HAL open science

Guide de sensibilisation aux méthodes d'innovation

M. Chakroun

▶ To cite this version:

M. Chakroun. Guide de sensibilisation aux méthodes d'innovation. 2013, pp.84. hal-02599284

HAL Id: hal-02599284
https://hal.inrae.fr/hal-02599284v1

Submitted on 16 May 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

L'innovation pour les ingénieurs

Comment générer des solutions innovantes aux problèmes complexes

MAHMOUD CHAKROUN

Pour mieux affirmer ses missions, le Cemagref devient Irstea

L'innovation

pour les ingénieurs

Partenaires du projet ECOMEF :

Projet labellisé par les pôles de compétitivité :

Soutien financier à Irstea en charge de la coordination et de la réalisation du guide :

Soutien financier pour le projet ECOMEF :

Préface

Dans les années 80 un groupe de rock Américain chantait *: « We have a bigger problem now… »,* c'est précisément ce qui nous arrive aujourd'hui ; la situation de la planète et de nos sociétés s'est considérablement dégradée ces dernières années :

- du point de vue écologique : marées noires, réchauffement de la planète, réduction des réserves de poissons ;
- du point de vue financier : états en faillite, crise euro et dollar, millions de sans emploi ;
- du point de vue humain : épidémies et famines, tensions internes dans de nombreux pays, risques de guerres étendus.

Mais que pouvons-nous faire à notre niveau ? BEAUCOUP selon ceux qui, comme M. Chakroun connaissent la théorie russe de l'invention (TRIZ). En effet, cette théorie unique et précieuse permet de traiter aisément toute sorte de problèmes du plus simple au plus ardu.

Le premier niveau d'action est sans aucun doute de faire connaître et de rendre accessible cette approche et c'est dans cet esprit que s'inscrit le travail de M. Chakroun, travail qui crée une passerelle entre TRIZ et l'éco-conception.

Enfin, et pour citer Gwenrich Altshuller, fondateur de la TRIZ *« Si tu cherches une aventure utile à l'Humanité, alors invente ! ».* Que ceci soit une invitation à l'approfondissement de cette discipline et à l'action pour chaque ingénieur, scientifique ou passionné.

Giacomo Bersano

Giacomo Bersano est expert en innovation systématique et TRIZ, avec plus de 20 années d'activité dans le secteur high-tech pour des sociétés leader au niveau mondial. Il a écrit en 2008 le premier livre en italien sur l'innovation systématique « Creare il futuro con l'innovazione sistematica », traduit en français en 2010.

Ce guide est élaboré dans le cadre du projet FUI-ECOMEF[1] (ECOconception d'un outil de MEcanisation pour le bûcheronnage dans les peuplements Feuillus). Il vise à sensibiliser l'ingénieur sur l'innovation systématique. Dans le premier chapitre, le guide introduit les éléments indispensables pour mieux comprendre et mieux appliquer l'innovation systématique. Le chapitre 2 décrit plus précisément la Théorie de Résolution de Problèmes inventifs TRIZ qui considère que la génération d'idées innovantes peut être appliquée systématiquement, en refusant tout compromis et souvent avec une vision nouvelle du problème. Le chapitre 3 pour sa part, définit et contextualise les approches d'éco-conception et d'éco-innovation visant la prise en compte de l'environnement dans la conception innovante des produits.

Je remercie, pour leur soutien et leur participation, les personnes suivantes :

- Badreddine CHAKROUN
- Michel BERDUCAT et Eliane SIMON *(Irstea)*
- Giacomo BERSANO (Active Innovation Management)
- Professeur Grigore GOGU et David GOUBET *(Institut Pascal)*
- Emmanuel CACOT *(FCBA)*

J'aurai le plaisir d'échanger avec vous sur tout ce qui porte sur l'innovation systématique à l'adresse suivante : mahmoud.chakroun@gmail.com

---

[1] Le projet ECOMEF a été retenu à l'appel à projet 10 du FUI (Fonds Unique Interministériel) en 2010. Porté par la société ISI, ce projet associe les partenaires suivants : FCBA, International Paper-CBB, Irstea, IFMA – Institut Pascal, IRB et Lycée Claude Mercier.

Clermont-Communauté, la Région Auvergne, OSEO et le Feder soutiennent financièrement ce projet, labellisé par les pôles de compétitivité ViaMéca et Xylofutur.

Index

1 Comprendre l'innovation 8

1.1 Qu'est ce qu'un problème ? 8

1.2 Types de problèmes 9

1.3 Moyens existants pour identifier les problèmes 9

1.4 L'innovation – c'est quoi ? 10

1.5 Les trois principales catégories de l'innovation 11

1.6 Outils d'aide à l'innovation 12

2 Théorie de résolution des problèmes inventifs 15

2.1 Les concepts de TRIZ 17

2.1.1 Le concept d'idéalité 17

2.1.2 Le concept de contradiction 19

2.1.3 Les ressources 20

2.2 Les outils de TRIZ 22

2.2.1 Les effets scientifiques 22

2.2.2 Les principes d'innovation et la matrice de résolution des contradictions techniques 24

2.2.3 Les principes de séparation 31

2.2.4 Les lois d'évolution des systèmes techniques 35

2.2.5 Analyse Substance-Champ et les 76 solutions standards ... 38

2.2.6 Algorithme de Résolution des Problèmes Inventifs ARIZ ... 43

3 L'environnement dans l'innovation 45

3.1 Développement Durable 45

3.2 L'éco-conception 46

3.2.1 Définition 46

3.2.2 Concepts 46

3.2.3 Evaluation de l'impact environnemental du produit 47

3.2.4 Les trois postures de l'entreprise face aux problèmes environnementaux 49

3.3 L'éco-innovation 50
3.3.1 Définition 50
3.3.2 Composantes de l'éco-innovation 50
3.3.3 Quelques pistes pour éco-innover 52
3.4 Intégrer l'environnement dans une démarche d'innovation 55
Conclusion 56
Annexes 58
Annexe 1 : Outils d'aide à l'innovation 59
Annexe 2 : Principes d'innovation 71
Annexe 3 : Exemple d'application informatique de travail collaboratif autour de la méthode TRIZ 77
Bibliographie 82

1 Comprendre l'innovation

« Innover » implique l'élaboration de réponses adaptées aux questions soulevées et de faire face avec satisfaction à une situation représentant un défi, une opportunité, ou une difficulté. Autrement dit, c'est résoudre le problème réel et trouver des pistes de solution. Mais en fait, qu'est ce qu'un problème ? Quels sont les types de problèmes rencontrés par l'ingénieur ? Par quels moyens les identifier ? L'innovation, c'est quoi ?...

1.1 Qu'est ce qu'un problème ?

Le dictionnaire en ligne Larousse.fr[2] donne les définitions suivantes pour le terme « problème » :

- point sur lequel on s'interroge, question qui prête à discussion, qui fait l'objet d'argumentations, de théories diverses, en particulier dans le domaine de la connaissance ;
- question à résoudre par un raisonnement scientifique et constituant un exercice ;
- question à résoudre dans un domaine quelconque, qui se présente avec un certain nombre de difficultés, d'obstacles ;
- difficulté mettant dans une situation pénible, contraignante, contrariante.

Ces quatre définitions ont en commun la notion de questionnement et de difficulté qu'il faut résoudre, soit le résultat est connu, soit il ne l'est pas.

D'une façon générale, un problème est défini comme la différence entre la situation existante et la situation idéale qui est l'objectif à atteindre. Cette différence peut être décrite par une insatisfaction qui empêche une personne, une entreprise d'aboutir à une solution finale idéale.

