

LES OUTILS DE L'INNOVATION

Du brainstorming à la mé

CHRISTIAN TEIXIDO ^[1]

Acteur de leur enseignement dès l'origine, l'auteur retrace pour Technologie, dont il a longtemps été le rédacteur en chef, l'historique de l'évolution des méthodes d'analyse structurée de produits. Identifier les motivations technico-économiques de ces avancées et mieux cerner les points clés de la méthode TRIZ pour être en mesure d'innover, tels sont les objectifs de cette synthèse.

Tout le long de ma carrière en sciences industrielles et dans le domaine de la conception, j'ai voulu améliorer mes connaissances en matière de créativité et d'innovation. Afin d'aider mes étudiants en projet, auxquels j'avais au début du mal à apporter des démarches et des méthodes, j'ai, à partir du milieu des années 1970, pris des contacts fructueux avec des cabinets de créativité (APTE, Créargie...) et des industriels, et compulsé la littérature de ces domaines. Je vais donc en quelque sorte vous raconter mon histoire. Bien sûr, la créativité nécessite des connaissances ; mais cet article, bâti sur son historique, va mettre en évidence que des méthodologies, des outils sont nés et ont évolué, notamment pour des raisons technico-économiques. Aujourd'hui, je pense que l'on peut aborder sérieusement l'innovation grâce à des avancées significatives telles que l'approche systémique, l'analyse fonctionnelle et, bien sûr, la méthode TRIZ.

De 1945 au milieu des années 1970

Durant cette période, le niveau de l'offre est inférieur au niveau de la demande ; les économistes parlent de *marchés d'acquisition*. La demande est forte et peu exigeante ; la personnalisation des produits et leur qualité (au sens large du terme) ne constituent pas des critères de choix. D'autre part, il y a peu de concurrence, si bien que les considérations économiques sont secondaires. Enfin, la main-d'œuvre est peu (ou pas) qualifiée, puisqu'il n'y a pas de formations.

C'est le taylorisme, ou « l'organisation scientifique du travail », préconisant une fabrication en grande série pour baisser les coûts, la nécessité de produits identiques (souvenons-nous de la phrase de Henry Ford : « Je peux vous fabriquer n'importe quelle voiture, pourvu qu'elle soit noire... »), une organisation cloisonnée et hiérarchisée, dans laquelle quelques experts réfléchissent,

mots-clés

analyse de la valeur, analyse fonctionnelle, créativité, innovation

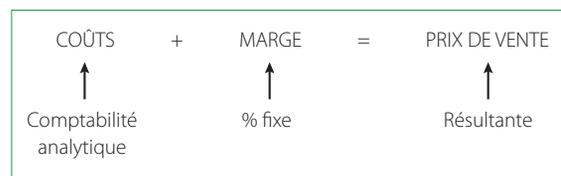
déterminent et optimisent la durée des tâches à chaque poste.

On achète pour la première fois des produits tels qu'une voiture, un téléviseur, un lave-linge... ; le client est donc peu exigeant, et le besoin n'a pas à être clairement défini.

Durant cette période, l'équation reliant les coûts au prix était de la forme donnée en 1. Nous reviendrons sur cette équation – notons pour l'instant qu'elle ne favorise pas un esprit de créativité permettant de proposer des solutions adaptées au besoin.

C'était également une période de domination des sciences exactes, des mathématiques, pour lesquelles il n'y a qu'une seule solution répondant à un problème, la bonne, les autres étant donc fausses. De plus, la recherche de solutions est pauvre, on reste dans le monde de l'existant ; par exemple, pour assembler deux pièces, il suffit d'utiliser des boulons, car cette solution a déjà fait ses preuves.

La créativité ne se justifie donc pas, ou que très faiblement ; il est impossible de *penser autrement*. Car,

