologique. L'ordre dans lequel apparaissent les brevets, les inventions et les solutions est souvent chaotique. Postuler que les systèmes techniques évoluent selon des lois immuables quasi indépendantes des humains n'est plus tenable. Comme le précise Deforge (1989), dans de nombreuses situations la loi d'évolution entre en conflit avec d'autres nécessités techniques (fabrication, maintenance, sécurité) ou économiques. Ces dernières elles-mêmes ne sont pas pures, selon Simondon (1989) ; elles interfèrent avec un réseau diffus de motivation et de préférences qui les atténuent ou même les renversent (goût du luxe, désir de la nouveauté, propagande commerciale). Actuellement, dans le secteur du son, par exemple, on observe que les écouteurs des baladeurs, après des années de miniaturisation continue, retrouvent subitement du volume, au sens dimensionnel du terme, afin de donner une illusion de professionnalisme à celui qui arbore son casque autour du cou.

2.3. LOIS D'EVOLUTION ET LIGNEES GENETIQUES : DES METAPHORES BIOLOGIQUES CONTESTABLES

Nous avons souligné dès l'introduction de cet article l'intérêt que suscitaient les approches biologiques sur ceux qui font profession d'étudier l'innovation. L'analogie n'est toutefois pas sans danger et peut conduite à des généralisations abusives voire à des interprétations erronées si l'on naturalise trop facilement des objets ou si l'on emploie des termes mal à propos.

Ce qui distingue évolutions technologique et biologique, pour Simondon (1989), c'est que, dans le domaine de la vie, l'organe n'est pas détachable de l'espèce contrairement au domaine technique où l'élément, précisément parce qu'il est fabriqué, est détachable de l'ensemble qui l'a produit. La différence entre évolutions technologique et biologique tient donc à ce qui distingue *l'engendré* du *produit*. Deforge (1985) a fait un large usage de termes biologiques (mutation, croisement, sélection naturelle...). Celui de lignée génétique peut s'avérer insidieux. Rappelons qu'il nomme lignée une suite d'objets, rangés par ordre chronologique, ayant la même fonction d'usage et mettant en œuvre le même principe constitutif. Cette définition est proche de celle de Simondon (1989) qui préfère toutefois le terme de « lignée technique » : ce qui fonde une lignée technique c'est la sous-jacence et la stabilité du principe organisateur initial.

La lignée, quand on lui adjoint l'adjectif génétique, devient un concept ambigu à cause de la double acception du qualificatif. Tout d'abord il peut signifier relatif à une genèse. La psychologie génétique de Piaget, par exemple, étudie les stades du développement psychologique de l'enfant. Génétique peut également signifier relatif aux gènes, à l'hérédité.

Deforge ne précise pas quelle acception il retient. Autant le premier sens est acceptable, autant le second, utilisé également dans « mutation génétique » ne l'est pas lorsqu'il s'adresse à des objets techniques. Il impliquerait qu'un objet technique ait des « parents » qui lui auraient transmis des caractéristiques morphologiques que lui même retransmettrait, à la génération suivante, non pas à l'identique mais selon le hasard dû au brassage des gènes au moment de la « reproduction ». La confusion apportée par l'expression lignée génétique augmente encore depuis que des praticiens de TRIZ l'emploient mais dans un sens différent de celui de Deforge. Elle sert par exemple à illustrer l'évolution du sèche-mains. Pour retirer l'eau des mains humides, plusieurs solutions ont été successivement utilisées : des serviettes en tissu ou en papier, un flux d'air chaud ou un flux d'air en régime laminaire. L'évolution du produit conserve bien sa fonction d'usage (sécher les mains) mais met en œuvre des principes physiques différents (respectivement absorption, évaporation et soufflage de l'eau) ce qui enfreint la règle de Deforge. Pour compliquer encore la compréhension du mot lignée, on notera que la définition de Le Masson *et al.* (2006) ne s'accorde pas très bien avec les autres. Rappelons qu'ils caractérisent une lignée par : 1) un ensemble de compétences bien identifiées et de nature relativement stable, 2) une famille de produits successifs en expansion et 3) un concept directeur relativement stable. Les points communs avec les autres auteurs sont que la genèse de leur lignée passe également par une suite de produits et qu'elle s'appuie également sur un principe organisateur stable, le concept directeur. Le Masson *et al.,* par contre, s'intéressent peu à la fonction d'usage lui préférant l'exploration de l'espace des « valeurs d'usage ». De plus, dans leur conception de la lignée, une faible variation apparente des produits peut remettre en cause profondément les compromis établis.