[2] http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais-monolingue

1.2 Types de problèmes

On distingue deux types de problèmes qui se différencient selon les circonstances qui priment :

- les problèmes de maintenance : ils jaillissent de façon imprévue sur des processus qui fonctionnaient jusque-là parfaitement. Il faut en rechercher les causes, les éliminer puis rétablir l'état du processus ;
- les problèmes d'amélioration : ils nécessitent une prise de mesures spécifiques afin de faire cesser un état non satisfaisant et évoluer vers une situation meilleure. Ces actions consistent à analyser et faire la synthèse des modes de raisonnement utilisés jusque-là, à générer des concepts nouveaux et à tout mettre en œuvre pour réaliser de réelles améliorations.

1.3 Moyens existants pour identifier les problèmes

Quels que soient leurs types, les problèmes sont omniprésents et peuvent surgir inévitablement à tout moment. Cependant des moyens existent pour les identifier. Ces moyens peuvent porter principalement sur :

- la surveillance des points-clés ou caractéristiques de contrôle ; ces points sont essentiels car ils représentent les critères à partir desquels un processus est considéré « bon » ou « mauvais ». La détection des problèmes est possible dès lors que ces critères ne sont plus dans les limites de contrôle ou sont inférieurs aux valeurs qui leur ont été assignées ;
- l'étalonnage (*benchmarking*) ; de nouveaux problèmes peuvent être découverts en comparant de façon dynamique la performance de ses propres produits, services, processus ou activités avec la performance correspondante d'autres entités (concurrentes ou non, du même groupe ou non), reconnues comme étant parmi les meilleures. Il s'agit d'une démarche d'évaluation de biens, de services ou de pratiques d'une organisation par comparaison avec les modèles qui sont reconnus comme des normes de référence ;
- les écarts entre les objectifs fixés à moyen et long termes et les résultats obtenus ; ces écarts laissent apercevoir des problèmes à résoudre. Souvent, le simple examen des conditions existantes et de l'action à mener afin d'atteindre les objectifs fixés, doit suffire à déceler les problèmes à résoudre.

La détection de problèmes peut être entreprise avec des informations et des données recueillies :

- à partir d'enquêtes auprès des clients ;
- sur des sites spécifiques (laboratoires, bancs d'essai, sites de production,…) ;
- à partir de sources publiées (comptes-rendus, brevets, études,…).

1.4 L'innovation – c'est quoi ?

Il existe de nombreuses définitions du terme innovation. En voici quelques unes :

- « le processus qui conduit de l'invention à sa diffusion ».
- « la première application commerciale ou la production d'un nouveau produit ou processus ».
- « la mise en œuvre d'un produit (bien ou service) ou d'un procédé nouveau ou sensiblement amélioré, d'une nouvelle méthode de commercialisation ou d'une nouvelle méthode organisationnelle dans les pratiques de l'entreprise, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures ».

Toutes ces définitions mettent en évidence la dimension économique et la nécessaire approbation de la nouveauté par le marché et l'usage final. Cette diversité des définitions s'explique par le fait que le mot **innovation** désigne à la fois un **processus** et **son résultat**.

1.5 Les trois principales catégories de l'innovation

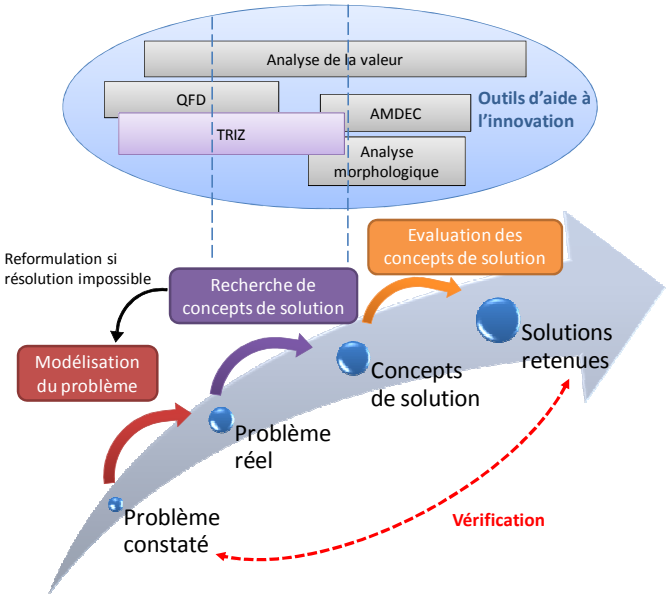
Catégories	Description	Exemples
L'innovation incrémentale	Elle inclue les éléments de base de l'innovation : la modification, la simplification, la consolidation et l'amélioration des produits, des processus, des services et des activités de production et de distribution existants.	- Les différentes versions d'un produit (caméscope, console de jeux,…) - La plupart des voitures avec des améliorations mineures en termes de confort et de sécurité.
L'innovation radicale	Elle implique l'introduction de nouveaux produits ou services qui se développent dans de nouvelles entreprises ou qui produisent des changements importants dans toute l'industrie et tentent de transformer les marchés actuels ou en créer de nouveaux.	- Remplacement du coton par le Nylon ou le polyéthylène - Passage de la casette VHS au DVD - Flash disque - Ecran LCD
La révolution technologique	L'acte de faire quelque chose différent des pratiques existantes. Elle résulte de la conjonction de plusieurs innovations radicales et définit la naissance de nouveaux produits et services et de nouvelles industries.	- L'introduction du moteur électrique - Internet - L'usage des nanostructures

La majorité des innovations entrent dans la catégorie de l'innovation incrémentale, et leur importance ne doit être minimisée en aucune façon.

1.6 Outils d'aide à l'innovation

Souvent les concepteurs n'ont pas les ressources et les capacités pour générer les idées créatives dont ils ont besoin. Afin de les aider à élaborer des solutions répondant à divers besoins d'amélioration, **l'utilisation des méthodes d'aide à l'innovation s'avère indispensable** (une liste non exhaustive est présentée dans le tableau suivant et détaillée davantage en annexe 1).

Ces méthodes trouvent toute leur place dans le processus de résolution de problèmes. Il commence lorsqu'un problème est identifié et se termine par un aboutissement à une idée ou à une solution. Les problèmes traités peuvent être de différentes natures comme le dimensionnement d'une structure pour une application spécifique, une panne dans un système de production, plusieurs effets néfastes dans un système technique, etc.



Processus de résolution de problèmes et outils associés aux différentes phases[3] (adapté de la thèse de Thiebaud)

[3] Les traits pointillés représentent une séparation, qui n'est pas tout à fait véritable, entre les différentes phases du processus de résolution de problèmes. En réalité, la transition d'une phase à une autre est fluide et itérative.

Ce processus met en œuvre trois phases :

- Phase de modélisation du problème – passage du problème au modèle de problème. Cette phase consiste à élaborer une description rigoureuse des spécifications du problème et tend à considérer le problème constaté (problème détecté au départ) et à ne retenir que le problème réel (cause majeure du problème constaté).
- Phase de recherche de concepts de solution – passage du modèle de problème au modèle de solution. Cette phase vise à générer des concepts de solution en utilisant des outils systématiques d'aide à l'innovation.
- Phase d'évaluation des concepts de solution – passage du modèle de solution à la solution. Cette phase a pour objectif d'identifier la ou les solution (s) prometteuse (s). Les concepts de solution doivent être évalués selon les potentiels de l'entreprise, du marché et de la technologie.