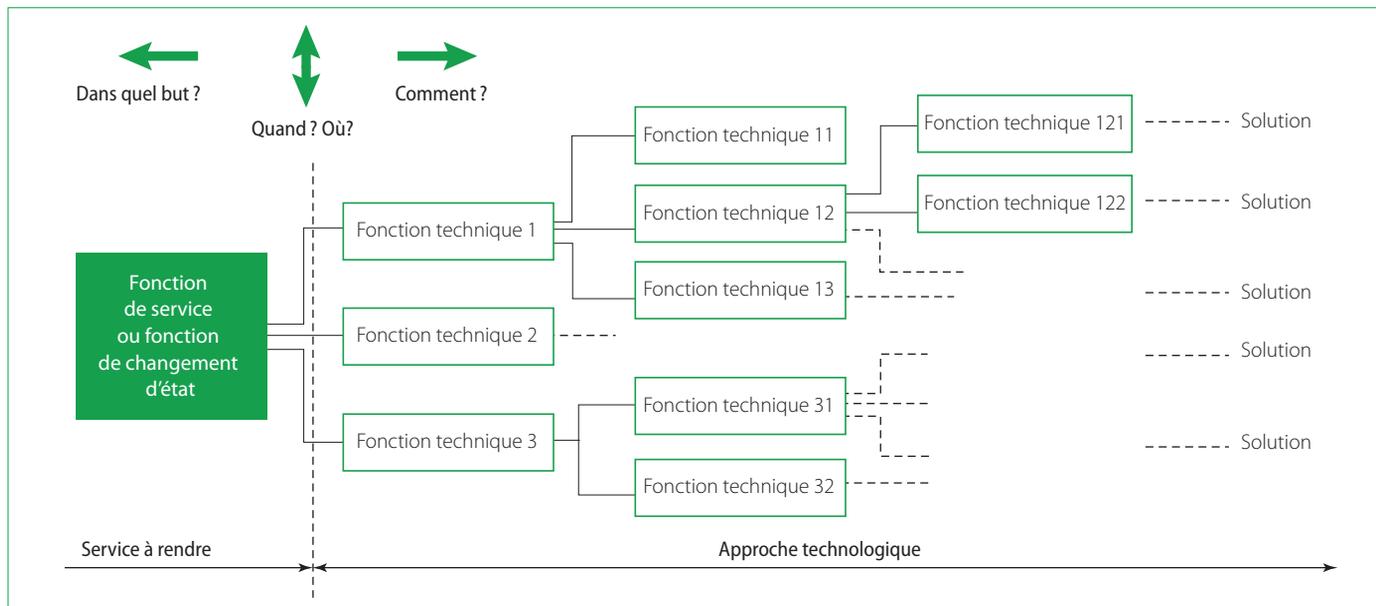


1 L'équation reliant les coûts au prix de vente de 1945 à 1975



2 Tête de taureau (selle et guidon de bicyclette), sculpture de Pablo Picasso (1881-1973) réalisée au printemps 1942, 33,5 x 43,5 x 19 cm, Paris, musée Picasso, © Succession Picasso 2011, (C) RMN/Béatrice Hatala.

[1] Professeur agrégé de mécanique à la retraite.



4 Le Fast de créativité

et garantissant une différence de pression entre deux chambres : de nombreuses solutions permettent de la satisfaire (joints toriques, à lèvres, gorges de dépression...), mais, avant de choisir le composant approprié, il est important de comprendre la nécessité de cette fonction technique, d'analyser son enchaînement avec les autres et de définir les performances que l'on en attend. Ainsi, les fonctions techniques représentent des invariants, c'est-à-dire des éléments communs constituant des passages obligés dans une démarche de créativité.

Comment les mettre en évidence ? L'outil le plus approprié est sûrement le Fast de créativité **4**.

À partir d'une fonction de service (cas d'un produit), ou d'une fonction de changement d'état (cas d'un processus), il faut créer l'arborescence la plus riche par l'intermédiaire de fonctions techniques, en répondant à la question du comment et avec un maximum de « ou », de telle sorte qu'en fin du Fast (à sa droite) émergent le plus de solutions possible susceptibles de répondre au besoin. Cela nécessite de mettre en évidence tout d'abord des fonctions techniques de niveau supérieur (des *macrofonctions*), de poursuivre avec des fonctions de niveaux de plus en plus bas (puisqu'il faut répondre au comment), jusqu'à des fonctions technologiques ou des fonctions élémentaires (en n'oubliant pas le « ou »).

Facile à dire, mais difficile à faire, doivent penser certains d'entre vous ! C'est vrai, mais n'oublions pas qu'il existe des pistes permettant d'y arriver.

D'abord, la pratique du brainstorming, qui, rappelons-le, préconise de travailler en groupe, de ne jamais critiquer – le jugement se fera plus tard –, de viser la quantité, d'associer les idées en faisant émerger les fonctions techniques découlant de celles-ci et ainsi rebondir avec de nouvelles solutions issues de ces fonctions techniques (voir « Le brainstorming » p. 80).