CONCLUSION

Dans cet article nous nous sommes intéressé aux lois d'évolution des systèmes techniques. Nous avons comparé, dans la première section, plusieurs travaux consacrés à cette question (Altshuller, 1999, 2002 ; Simondon, 1989 ; Deforge, 1985, 1989 ; Le Masson *et al*., 2006). La première publication française date des années 50 mais ce sujet retrouve actuellement les faveurs de l'actualité du fait de la diffusion de la méthode de créativité russe TRIZ. Comme Deforge avait déjà remis en cause les lois d'évolution des systèmes élaborées par Simondon, notre étude a visé deux objectifs. Le premier, d'ordre théorique, est d'éprouver la robustesse des lois d'évolution de TRIZ. Le second, d'ordre pratique, est de sensibiliser les professionnels de l'innovation aux forces et aux faiblesses desdites lois d'évolution afin qu'ils puissent

infléchir, le cas échéant, la construction de leurs outils de pilotage de l'innovation. Ceux-ci différeront en effet sensiblement selon que l'on considèrera que les produits évoluent sous l'effet de lois immuables ou, au contraire, sous l'influence de leurs concepteurs et utilisateurs.

La synthèse des travaux mentionnés ci-dessus, effectuée dans la deuxième section, nous permet d'entériner trois lois de TRIZ, d'en réfuter deux, dont une partiellement seulement, et d'en considérer trois comme hors sujet. Une faiblesse de TRIZ est de ne considérer que les causalités internes aux produits laissant croire à un déterminisme de l'évolution. Si les choses se faisaient toutes seules, comme le remarquent Bontems et Le Roux (2009), et si le rythme de progression ne dépendait pas de notre investissement alors pourquoi aurait-on besoin de méthodes de conception ? Pourquoi la recherche aurait-elle consacré tant d'efforts, depuis deux décennies, pour rationaliser cette activité ? Que resterait-il des possibilités de choix du produit par l'utilisateur ou le consommateur ? Les avatars que peut connaître l'évolution des lignées (figure 3) suffisent à invalider son déterminisme supposé. Il faudrait donc soit n'utiliser la notion de « lois d'évolution » qu'à titre métaphorique, avec des guillemets, comme le suggère Deforge (1989), soit employer le terme de « tendances » comme le proposent Choulier (2000a, 2000b) ou Savransky (2000).

Du fait de ses fondements positivistes la méthode TRIZ applique les principes cartésiens de disjonction et de réduction (Xxxxxxxx, 2007). Elle isole et n'étudie que les seules « lois d'évolution » internes aux produits. Elle ignore ainsi que l'innovation relèvent autant d'un processus social que d'un processus technique. Les utilisateurs contribuent aussi à la transformation des produits en déplaçant, en adaptant, en détournant les usages prescrits. Il en est de même de la mode, de la publicité, de la concurrence à travers les fonctions de signe qu'elles promeuvent. Les prescriptions réciproques que s'adressent les membres d'un partenariat d'exploration contribuent également à l'évolution des produits *via* les nouveaux attributs de valeur qu'ils introduisent. Quand on s'intéresse à l'innovation, il nous paraît inconcevable de ne pas articuler ses dimensions technologiques, économiques, organisationnelles, sociologiques, cognitives voire psychologiques. La méthode TRIZ, contrairement à ses ambitions, risque de restreindre la pensée des innovateurs car elle est unidimensionnelle. Or, comme le soutient Edgar Morin (1996), une pensée mutilante ou une intelligence aveugle conduisent à des actions mutilantes. Il est pourtant urgent de réarticuler les domaines disciplinaires pour mieux appréhender la complexité du réel. Nous avons évoqué le système éducatif. Les jeunes actuellement en cours de formation vont devoir affronter, au cours de leur future carrière, de redoutables défis : une population mondiale de 9 milliards

d'habitants, en 2050, qu'il va falloir nourrir, loger, transporter, soigner ; un épuisement des ressources fossiles ; des dérèglements climatiques ; des risques technologiques... Comment, dans ces conditions, innover de manière soutenue et répétitive, pour garantir la pérennité des entreprises et des emplois, sans augmenter toujours plus les flux de matières premières, d'énergie et de déchets ? Pour répondre à ces impératifs il s'agit d'innover dans la manière d'innover et de construire des instruments de pilotage aptes à articuler tous les enjeux de l'innovation.

RÉFÉRENCES

ABERNATHY, W. J. & UTTERBACK, J. M.(1978), Patterns of Innovation in Industry, *Technology Review*, 80 : 7, 40-47.

AÏT-EL-HADJ, S. (2009), Les apports de la « théorie de l'objet technique » de Gilbert Simondon à une théorie opératoire unifiée des systèmes techniques *in* AÏT-EL-HADJ, S. & BOLY, V. (dir.), *Les systèmes techniques. Lois d'évolution et méthodologies de conception*, Paris, Lavoisier, 57-80.

AÏT-EL-HADJ, S. & BOLY, V. (dir.) (2009), *Les systèmes techniques. Lois d'évolution et méthodologies de conception*, Paris, Lavoisier.

AKRICH, M. ; CALLON, M. ; LATOUR, B. (1988), A quoi tient le succès des innovations ?, *Gérer et comprendre*, premier épisode : L'art de l'intéressement, n° 11, 4-17 ; deuxième épisode : L'art de choisir les bons porte-parole, n° 12, 14-29.

ALOUI, A. & BOEHM, J.-C. (2009), Définition d'architectures organiques de systèmes techniques : proposition d'une méthodologie *in* AÏT-EL-HADJ, S. & BOLY, V. (dir.), *Les systèmes techniques. Lois d'évolution et méthodologies de conception*, Paris, Lavoisier, 103-141.