Outils d'aide à l'innovation

Aspects / Méthodes	Description	Sources des idées
Analyse de la valeur	Méthode normative permettant de développer un produit ou un procédé en optimisant à la fois ses fonctionnalités et son coût.	Une équipe de travail
Quality Function Deployment (QFD)	Méthode visant à traduire les besoins du client sous forme de spécifications de la future activité (la définition du produit, la demande fonctionnelle, la définition des processus et l'organisation de la production).	Une équipe de travail
Analyse des Modes de Défaillance, de leur Effet et de leur Criticité (AMDEC)	Méthode structurée qui sert à évaluer les défaillances possibles d'un produit et définir les actions à entreprendre pour éliminer ces défaillances, réduire leurs effets et pour en empêcher ou en détecter les causes.	Une équipe de travail
Analyse morphologique	Démarche visant à explorer de manière systématique les futurs possibles à partir de l'étude de toutes les combinaisons issues de la décomposition d'un système.	Individuelle ou dans une équipe de travail
TRIZ	Méthode systématique pour aider l'ingénieur dans la génération de nouveaux concepts inventifs.	Généralement individuelle

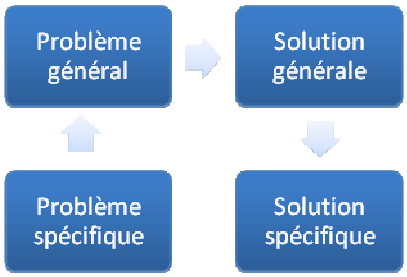
Dans la partie suivante, la méthode TRIZ est détaillée. Cette méthode est considérée comme particulièrement intéressante dans le domaine de l'innovation.

2 Théorie de résolution des problèmes inventifs

La théorie de résolution des problèmes inventifs, dont l'acronyme russe est TRIZ, est une approche d'innovation systématique développée par Genrich Altshuller en 1946. Altshuller a cherché les fondements d'une telle théorie dans quatre sources principales : l'analyse de brevets, la compréhension psychologique des inventeurs, l'analyse de la littérature scientifique et enfin l'analyse des méthodes de résolution d'un problème.

TRIZ constitue une approche structurée qui remplace l'incertitude du processus « essai-erreur » dans la résolution des problèmes techniques complexes.

La méthode TRIZ consiste à décrire le problème spécifique, le généraliser, définir la solution générale, puis l'appliquer au problème spécifique. Pour généraliser un problème, un passage par l'abstraction est nécessaire : elle consiste à transformer le problème initial spécifique en un modèle standard de problème ; TRIZ ne considère pas des systèmes techniques et des procédés réels, mais leurs modèles. À ce modèle de problème, la théorie TRIZ fait correspondre un ou plusieurs modèles de solutions. Les modèles de solutions seront alors interprétés par l'équipe de développement sous forme de réalités technologiques, et évalués pour aboutir à la solution spécifique qui optimise les ressources disponibles (faisabilité technologique). TRIZ incite à résoudre un problème sans ajouter de complexité au système. En inventant une solution, on réduit les obstacles pour qu'un système atteigne son état idéal. Le système idéal doit être plus fiable, simple, et efficace.



Principe de résolution de problèmes selon TRIZ

En fonction de la nature des connaissances à mobiliser et du nombre approximatif d'essais à envisager, Altshuller a classé les inventions en cinq catégories, de la solution apparente jusqu'à l'invention basée sur des découvertes récentes. Le tableau des degrés d'inventivité montre que l'essentiel des innovations concerne des progrès modestes. Selon ce classement, les problèmes appartenant au niveau 1 ne requièrent pas le déploiement d'une méthodologie rigoureuse pour leur résolution. La résolution de ceux-ci est possible à partir des connaissances d'un individu. Les nouveaux concepts ou les découvertes, qui permettront des innovations radicales, nécessitent que l'entreprise sorte de son domaine de compétence. Les innovations des niveaux 1 à 3 pourraient être tirées de la connaissance déjà présente dans l'entreprise, l'industrie ou dans une autre industrie. TRIZ exploite ce phénomène de transfert, elle permet de résoudre les problèmes de niveaux 2, 3 voire 4. La résolution de ces problèmes dans TRIZ (passage de modèle de problème au modèle de solution), est basée sur la concaténation de ses concepts de base et ses outils.

Les cinq niveaux d'inventivité (d'après Altshuller, G.)

Niveau	Degré d'inventivité	% de solutions	Origine des connaissances	Nombre approximatif d'essais à envisager
1	Solution apparente	32	Connaissances d'un individu	10
2	Amélioration mineure	45	Connaissances de l'entreprise	100
3	Amélioration majeure	18	Connaissances de l'industrie	1.000
4	Nouveau concept	4	Connaissances toutes industries confondues	100.000
5	Découverte	<1	Au-delà des savoirs existants	1.000.000

<u>Remarque :</u> à partir des années 1980, de nouvelles méthodes dérivées de la méthode TRIZ, ont été construites. Selon leurs créateurs, ces méthodes sont plus simples et plus complètes :

- *Advanced Systematic Inventive Thinking (ASIT)*
- *Unified Structured Inventive Thinking (USIT)*
- *General Theory of Innovation (GTI)*

2.1 Les concepts de TRIZ

TRIZ comporte trois concepts fondamentaux : l'**idéalité**, la **contradiction** et les **ressources**.

2.1.1 Le concept d'idéalité

La notion d'idéalité est un concept simple. Il postule que les systèmes évoluent vers un état d'augmentation de l'idéalité au cours du temps. Il postule aussi qu'un système, n'importe lequel, n'est pas un but en soi. Le seul but réel de tout système est la fonction utile qu'il fournit. Poussé à son extrême, le système le plus idéal est donc celui qui n'existe pas, mais néanmoins accomplit sa fonction utile.

L'idéalité est définie comme la somme des fonctions utiles FU divisée par la somme des fonctions néfastes FN.

$$D = \frac{\sum FU}{\sum FN + \sum FC}$$

où : ***D*** (taux d'idéalité) ;
Σ FU (somme de toutes les fonctions utiles du système) ;
Σ FN (somme de toutes les fonctions nuisibles causées par le système) ;
Σ FC (somme de tous les coûts générés par le système).

Les fonctions utiles incluent toutes les fonctions et tous les attributs souhaités du système. D'un point de vue technique, c'est ce qu'on appelle le but de la conception. Les fonctions néfastes comprennent les dépenses associées au système, l'espace qu'il occupe, les ressources qu'il consomme, le coût de fabrication, le coût de transport, le coût de maintenance, etc.

On arrive à un état appelé Résultat Idéal Final lorsque la sortie d'un système se compose uniquement de fonctions utiles avec l'absence complète de toute conséquence dommageable. Le Résultat Idéal Final est un concept psychologique qui permet de trouver une alternative simple de la solution face à un problème complexe. La plupart du temps, le résultat est chimérique mais il offre un moyen de réflexion qui peut mettre en évidence des solutions jusqu'ici inexplorées.

L’idéalité permet de :

- créer un état d’esprit pour trouver une solution sans compromis
- définir tous les obstacles technologiques à surmonter afin d’inventer la meilleure solution possible ;
- forcer l’inventeur à trouver d'autres moyens ou d’autres ressources pour assurer la fonction utile souhaitée.

2.1.2 Le concept de contradiction

Le second concept de base réside dans le fait que tout système technique comporte une contradiction souvent cachée. Un problème inventif est alors celui qui contient une ou plusieurs contradictions. Généralement, quand on est confronté à un ensemble d'exigences contradictoires, l'issue facile est de trouver une solution avec un certain compromis. Ce type de solution, bien qu'il puisse être convenable, n'est pas une solution inventive. Dans TRIZ, deux types distincts de contradictions sont définis, les contradictions techniques et les contradictions physiques.

Contradiction technique

Une contradiction technique provient du fait que l'amélioration d'une caractéristique utile dans un système, provoque la dégradation d'une autre caractéristique, elle aussi utile. Une contradiction technique peut concerner soit une partie du système soit l'intégralité.