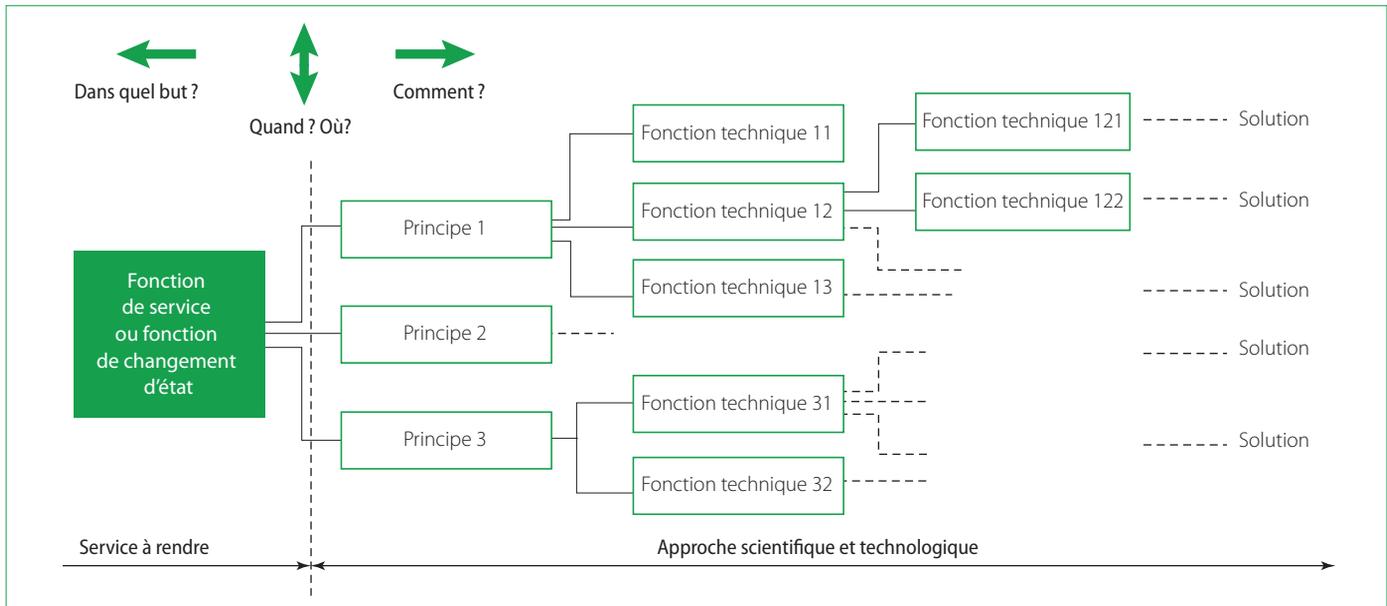
Ensuite, et cela me paraît important, l'adoption d'une démarche permettant de passer progressivement du général (les macrofonctions) au particulier – encore faut-il commencer par le général, c'est-à-dire l'énoncé

des *principes* susceptibles de répondre à une fonction de service. En effet, il y a peu de principes, beaucoup de solutions, et, surtout, chaque solution dépend d'un principe. Donc, au lieu de se poser tout de suite la question « Quelles sont les solutions possibles ? », il faut chercher les principes généraux susceptibles de répondre à la fonction. Plus ils sont généraux, moins il y en a.

C'est au cabinet de créativité APTE (APplication des Techniques d'Entreprise) que l'on doit cette démarche, décrite par le Fast de créativité amélioré (par rapport au précédent), encore appelé *arbre des voies technologiques* **5**. Elle fait obligatoirement apparaître de nombreuses solutions, puisque l'arborescence (le « ou ») débute tout de suite grâce aux principes. Elle constitue une avancée notable dans l'histoire des outils de l'innovation.

Mais, en raison de notre « inertie psychologique », l'arborescence de créativité est généralement peu fournie, car le nombre de principes reste faible, et ce ne sont que des principes classiques : mécanique, magnétique, par gravité... Nous avons du mal à sortir de notre propre vision des choses, qui dépend de notre culture, et peut-être d'un savoir étroit.

Alors, pour aller plus loin, approfondissons cette notion de principe. Commençons par la définir : « Un principe est un phénomène scientifique, ou une proposition logique admise comme base d'un raisonnement, régissant un ensemble de phénomènes par l'exactitude de ses conséquences. » La première partie de cette définition est facile à comprendre ; la seconde est moins évidente – pourtant, c'est peut-être de là que de nouveaux principes vont apparaître. En effet, dès les années 1950-1960, des pionniers de la créativité (Gordon, Osborn, Koestler...) ont recommandé de sortir des mécanismes habituels de pensée en adoptant des techniques d'éloignement permettant, à l'instar de Picasso, de penser autrement. C'est ainsi qu'ils ont mis en évidence d'autres principes tels que la segmentation, l'inversion, la sphéricité, l'asymétrie, la contre-action préalable...



5 L'arbre des voies technologiques

Quelques commentaires à propos de chacun d'eux.