ALTSHULLER, G. (1999), *The Innovation Algorithm. TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity*, Worcester, MA, Technical Innovation Center (Original text Copyright : 1973).

ALTSHULLER, G. (2002), *Et soudain apparut l'inventeur*, Paris, Ed. Seredinski (*The Art of Inventing – And Suddenly the Inventor Appeared*, Moscow : Detskaya Literatura, 1st edition : 1984).

XXXXXXXX, (2005)

XXXXXXXX, (2006),

XXXXXXXX, (2007),

BONTEMS, V. & LE ROUX, R. (2009), Objectivité et normativité de l'évolution technique chez Gilbert Simondon *in* AÏT-EL-HADJ, S. & BOLY, V. (dir.), *Les systèmes techniques. Lois d'évolution et méthodologies de conception*, Paris, Lavoisier, 23-36.

CALLON, M. (1994), L'innovation technologique et ses mythes, *Gérer et comprendre – Annales des mines*, 5-17.

CAVALLUCCI, D. & LUTZ, P. (1997a), TRIZ, un nouveau concept de résolution des problèmes d'innovation » [en ligne], *Deuxième Congrès International Franco-Québécois de Génie industriel*, 3-4-5 septembre, Albi (France).

CHOULIER, D. (2000a), Synthèse sur les lois d'évolution. Comparaison entre les vues de Simondon, Deforge et Altshuller, *Rapport interne n°05, Mécatronique 3M, Thématique Conception Innovante et Distribuée*, Université de technologie de Belfort-Montbéliard.

CHOULIER, D. (2000b), TRIZ : un état d'esprit, *Rapport interne n°05, Mécatronique 3M, Thématique Conception Innovante et Distribuée*, Université de technologie de Belfort-Montbéliard.

DARSES, F. & FALZON, P. (1996), La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive *in* TERSSAC, G. de & FRIEDBERG, E. *Coopération et conception*, Toulouse, Octarès, 123-135.

DEFORGE, Y. (1985), *Technologie et génétique de l'objet industriel*, Paris, Maloine.

DEFORGE, Y. (1989), Postface : Simondon et les questions vives de l'actualité *in* Simondon, G., *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier (1ière éd. 1958).

FEY, V. R. & RIVIN, E. I. (1999), Guided Evolution (TRIZ Technology Forecasting), *Triz journal*, Disponible sur : http://www.triz-journal.com/archives/1999/01/c/index.htm (Consulté le 08/01/2011).

FLICHY, P. (1995), *L'innovation technique. Récents développements en sciences sociales. Vers une nouvelle théorie de l'innovation*, Paris, Editions de la Découverte.

GAUDIN, T. (1998). *De l'innovation*, La Tour d'Aigues, Editions de l'Aube.

GOEPP, V. ; LUTZ, P. & DE GUIO, R. (2001), Quelques exemples pluridisciplinaires de recherche sur la TRIZ, *Valeur, management, innovation*, Actes du congrès AFAV, Paris, 6-7 novembre, 61-69.

HATCHUEL, A. ; WEIL, B, (2002). La théorie C-K, fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception, *International Conference « The Sciences of Design »*, Lyon (France), March 15-16, 1-24.

LATTUF, J.-A. ; LE COQ, M. & BASSEREAU, J.-F. (2002), Tentative de transfert des concepts d'évolution technologique et biologique dans le processus créatif en innovation, *Colloque CONFERE*, Nancy, 4 et 5 juillet.

LE MASSON, P. ; WEIL, B. & HATCHUEL, A. (2006), *Les processus d'innovation. Conception innovante et croissance des entreprises*, Paris, Hermès Lavoisier.

LE MOIGNE, J.-L. (1995), *La modélisation des systèmes complexes*, Paris, Dunod.

LEVITT, T. (1965), Exploit the product life cycle, *Harvard Business Review*, 43, 81–94.

MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE, (2010), Programme d'enseignement de création et innovation technologiques en classe de seconde générale et technologique, *Bulletin officiel spécial n° 4 du 29 avril*, 1-5.

MORIN, E. (1996). *Introduction à la pensée complexe*, Paris, E.S.F. Éditeur, 6e édition (1ière éd. 1990).

PERRIN, J. (2001), *Concevoir l'innovation industrielle, méthodologie de conception de l'innovation*, Paris, CNRS éditions.

ROGERS, E. (1995), *Diffusion of innovations*, New York, The Free Press (4th edition).

SAVRANSKY, S. D. (2000), *Engineering of creativity. Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*, Boca Raton (Fla), CRC Press.

SIMON, H. A. (1991), *Sciences des systèmes, sciences de l'artificiel*, Paris, Bordas (*The Sciences of the Artifical*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1969).

SIMONDON, G. (1989), *Du mode d'existence des objets techniques*, Paris, Aubier (1ière éd. 1958).

TERSSAC, G. de & FRIEDBERG, E. (1996), *Coopération et conception*, Toulouse, Octarès.