Exemples :

- Les voitures roulent de plus en plus vite (bien) mais cela augmente le risque d'accident (mauvais).
- Un emballage épais est plus résistant (bien), mais son coût est plus élevé (mauvais).
- Le café chaud est agréable à boire (bien), mais peut brûler le consommateur (mauvais).

Contradiction physique

Une contradiction physique met en évidence deux propriétés antagonistes dans un système, comme fort et faible. Une partie du système technique doit posséder la propriété A pour accomplir une action et la propriété inverse anti-A pour exécuter une autre action. Elle oppose directement deux requêtes ou deux états pour un même paramètre du système.

Exemples :

- Les voitures doivent être rapides pour diminuer le temps de trajet et doivent être lentes pour une meilleure sécurité des passagers.
- L'emballage doit être épais pour augmenter sa résistance et fin pour diminuer son coût.
- Le café doit être chaud pour une sensation agréable lorsque le consommateur le boit et doit être froid pour éviter de le brûler.

2.1.3 Les ressources

Le troisième concept fondamental de TRIZ est l'utilisation maximale des ressources disponibles avant d'introduire un nouveau composant ou une complication dans le système. Le mot *ressource* possède un sens un peu différent du sens commun. Les ressources sont définies comme toute substance, espace, ou énergie qui sont présents dans le système, ses environs, ou dans son environnement.

L'identification et l'utilisation des ressources peuvent

- apporter de nouvelles idées ;
- résoudre les contradictions ;
- guider l'évolution d'un produit, d'un procédé ou d'une technologie ;
- augmenter l'efficacité de fonctionnement d'un système, améliorant ainsi son idéalité.

Pour résoudre un problème, il est intéressent de commencer par rassembler toutes les ressources disponibles dans le système ou son environnement. Ce n'est que lorsque toutes les ressources ont été épuisées ou s'avérent impossible à utiliser, que la prise en compte d'éléments de conception additionnels entre en jeu.

La liste suivante représente les plus importantes ressources définies dans la méthode TRIZ :

Substances – tous les éléments et matières composant le système et son environnement.

Champs énergétiques – tous les champs ou flux d'énergie qui existent ou qui sont produits par le système et son environnement.

Espace – tous les espaces utilisables appartenant au système et à son environnement.

Temps – tous les intervalles de temps partiellement ou entièrement inutilisés avant, après ou entre les cycles d'un processus technologique.

Information – toutes les informations existantes ou pouvant être produites dans le système et son environnement.

Ressources fonctionnelles – Toutes les fonctions auxiliaires pouvant être accomplies par le système et son environnement.

<u>Remarque :</u> Pour éliminer un effet néfaste ou réaliser une fonction, il est possible de considérer le changement de l'état des ressources disponibles grâce à certaines transformations (changement de phase, déchets transformés, traitement thermique, etc.).

2.2 Les outils de TRIZ

En utilisant la méthode TRIZ, il est possible de générer des concepts pour réduire les effets néfastes et améliorer les performances des systèmes existants. TRIZ comprend des outils qui sont utilisés, d'une part, pour structurer le problème inventif et d'autre part pour indiquer les directions de recherche d'idées et aider à trouver des concepts de solution, quelle que soit la nature de la technologie étudiée.

2.2.1 Les effets scientifiques

Un effet représente une relation cause-conséquence (ou entrée-sortie). Dans le contexte de TRIZ, un effet est défini comme une réponse spécifique et automatique d'une substance ou d'un champ à une action régie par les lois de la nature et les propriétés particulières des matériaux.

Un **effet** peut être considéré comme un transducteur pour transformer une action en une autre ou un champ en un autre en appliquant les lois de la science y compris la physique, les mathématiques, la chimie, la biologie et la géométrie. La fonction de sortie d'un effet doit être prise en considération dans le développement du système pour le simplifier et pour ne pas entraver son fonctionnement.

Pour assister à la mise en œuvre de ces effets, une base de données d'effets scientifiques est proposée dans TRIZ. Cette base de données est construite sur un principe fonctionnel : elle contient une liste des fonctions couramment rencontrées dans la pratique, et une liste correspondante d'effets qui peuvent être employés pour réaliser ces fonctions. Aujourd'hui, les bases de connaissance des outils d'innovation commercialisés présentent des milliers d'effets scientifiques.

Un accès gratuit à la base de connaissance de recherche de solutions est disponible à partir du lien suivant :

http://www.knowllence.com/html-fr/creax2.html

Exemples d'effets scientifiques

Action souhaitée	Effets physiques
Localiser un objet	– Introduction des substances repères qui sont capables de transformer un champ existant (par exemple luminophore) ou générer leur propre champ (par exemple matériaux ferromagnétiques) et ainsi sont faciles à détecter – Réflexion et émission de lumière – Effet-photo – Déformation – Radiation radioactive et rayon-X – Luminescence – Changements dans le champ électrique ou magnétique – Décharge électrique – Effet Doppler
Déplacer un objet	– Application d'un champ magnétique afin d'influencer un objet ou un aimant attaché à l'objet – Application d'un champ magnétique pour influencer un conducteur avec un flux de courant électrique qui le traverse – Application d'un champ électrique pour influencer un objet électriquement chargé – Transfert de pression dans un liquide ou un gaz – Oscillations mécaniques – Force centrifuge – Expansion thermique – Pression de la lumière
Déplacer un liquide ou un gaz	– Force capillaire – Osmose – Effet de Thomson – Ondulation – Effet de Bernoulli – Effet de Weissenberg

2.2.2 Les principes d'innovation et la matrice de résolution des contradictions techniques

L'objectif de la matrice des contradictions est de mener le processus de résolution de problèmes en intégrant une idée qui a été utilisée auparavant pour résoudre un problème « inventif » analogue. Ceci est réalisé en posant deux questions simples : « Quel élément du système est dans le besoin d'être amélioré ? » et « S'il est amélioré, quel élément du système se trouve détérioré ? ». C'est ainsi qu'une contradiction technique a été définie.

Extrait de la matrice de résolution des contradictions techniques

Paramètres à ne pas dégrader / Paramètres à améliorer		1	2	…	36	…	39
		Masse d'un objet mobile	Masse d'un objet fixe		Complexité de l'appareil		Productivité
7	Volume d'un objet mobile	2, 26, 29, 40	-		26, 1		10, 6, 2, 34
⋮							
12	Forme	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3		16, 29, 1, 28		17, 26, 34, 10
⋮							
39	Productivité	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3,		12, 17, 28, 24		-

La matrice est construite par la juxtaposition des 39 paramètres techniques le long des axes vertical et horizontal. Les intersections sont complétées par une à quatre valeurs numériques indiquant les principes d'innovation pour résoudre la contradiction. La matrice complète des contradictions est disponible à partir du lien suivant : http://www.triz40.com/aff_Matrice.htm

Le tableau suivant présente les 39 paramètres techniques définis dans la méthode TRIZ.