La *segmentation* consiste à diviser un produit en parties indépendantes. Ce fut le cas pour la tour Eiffel, dont la résistance mécanique devient élevée sans que le poids n'augmente. C'est aussi le cas lorsque l'on décompose une pièce complexe, assurant de nombreuses fonctions, en plusieurs pièces élémentaires et en liaisons complètes afin de simplifier la fabrication. Autre exemple, les logiciels d'éléments finis, qui réalisent le maillage d'une pièce afin d'en connaître les contraintes aux nœuds, transforment un milieu continu en un milieu discontinu.

L'*inversion* est une puissante source de créativité : au lieu d'une action dictée par les conditions du problème, il s'agit d'effectuer une action inverse. Nous en connaissons des applications classiques dans les salles de sport. Et cela se pratique en fiabilité lors de l'écriture des Amdec (Analyses des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité). Sachant que chaque pièce d'un mécanisme assure des fonctions techniques, il faut s'assurer de la sûreté de chacune d'elles (par exemple, transmettre le couple moteur). On envisage tous les modes de défaillance possibles de cette FT en inversant la proposition (ne transmet pas le couple), ce qui permet de rechercher toutes les causes possibles au niveau de la solution existante (diamètre trop faible, concentrations de contraintes...) et évidemment l'effet au niveau de la fonction de service concernée. L'analyse de chacune de ces causes (calculs, essais...) permet de valider la solution actuelle, ou d'imposer une reconception afin de supprimer le mode de défaillance en question.

La *sphéricité* consiste à remplacer des formes linéaires par des formes courbes. C'est le cas pour les fonds de réservoirs sous pression dont la forme est sphérique, pour les cannelures à profil bombé afin de transmettre des couples très importants, de l'utilisation du roulement à la place du glissement, de l'optimisation des formes d'une pièce fortement sollicitée afin de tendre vers la poutre d'égale résistance...

La *contre-action préalable* soumet par avance un objet à des efforts opposés à ceux qu'il subira lors de son fonctionnement. C'est la logique du fretage, du procédé de réalisation du béton armé, de la réalisation de pivots sans jeu par l'intermédiaire de roulements précontraints, du serrage initial uniforme et calibré d'une culasse de moteur afin de résister aux efforts internes qui se développeront lors du fonctionnement de ce moteur...

On le voit à travers ces quelques exemples, il s'agit bien de principes, c'est-à-dire de propositions logiques servant de base de raisonnement.

Les méthodes de créativité des années 1950-1960 – le concassage, la synectique et notamment la bionique (analogie avec la nature), l'analyse morphologique, les matrices de découvertes... et bien sûr le Fast et le brainstorming – ont fait leur preuve puisqu'elles proposent de nombreux principes. Pourtant, beaucoup d'entre elles sont peu utilisées. Pourquoi? La réponse est simple : c'est parce qu'il n'y a pas de clé permettant de s'orienter vers l'une d'elles afin de faire émerger le principe répondant au problème posé. On disait à cette époque dans les séances de créativité qu'il fallait accepter d'abandonner et de compter sur le hasard pour y arriver.

Dressons un premier bilan des avancées dans le domaine qui nous concerne durant cette période (du milieu des années 1970 à 2000). Pour être créatif et donc innover, il faut notamment :

► Pour aller plus loin

Knowllence, « distributeur et intégrateur de solutions méthodologiques dans le PLM 2.0 », propose la ressource pédagogique « Cours et exemples pour former à la matrice des contradictions TRIZ », ainsi qu'une « formation aux concepts de base de la méthode TRIZ » en 3 jours, les 29, 30 et 31 mars 2011.

www.knowllence.com/fr/produits/ressource_cours_triz.php
info@knowllence.com

- Avoir assimilé la culture de démarche finalisée ;
- Maîtriser les méthodes et outils de l'analyse fonctionnelle (AFB et AFT) ;
- Travailler en groupe et respecter le brainstorming ;
- Raisonner en principes (et non en solutions).

Pour ce dernier point, fondamental, comment faire ? Il y a le Fast, mais cet outil semble insuffisant. Quels sont les principes ? Y en a-t-il peu ou beaucoup ? Comment déclencher un nouveau principe, à la suite d'une insatisfaction par rapport au besoin que l'on n'arrive pas à résoudre avec la solution actuelle ? Y a-t-il une méthode ?

Les réponses à toutes ces questions vont surgir dans les années 2000 grâce à un génie de l'innovation : Guenrich Altshuller (1926-1998), qui a élaboré la méthode TRIZ, théorie de résolution des problèmes d'innovation. J'en recommande vivement les ouvrages *Et soudain apparut l'inventeur* et *40 principes d'innovation*, traduits et édités par Avraam Sérédinski, qui signe deux articles dans ce numéro (p. 36 et p. 40).