Les 39 paramètres techniques définis dans la méthode TRIZ

N.	Paramètre (caractéristique)	N.	Paramètre (caractéristique)
1	Masse / poids d'un objet mobile	2	Masse / poids d'un objet fixe
3	Longueur d'un objet mobile	4	Longueur d'un objet fixe
5	Surface d'un objet mobile	6	Surface d'un objet fixe
7	Volume d'un objet mobile	8	Volume d'un objet fixe
9	Vitesse	10	Force
11	Contrainte ou pression	12	Forme
13	Stabilité de la composition d'un objet	14	Résistance
15	Durée de l'action d'un objet mobile	16	Durée de l'action d'un objet fixe
17	Température	18	Brillance
19	Utilisation d'énergie d'un objet mobile	20	Utilisation d'énergie d'un objet fixe
21	Puissance	22	Perte d'énergie
23	Perte de substance	24	Perte d'information
25	Perte de temps	26	Quantité de substance
27	Fiabilité	28	Précision de la mesure
29	Précision de l'usinage	30	Facteurs néfastes agissant sur l'objet
31	Facteurs néfastes générés par l'objet	32	Usinabilité
33	Facilité d'utilisation	34	Facilité de réparation
35	Adaptabilité	36	Complexité de l'appareil
37	Difficultés de détection et de mesure	38	Degré d'automatisation
39	Productivité		

Les principes d'innovation possèdent un sens large et non spécifique sur la façon exacte dont ils devraient être appliqués. Il est possible d'utiliser un ou plusieurs principes ensemble dans la résolution des problèmes ou l'amélioration des systèmes. Dans la plupart des solutions, plus d'un principe est utilisé. Lorsqu'un principe intéressant est trouvé, il est utile de chercher d'autres principes qui peuvent améliorer l'idée. Souvent, un principe donnera un concept pour une solution, mais plusieurs pourraient être

nécessaires pour arriver à une solution pratique et fonctionnelle. Une description détaillée de chaque principe est donnée dans l'annexe 2.

Les 40 principes d'innovation

N.	Principe	N.	Principe
1	Segmentation	2	Extraction
3	Qualité locale	4	Asymétrie
5	Combinaison	6	Universalité
7	Placement intérieur « poupées russes »	8	Contrepoids
9	Action inverse préliminaire	10	Action préliminaire
11	Compensation ou protection préliminaire	12	Equipotentialité
13	Inversion	14	Sphéricité
15	Mobilité	16	Action partielle ou excessive
17	Changement de dimension	18	Vibration mécanique
19	Action périodique	20	Continuité d'une action utile
21	Grande vitesse	22	Application bénéfique d'un effet néfaste
23	Asservissement	24	Intermédiaire
25	Self-service	26	Copie
27	Ephémère et bon marché	28	Remplacer les systèmes mécaniques
29	Systèmes pneumatiques et hydrauliques	30	Membrane flexible et film mince
31	Matériau poreux	32	Changement de couleur
33	Homogénéité	34	Eliminer récupérer
35	Changement de paramètre	36	Changement de phase
37	Dilatation thermique	38	Oxydants puissants
39	Environnement inerte	40	Matériaux composites

Le processus d'utilisation de la matrice de résolution des contradictions techniques s'effectue comme suit :

1. Décrire le problème.
2. Formuler la contradiction – Exprimer le problème identifié sous forme d'une contradiction entre la caractéristique à améliorer et la caractéristique qui s'en trouve détériorée.
3. Choisir, respectivement sur l'axe vertical (ligne) et l'axe horizontal (colonne) de la matrice des contradictions, les paramètres techniques les plus proches aux caractéristiques à améliorer et à préserver.
4. Noter le(s) principe(s) d'innovation à l'intersection.
5. Appliquer le(s) principe(s) d'innovation. Il est possible que certains principes recommandés ne soient pas utiles, comme il est possible que certains principes qui ne sont pas recommandés permettent de trouver de bonnes idées ; les numéros dans les cellules sont basés sur des statistiques historiques et non pas sur une connaissance précise du problème spécifique à résoudre.

Exemple : abattage des arbres dans une cépée

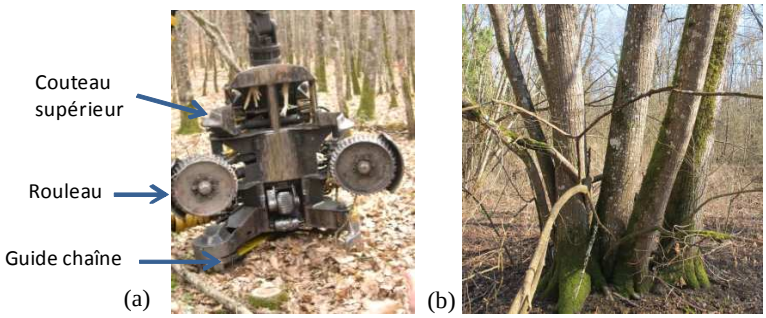
Tiré du projet ECOMEF

1. *Description du problème*

Le bûcheronnage mécanisé utilise des systèmes appelés têtes d'abattage-façonnage. Elles sont montées sur des engins porte-outil afin de réaliser l'abattage des arbres puis leur façonnage comprenant l'ébranchage et le billonnage.

Une tête d'abattage comporte principalement : deux couteaux mobiles pour ébrancher, deux rouleaux pour faire défiler le tronc dans la tête et un guide chaîne pour billonner.

Lors de l'exploitation des peuplements feuillus, l'encombrement des rouleaux entrave la saisie des arbres dans les cépées.



(a) Tête d'abattage ; (b) Cépée

2. *Formalisation de la contradiction*

<u>Problème spécifique</u> : la diminution de l'encombrement des rouleaux permet une meilleure appréhension des arbres dans les cépées, mais cela entraîne une diminution de la vitesse de défilement du tronc et de l'effort de coupe nécessaires à l'ébranchage.

<u>Problème général</u> : on souhaite diminuer le diamètre des rouleaux sans diminuer la vitesse et l'effort nécessaires à l'ébranchage. Ce problème général peut être formalisé par deux contradictions techniques :

- Contradiction technique 1 entre l'entité standard n°3- longueur d'un objet mobile (la caractéristique à améliorer) et l'entité standard n° 9- vitesse (la caractéristique détériorée).
- Contradiction technique 2 entre l'entité standard n°3- longueur d'un objet mobile (la caractéristique à améliorer) et l'entité standard n° 10- force (la caractéristique détériorée).

3. *Application de la matrice de résolution des contradictions*

Paramètres à ne pas dégrader / Paramètres à améliorer		3	…	9	10
		Longueur d'un objet mobile		Vitesse	Force
3	Longueur d'un objet mobile			13, 4, 8	17, 10, 4
…					
9	Vitesse	13, 4, 8			13, 28, 15, 19
10	Force	17, 19, 9, 36		13, 28, 15, 12	

Solution générale :

Pour éliminer la contradiction 1 « diminuer l'encombrement sans diminuer la vitesse de défilement », la matrice des contradictions indique, à l'intersection de la ligne 3 et la colonne 9, l'utilisation d'un des principes d'innovation suivants : inversion (13), asymétrie (4), contrepoids (8).

Pour éliminer la contradiction 2 « diminuer l'encombrement sans diminuer l'effort de coupe », la matrice des contradictions indique, à l'intersection de la ligne 3 et la colonne 10, l'utilisation d'un des principes d'innovation suivants : changement de dimension (17), action préliminaire (10), asymétrie (4).

4. *Notation du principe d'innovation (voir annexe 2)*

Prise en compte du principe (13) – Inversion :

a) Inverser l'action utilisée pour résoudre le problème (par exemple, au lieu de refroidir un objet, le réchauffer)
b) Rendre les pièces mobiles fixes et inversement.
c) Retourner l'objet (ou le procédé)

Prise en compte du principe (17) – Changement de dimension

a) Déplacer un objet dans un espace bidimensionnel ou Tridimensionnel
b) Utiliser un assemblage multicouche d'objets plutôt qu'un assemblage monocouche
c) Incliner ou réorienter l'objet, le poser de côté
d) Utiliser l'autre face d'une surface donnée

5. *Application du principe d'innovation*

1er concept : le principe d'inversion est utilisé. L'ébranchage est réalisé verticalement.

2ème concept : le principe de changement de dimension est utilisé. La taille des rouleaux peut être modifiée.

Remarque : Il ne faut pas attendre de TRIZ des solutions toutes faites. La méthode permet de trouver des solutions générales (solutions ayant déjà fait leurs preuves) à des modèles de problème correctement formalisés. Le passage de la solution générale à la solution spécifique repose sur l'expérience, les compétences et l'effort de créativité de l'ingénieur qui utilise la méthode.

2.2.3 Les principes de séparation

Les contradictions physiques soulignent le fait que deux conditions opposées doivent être satisfaites. Altshuller a développé onze méthodes de résolution des contradictions physiques :

- Séparation des propriétés contradictoires dans l'espace.
- Séparation des propriétés contradictoires dans le temps.
- Combinaison de plusieurs systèmes : super système.
- Combinaison d'un système et de son opposé : anti-système.
- Séparation entre un système et ses sous-systèmes (le système a la propriété A alors que les sous-systèmes ont la propriété non A).
- Transition vers le micro niveau (changement d'échelle par l'utilisation de substances à un état physique plus "dissocié" : poudre, liquide, gaz, etc.).
- Changement de phase d'une partie du système, ou de son environnement.
- Changement de phase "dynamique" dépendant des conditions de travail (changement de phase dans le temps).
- Utilisation des phénomènes accompagnant la transition de phase.
- Remplacement d'une substance monophasée par une substance bi ou polyphasée.
- La création et/ou l'élimination de substances par combinaison ou décomposition physico-chimique (les propriétés moléculaires d'une substance sont mises en œuvre pour décomposer, recombiner, ioniser, etc. d'autres substances).

Cette première classification pouvait se réduire à seulement quatre classes principales :

La séparation dans l'espace : résoudre le problème par la séparation locale de composants ou la fragmentation d'un composant en composants plus simples, qui en somme donnent le même résultat.

Il est possible d'utiliser les principes d'innovation suivants :

N.	Principe	N.	Principe
1	Segmentation	2	Extraction
3	Qualité locale	4	Asymétrie
7	Placement intérieur « poupées russes »	17	Changement de dimension
24	Intermédiaire	26	Copie

La séparation dans le temps : le fonctionnement d'un système est segmenté par rapport au temps, afin que les exigences, les fonctions ou les conditions contradictoires soient planifiées à des moments différents, à savoir: un processus est subdivisé en plusieurs sous-processus consécutifs ; un processus qui, cependant, n'a aucune influence sur la fonction désirée.

Il est possible d'utiliser les principes d'innovation suivants :

N.	Principe	N.	Principe
9	Action inverse préliminaire	10	Action préliminaire
11	Compensation ou protection préliminaire	15	Mobilité
16	Action partielle ou excessive	18	Vibration mécanique
19	Action périodique	20	Continuité d'une action utile
21	Grande vitesse		

La séparation sur les conditions : les exigences contradictoires sont séparées par rapport aux conditions sous lesquelles un processus utile et un autre nuisible ont lieu simultanément. Le système ou l'environnement doivent être modifiés de telle façon que seul le processus utile est réalisé.

Il est possible d'utiliser les principes d'innovation suivants :

N.	Principe	N.	Principe
13	Inversion	28	Remplacer les éléments mécaniques
32	Changement de couleur	35	Changement de paramètres
36	Transition de phases	38	Oxydants puissants
39	Atmosphère inerte		

La séparation entre le système et ses composants : si un système doit remplir des fonctions contradictoires ou s'il doit travailler dans des conditions contradictoires, le système est subdivisé en sous-systèmes et l'une des fonctions contradictoires peut être effectuée par un autre sous-système.

Il est possible d'utiliser les principes d'innovation suivants :

N.	Principe	N.	Principe
1	Segmentation	27	Ephémère et bon marché

Exemple : abattage des arbres dans une cépée

Tiré du projet ECOMEF

Lors de l'exploitation des peuplements feuillus, les rouleaux viennent taper contre les autres arbres de la cépée gênant la saisie de l'arbre en question.

- *Formalisation de la contradiction :*

Les **rouleaux** doivent être *absents* pour que la tête d'abattage puisse appréhender un arbre dans une cépée et doivent être *présents* pour faire défiler le tronc dans la tête.

- *Application du principe de séparation dans le temps :*

T1 : quand la tête s'apprête à saisir l'arbre, les rouleaux sont absents.

T2 : quand le tronc est dans la tête, les rouleaux sont présents pour faire défiler le tronc.

- *Concepts :*

Le principe (10) – action préliminaire est utilisé.

1er concept : Les éléments entraineurs (de grande taille) sont montés sur le châssis. Des éléments plus petits servent à la préhension de la tige.

2ème concept : Les éléments entraineurs ne servent plus à la préhension avant l'abattage mais sont mis en action une fois celui-ci effectué.

2.2.4 Les lois d'évolution des systèmes techniques

La notion de prédire les modèles technologiques futurs a été identifiée comme un moyen pour créer un levier concurrentiel. Dans TRIZ, les tendances d'évolution antérieures offrent une capacité pour comprendre comment les technologies actuelles se transformeront au fil du temps. Ces tendances sont qualifiées de **lois d'évolution**.

Ces lois représentent un modèle stable et reproductible des interactions entre le système et son environnement. Ces tendances se produisent parce que les systèmes sont soumis à différents cycles d'amélioration.

Huit lois d'évolution des systèmes ont été identifiées :

1. Evolution vers l'augmentation de l'idéalité – Les systèmes technologiques évoluent dans le sens de l'augmentation du degré d'idéalité. Cela signifie que dans le processus d'évolution, soit un système exécutant certaines fonctions devient moins complexe, moins coûteux et / ou moins "problématique" ; il devient capable de mieux remplir ses fonctions ; soit il effectue plus de fonctions. Souvent, une combinaison de ces processus d'évolution peut avoir lieu.

2. Evolution en étapes – Quand un nouveau système technologique émerge, il offre généralement le degré minimum de fonctionnalité requis. La façon dont les systèmes évoluent peut être montrée sur les courbes de cycle de vie ou courbes en "S". Ils ont un cycle de vie en quatre phases : naissance, croissance, maturité et déclin.

3. Développement non uniforme des composants d'un système – Le taux d'évolution de différentes parties d'un système n'est pas uniforme ; plus le système est complexe, plus l'évolution de ses parties est non-uniforme. Cette non-uniformité engendre des conflits dans le système dont la résolution nécessite le développement de nouvelles inventions, et donc favorise le processus d'évolution.

4. Evolution vers l'augmentation du dynamisme et de la contrôlabilité – Les systèmes technologiques évoluent dans le sens de structures plus flexibles et multifonctionnelles capables de s'adapter à divers régimes de performance et aux changements des conditions environnantes.

5. Augmentation de la complexité suivie par une simplification – D'abord, le système se développe en devenant de plus en plus

complexe. L'augmentation du nombre de pièces et d'opérations cause des problèmes qui sont résolus lorsque le système est simplifié en essayant d'utiliser un minimum d'éléments.

6. Evolution vers la multiplication des sous-systèmes – Les systèmes technologiques évoluent des mono-systèmes aux bi- ou poly-systèmes. Un mono-système est conçu pour effectuer une fonction. Un poly-système se compose de plusieurs sous-systèmes. Ces sous-systèmes peuvent exécuter des fonctions identiques ou différentes, ou ils peuvent avoir des propriétés physiques identiques ou différentes.

7. Evolution vers le micro-niveau et l'utilisation intensive des champs – Les systèmes technologiques évoluent vers une utilisation croissante de structures micro-niveau. Les différents conflits qui se développent durant le processus d'évolution peuvent être résolus en segmentant ces systèmes en des structures de plus en plus petites.