À partir des années 2000

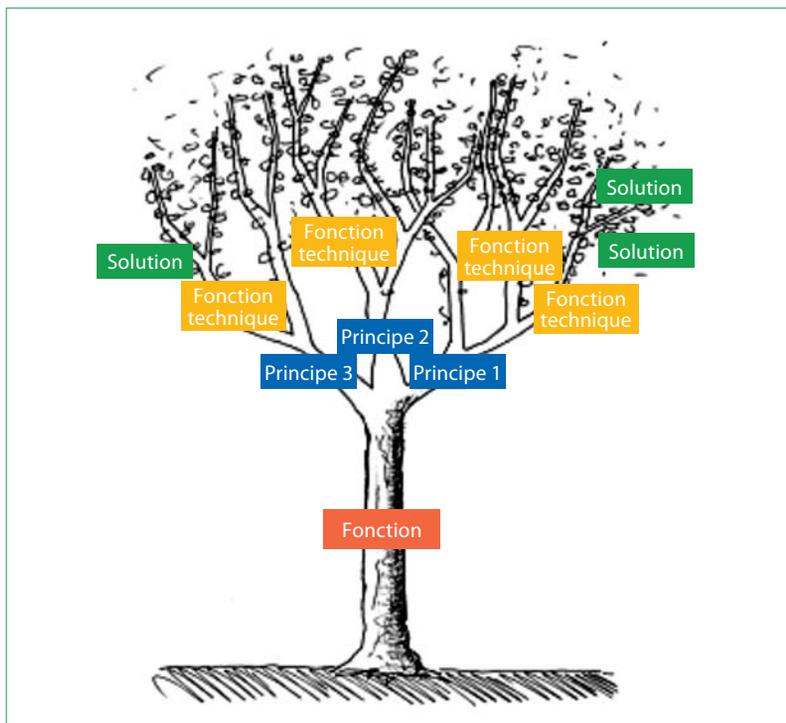
Avant de rentrer dans le détail de la méthode TRIZ, abordons le problème par l'intermédiaire d'un *arbre de créativité* 6. Le tronc correspond à la fonction, ou l'objectif ; les branches, aux principes ; les branchettes, aux fonctions techniques ou aux procédés ; les feuilles, aux solutions, bien évidemment nombreuses.

Partons d'une solution (une feuille de droite, par exemple) soit déjà existante soit résultant d'une séance de créativité, comme un Fast. Si elle satisfait entièrement le besoin (les critères contenus dans la caractérisation de la fonction concernée sont respectés), tout va bien, c'est la « bonne ». Il se peut aussi qu'une meilleure solution soit donnée par une feuille voisine, sur la même branchette que la solution actuelle ; nulle nécessité d'un éclair de génie pour la trouver, car le principe est sûrement bon (seule une amélioration de détail est nécessaire, par exemple un changement de matériau). Mais, si le besoin n'est pas entièrement satisfait (les performances permettant d'atteindre le niveau requis pour un critère ne sont pas obtenues), cette solution n'est pas acceptable, et la « bonne » solution peut être très éloignée technologiquement de la solution actuelle – correspondre à une feuille qui ne soit pas sur la même branchette ni même sur la même branche (le principe), une feuille se trouvant sur la gauche de l'arbre.

Puisque la solution initiale ne permet pas d'atteindre le niveau requis pour un critère, il faut l'améliorer, l'adapter, mais, et *c'est toujours le cas, cela dégrade les performances attendues sur un autre critère*.

Pour bien comprendre, prenons un exemple simple portant sur une famille de produits, ceux permettant d'effectuer des mesures de longueurs.

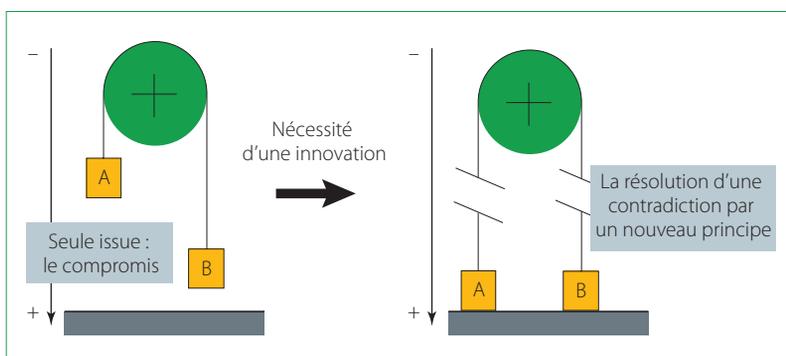
La première solution existante est la règle graduée sur une longueur de 20 à 30 cm. Ce produit satisfait