8. Evolution vers la réduction de l'intervention directe de l'opérateur humain – Dans les premiers stades du développement de nombreux systèmes technologiques, l'opérateur humain est souvent présent. Au cours de l'évolution de ces systèmes, l'opérateur humain est progressivement éliminé, et les fonctions qu'il remplit sont déléguées à des systèmes technologiques.

Les avantages de la compréhension de ces lois :

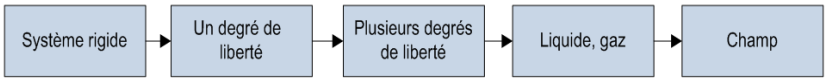
- les dirigeants et les experts, à la fois, peuvent utiliser les lois d'évolution comme outils pour l'évaluation et la sélection d'idées et de solutions aux problèmes ;
- les lois d'évolution aident dans l'identification des problèmes ;
- les lois qui aident à situer les problèmes, aident aussi à les résoudre.

Exemple : épandage des produits compostés

Tiré du projet ECODEFI – https://ecodefi.cemagref.fr/

La trémie d'une machine d'épandage comprend une poutre d'éclatement longitudinale utilisée pour éliminer les problèmes de tassement au chargement. Mais son utilisation contribue à la formation de voûtes lors de l'épandage de certains produits organiques compostés.

Pour résoudre ce problème, la loi 4 « Evolution vers l'augmentation du dynamisme et de la contrôlabilité » est appliquée.

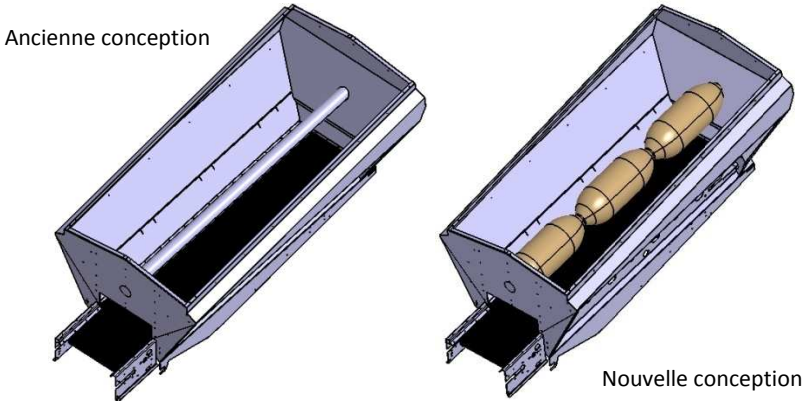


« Stades » d'évolution de la loi « évolution vers l'augmentation du dynamisme et de la contrôlabilité »

A partir de ces enseignements généraux, il est proposé ainsi de rendre la poutre flexible. Une poutre gonflable ou des éléments gonflables à l'air comprimé peuvent être utilisés. Deux cas de figures, avec ce concept, sont possibles :

1er cas : pendant le chargement, la poutre ou les éléments gonflables sont gonflés. Au cours de la vidange, ils se dégonflent pour laisser écrouler la voûte formée.

2ème cas : pendant la vidange, la poutre ou les éléments gonflables se gonflent davantage pour déstabiliser la voûte.

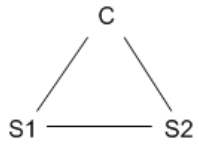


Poutre gonflable

2.2.5 Analyse Substance-Champ et les 76 solutions standards

De nombreux changements dans les systèmes technologiques peuvent être décrits par des modèles Substance-Champ et leurs combinaisons. Le modèle Substance-Champ (aussi appelé vépole) est un modèle minimal, fonctionnel et contrôlable d'un système technique.

Un modèle d'analyse Substance-Champ complet est composé de trois composants : deux substances (S1) et (S2) et un champ (C).



Modèle Substance-Champ

Le terme de substance (S) a été utilisé dans TRIZ pour se rapporter à un objet matériel quelque soit son niveau de complexité. (S) peut être un élément unique ou un système complexe. L'action ou les moyens d'accomplir l'action sont appelés « champs ». Dans TRIZ, le terme de champ (C) a été utilisé dans un sens très large et signifie énergie. Dans un système technique, les principaux champs qui agissent sur les substances sont les suivants : Gravitation (G), Mécanique (M), Pneumatique (P), Hydraulique (H), Acoustique (A), Thermique (T), Chimique (C), Electrique (E), Magnétique (M), Optique (O), Rayonnement (R), Biologiques (B) et Nucléaire (N).

Pour décrire la relation entre les substances et les champs, différentes connexions sont utilisées dans le modèle Substance-Champ.

Symboles de Connexion

Symbole	Description de la connexion
	Connexion (normal)
	Action directe
	Action défaillante
	Action néfaste
	Elimination de la connexion
	Transformation

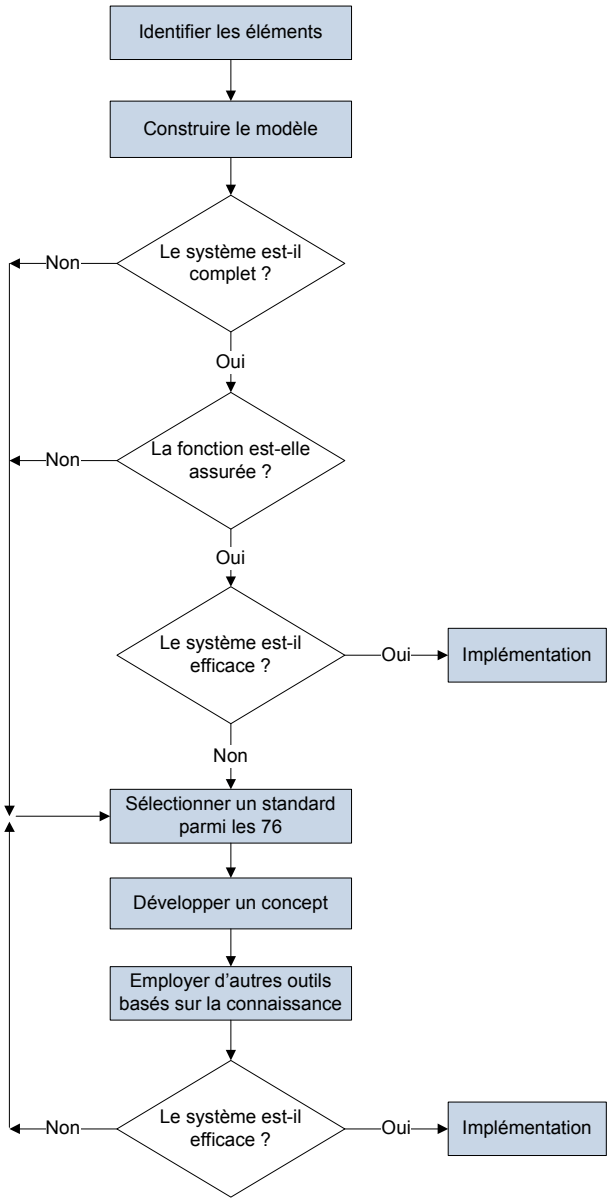
Les 76 solutions standards sont des recommandations de la manière de transformer ou de modifier le système afin d'éliminer le problème. Elles ont été groupées en 5 classes :

1. Construction et destruction du modèle Substance-Champ.
2. Développement du modèle Substance-Champ.
3. Transition vers un super-système et micro-niveau.
4. Standard de mesure et détection.
5. Mise en application des standards.

Chaque classe est subdivisée en plusieurs groupes, une liste des 76 solutions standards est téléchargeable à partir de cette adresse : http://www.trizfrance.org/Local/triz/dir/rubrique%20TELECHARGEMENT/Liste%20des%2076%20standards.pdf

Basé sur le modèle Substance-Champ obtenu, l'ingénieur identifie la classe du problème, puis sélectionne un ensemble de solutions standards pour ce type de problème. Les solutions standards (aussi bien que les principes) ne sont pas liées à des domaines spécifiques de technologie et, par analogie, aident le transfert des solutions efficaces d'une branche de technologie à une autre.