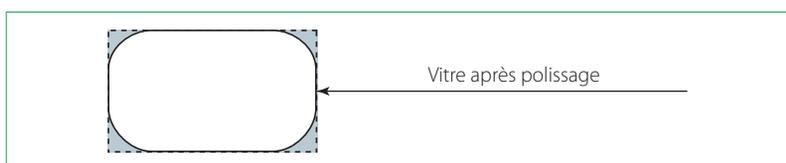
6 L'arbre de créativité



7 La résolution de contradictions



8 Le déclenchement d'une innovation



9 Le principe de fabrication d'une vitre ovalisée

entièrement le besoin si l'on effectue des mesures sur des longueurs inférieures ou égales à 30 cm, ou éventuellement au double : la fonction mesurage est correctement réalisée. De plus, ce produit n'est ni particulièrement encombrant ni lourd hors utilisation. Supposons que l'on veuille effectuer des mesures de longueurs de 10 à 20 fois plus grandes, soit de 3, 4, ou 5 m. On peut alors, si l'on reste sur ce type de solutions, c'est-à-dire sur le même principe, disposer de règles de 3, 4 ou 5 m de longueur afin de satisfaire correctement la fonction de service relative à la mesure. Cette amélioration, portant sur le même principe de solutions, permet d'atteindre la nouvelle performance demandée pour ce critère. Mais cela va se faire au dépend d'un autre critère (et parfois de plusieurs autres) contenu dans une fonction de service, ici l'encombrement et le poids en phase de non-utilisation du produit.

Tout cela, parce que, avec ce principe de solutions, ces deux critères sont liés : *si l'on améliore les performances sur l'un des critères, alors on se heurte à la résistance d'un autre, ou encore on dégrade les performances sur un autre : c'est la contradiction technique*. Il faut donc dans ce cas, pour satisfaire le nouveau besoin, sortir de ce principe et faire émerger un nouveau principe qui permette de rendre indépendants les deux critères, c'est-à-dire de résoudre la contradiction.

On aurait pu garder la règle initiale et effectuer des mesures consécutives sur une longueur de 5 m, mais alors ce sont les performances sur le critère de précision ou sur celui du temps pour effectuer cette tâche qui se seraient dégradées.

Nous le savons, c'est avec les principes de *segmentation* et *dynamisme* conduisant au mètre pliable ou avec le principe de *sphéricité* conduisant au mètre ruban que la contradiction est éliminée.

Continuons avec cette famille de produits. Si l'on veut à présent effectuer des mesures sur des longueurs de l'ordre de 20 à 60 m, de nouvelles contradictions apparaissent. Avec un mètre ruban (donc le principe de sphéricité), pour lequel le déroulement pourrait atteindre ces longueurs, l'encombrement ou le poids se dégradent ; il en est de même pour la précision de la mesure. Il faut trouver un autre principe, donc innover. Et, dans ce cas, il faut adopter le principe de *remplacement du système mécanique par un système optique ou acoustique*, ce qui conduit au télémètre à ultrasons **7**.

On peut représenter cette notion de contradiction par la figure **8**, inspirée des illustrations de l'ouvrage *40 principes d'innovation* de G. Altshuller : une poulie autour de laquelle est enroulé un câble soutenant deux poids. Si l'on tire A vers le bas (direction d'amélioration), B se dégrade inévitablement. C'est malheureusement la solution que nous adoptons parfois, consistant à trouver un compromis tel que A est un peu amélioré... et B un peu dégradé.

Comment sortir de cette impasse, comment améliorer A sans dégrader B ? Il faut couper le lien entre

TRIZ : les 40 principes

- | | |
|--|--|
| 01 Segmentation | 22 Transformation d'un problème en opportunité |
| 02 Extraction | 23 Rétroaction |
| 03 La qualité locale | 24 Intermédiaire |
| 04 Asymétrie | 25 Self-service |
| 05 Groupement | 26 Copie |
| 06 Universalité | 27 L'éphémère bon marché |
| 07 Poupées russes | 28 Remplacement du système mécanique |
| 08 Contrepoids | 29 Technologies pneumatique et hydrauliques |
| 09 Contre-action préalable | 30 Membranes flexibles et parois minces |
| 10 Anticipation de l'action | 31 Matériaux poreux |
| 11 Prévention | 32 Changement de couleur |
| 12 Équipotentialité | 33 Homogénéité |
| 13 Action « à l'inverse » | 34 Rejet et régénération des parties |
| 14 Sphéricité | 35 Changement de paramètres de l'objet |
| 15 Dynamisme | 36 Transitions de phases |
| 16 Action partielle ou excessive | 37 Dilatation thermique |
| 17 Transition vers une autre dimension | 38 Oxydants forts |
| 18 Vibrations mécaniques | 39 Environnement inerte |
| 19 Action périodique | 40 Matériaux composites |
| 20 Continuité de l'action utile | |
| 21 Action « flash » | |

A et B ; c'est la résolution d'une contradiction à partir d'un nouveau principe.

Prenons encore un exemple. Une usine reçoit une commande pour fabriquer un grand lot de vitres ovales en verre d'une épaisseur de 2 mm. Après découpe de produits rectangulaires, reste à polir les bords de façon à obtenir des ovales. Mais, lors du polissage, les vitres se brisent trop souvent **9**. Le procédé de polissage, pour ovaliser les vitres (après leur découpe), brise celles-ci en raison de leur faible épaisseur. On constate une contradiction technique entre deux paramètres : le procédé de fabrication impose des vitres épaisses, mais alors les vitres ne satisfont pas aux conditions de leur utilisation ; l'utilisation impose des vitres fines, mais alors le procédé de fabrication ne convient pas.

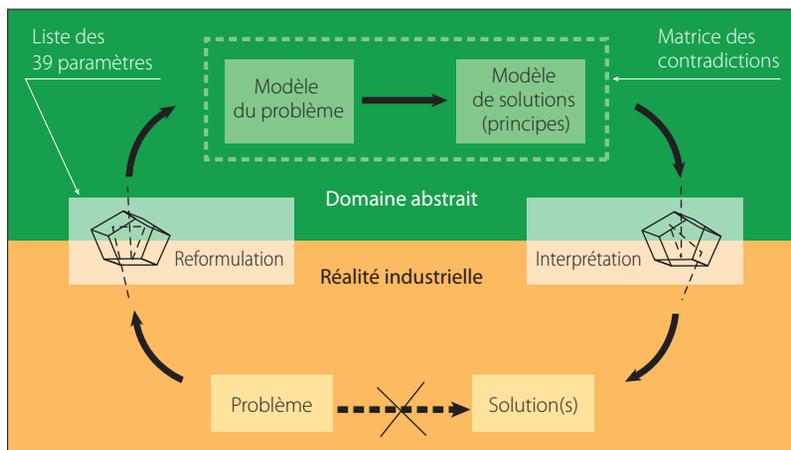
La démarche classique de résolution consiste à choisir une solution intermédiaire : une vitre ni trop fine ni trop épaisse. C'est un compromis ; le problème est atténué et non résolu. La solution idéale doit interdire le compromis, c'est-à-dire faire émerger le principe qui coupe le lien entre les deux paramètres, la satisfaction de l'utilisation et la commodité de fabrication.

On commence à y voir plus clair dans ce « brouillard de la créativité ». Si une fonction n'est pas remplie de façon satisfaisante, ou plus précisément si le niveau requis pour un critère n'est pas atteint par la solution adoptée (la feuille de la branche de droite), il faut alors sur l'arbre de créativité descendre la branchette, puis la branche pour revenir à la jonction des principes et en déduire le bon, c'est-à-dire celui qui éliminera toute contradiction.

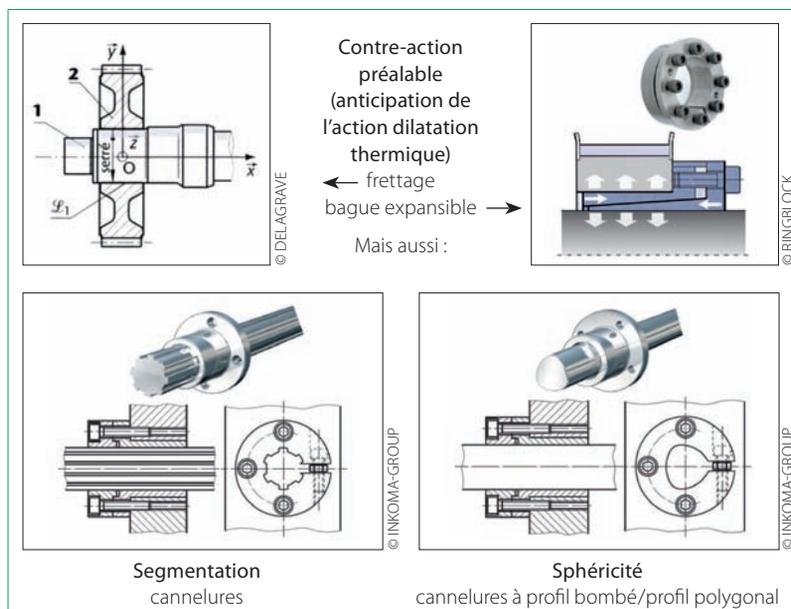
On peut à présent construire une méthode de résolution des problèmes d'innovation. À partir d'un besoin clairement défini et caractérisé, nous disposons généralement

TRIZ : les 39 paramètres

- | | |
|---|--|
| 01 Poids d'un objet mobile | 21 Puissance |
| 02 Poids d'un objet immobile | 22 Perte d'énergie |
| 03 Longueur d'un objet mobile | 23 Perte de substance |
| 04 Longueur d'un objet immobile | 24 Perte d'information |
| 05 Surface d'un objet mobile | 25 Perte de temps |
| 06 Surface d'un objet immobile | 26 Quantité de substance |
| 07 Volume d'un objet mobile | 27 Fiabilité |
| 08 Volume d'un objet immobile | 28 Précision de la mesure |
| 09 Vitesse | 29 Précision de fabrication |
| 10 Force | 30 Facteurs nuisibles agissant sur l'objet |
| 11 Tension, pression | 31 Facteurs nuisibles de l'objet lui-même |
| 12 Forme | 32 Commodité de fabrication |
| 13 Stabilité de la composition de l'objet | 33 Commodité d'utilisation |
| 14 Tenue mécanique | 34 Commodité de réparation |
| 15 Durée d'action d'un objet mobile | 35 Adaptabilité, polyfonctionnalité |
| 16 Durée d'action d'un objet immobile | 36 Complexité de l'appareil |
| 17 Température | 37 Complexité de contrôle |
| 18 Éclairement | 38 Degré d'automatisation |
| 19 Énergie dépensée par l'objet mobile | 39 Productivité |



10 La méthode des contradictions techniques



11 Solutions et principes associés

d'une solution soit existante soit provenant d'une première réflexion (brainstorming, Fast...). Deux cas se présentent : ou cette solution satisfait correctement au besoin, et il faut l'adopter, ou une insatisfaction subsiste car le niveau requis pour un critère n'est pas atteint. Dans ce dernier cas, d'après ce que nous avons énoncé précédemment, ce n'est pas la peine de garder le principe même de la solution, puisqu'il faut améliorer les performances de celle-ci vis-à-vis de ce critère, ce qui met obligatoirement en évidence une contradiction avec un autre critère. Il faut donc énoncer la contradiction. Ensuite, il faut rechercher le ou les principes susceptibles d'éliminer cette contradiction, et inter-préter pour déduire la solution qui en découle : c'est la *méthode des contradictions techniques* 10.

Mais alors, trois problèmes se posent :

- Comment déduire, d'après l'énoncé de la contradiction, le ou les bons principes ?
- Quels sont les principes, et combien y en a-t-il ?
- Comment déduire une solution issue du « bon principe » ?

La dernière question me paraît mineure : cela viendra petit à petit à partir du moment où l'on adoptera cette culture d'association d'une solution à un principe, par exemple lors de la consultation des catalogues de constructeurs. La figure 11 met en évidence quelques éléments de solutions avec les principes associés à la fonction technique « transmission de mouvement ».

Quant à la deuxième question, c'est Altshuller qui a effectué le travail de recherche. Il a analysé plusieurs centaines de milliers de brevets relevant de tous les domaines, en a sélectionné 40 000, desquels ont émergé 40 principes (donnés en encadré). De plus, et c'est remarquable, Altshuller les a illustrés de nombreux exemples et dessins, déjà évoqués 12 13.

Reste la première question. Disposant à présent de principes connus, il nous faut énoncer la contradiction technique non d'une manière personnelle (ce serait incompréhensible par les principes), mais d'une manière standardisée, modélisée, par l'intermédiaire de 39 paramètres (donnés en encadré) – encore un travail marquant d'Altshuller –, de telle sorte que cette reformulation puisse faire émerger des principes possibles répondant au problème posé. Bien sûr, ces paramètres doivent être bien compris et donc définis précisément. La reformulation doit être soignée ; il ne faut pas hésiter à l'énoncer sous des formes voisines du modèle, qui peut être éloigné du problème initial (c'est pourquoi cette tâche est représentée par un prisme sur la figure 10).

Pour comprendre la méthode, traitons un cas simple : on veut qu'une pièce résiste à des efforts très élevés. Pour cela, il faut augmenter ses dimensions, ce qui la rend plus encombrante. Donc une contradiction technique apparaît : si on augmente la résistance de la pièce, celle-ci devient plus encombrante.

Soit :

Paramètre à améliorer : tenue mécanique (14)

Paramètre qui se dégrade : volume d'un objet immobile (8)