La figure suivante représente un organigramme pour résoudre un problème en utilisant l'analyse Substance-Champ.

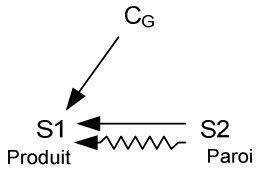


Organigramme de résolution de problèmes utilisant les 76 solutions standards (D'après Terninko, J. et al.)

Exemple : épandage des produits compostés

Tiré du projet ECODEFI – https://ecodefi.cemagref.fr/

Les parois de la trémie tiennent le produit à épandre (action utile). Mais, pour des produits cohésifs tels que le compost et la boue compostée, ces parois forment des surfaces d'appui pour les voûtes qui se forment à l'intérieur de la trémie (action néfaste). Ces voûtes altèrent l'extraction du produit et par conséquent entraînent une diminution du débit de vidange. L'analyse Substance-Champ donne le modèle suivant :



Modèle du Substance-Champ

Avec S1 : produit à épandre

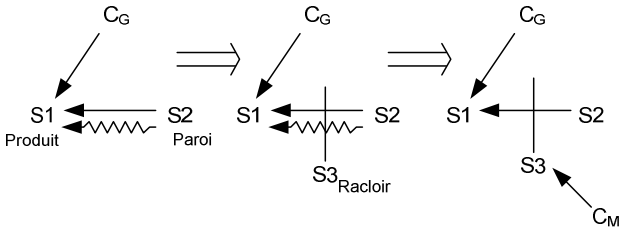
S2 : paroi

C_G : champ gravitationnel

En se basant sur le modèle Substance-Champ obtenu, nous identifions les solutions standards suivantes :

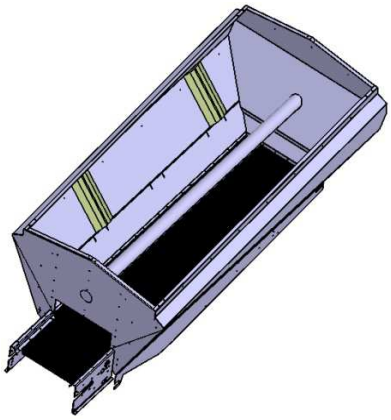
- Standard 1.2.1 : élimination du lien nuisible par l'introduction de S3
- Standard 1.2.2 : élimination du lien nuisible par modification de S1 et/ou S2
- Standard 1.2.4 : résistance aux liens nuisibles à l'aide de C2

La solution standard 1.2.1 est appliquée. S3 pourrait se matérialiser sous forme de racloirs.



Nouveau modèle Substance-Champ

Ces racloirs munis d'un mouvement de va et vient ont pour action de racler et décoller le produit à épandre des parois. Le passage de ces derniers déstabilise les voûtes et empêche celles-ci de se former.



Introduction de racloirs

2.2.6 Algorithme de Résolution des Problèmes Inventifs ARIZ

L'Algorithme de Résolution des Problèmes Inventifs ARIZ (acronyme russe) est considéré comme le principal outil de résolution de problèmes dans TRIZ. Dans son état actuel[4], nous avons une série de formulations logiques soigneusement élaborées qui transforment un problème quelconque en un problème articulé avec un nombre clairement défini de contradictions. De nombreuses étapes dans ARIZ sont des reformulations du problème. A chaque reformulation, le problème est considéré d'un point de vue différent qui donne la possibilité à de nouvelles idées.

ARIZ est un processus logiquement structuré, qui fait évoluer un problème complexe jusqu'à un point où sa résolution est possible. Cependant, l'application d'ARIZ exige plus d'efforts intellectuels et plus de temps que l'utilisation des principes d'innovation ou les solutions standards décrits précédemment.

ARIZ est conçu de façon à utiliser tous les outils et les concepts de TRIZ comme :

- Le concept d'idéalité pour établir la solution idéale du problème.
- L'utilisation maximale des ressources disponibles dans l'environnement entourant le système aux macro et micro-niveaux.
- La base des effets scientifiques.
- L'analyse Substance-Champ et les 76 solutions standards.
- Les 40 principes d'innovation.

Une version d'ARIZ-85 est disponible à partir du lien suivant : http://www.trizfrance.org/Local/triz/dir/rubrique%20TELECHARGEMENT/ARIZ%2085-b%20TRIZ%20France.pdf

Remarque : Il existe plusieurs logiciels dédiés à la méthode TRIZ qui peuvent servir comme un support méthodologique formalisé pour aider l'ingénieur dans sa démarche d'innovation. Toutefois, en aucun cas, il ne faut s'attendre à ce que ces suites logicielles « inventent » à la place de l'ingénieur.

[4] ARIZ a été publié en 1959 et depuis révisé plusieurs fois : ARIZ-61, ARIZ-64, ARIZ-65, ARIZ-71, ARIZ-85 et ARIZ-91. Chaque révision améliore la structure de l'algorithme.

Le tableau suivant présente une liste de logiciels d'aide à la résolution de problèmes basés sur TRIZ.

Logiciels utilisant TRIZ

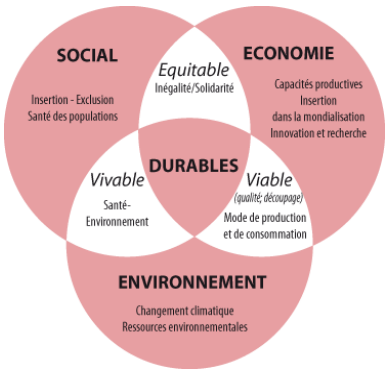
Nom de l'outil	Pays	Site web
Goldfire	Etats-Unis	http://www.invention-machine.com/
Innovation WorkBench	Etats-Unis	http://www.ideationtriz.com/
Trisolver	Allemagne	http://www.trisolver.eu/
Méthode d'aide à l'innovation MAL'IN	France	http://www.trefle.u-bordeaux1.fr/malin/
Creax CreationSuite	Belgique	http://www.creax.com/

3 L'environnement dans l'innovation

Certaines activités humaines non contrôlées dégradent plus au moins intensément le fonctionnement des écosystèmes ou l'état de certains éléments de l'environnement. Ces dégradations ont engendré au sein des populations une prise de conscience grandissante de l'interdépendance entre l'homme et la nature, trop longtemps négligée. Les exigences environnementales sont désormais considérées comme nécessaires par les concepteurs, au même titre que le coût, la performance et les exigences juridiques, culturelles et esthétiques, et ce dès le début de la phase de développement d'un produit.

3.1 Développement Durable

« Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs »[5]. Dans cette définition, il est à souligner que, le développement économique est au service des composantes sociales (répondre aux besoins du présent et à ceux des générations futures), et environnementales. Pour cela, les politiques menées doivent s'inscrire dans une approche globale en prenant en compte de manière équilibrée les « trois dimensions du développement durable » : le social, l'environnement et l'économie.



Les trois piliers du développement durable (source : Ministère de l'écologie et du développement durable et commissariat général du Plan)

[5] Définition proposée en 1987 par la Commission Mondiale sur l'environnement et le développement dans le Rapport Brundtland, et adoptée en 1992 par la Communauté Internationale lors du deuxième sommet de la Terre, à Rio de Janeiro

Un tel engagement implique d'accepter une mutation profonde des fonctionnements actuels, en modifiant les modes de production et de consommation, et en s'engageant en quelque sorte dans une nouvelle révolution industrielle et sociétale basée sur deux concepts nouveaux, l'éco-conception et l'éco-innovation.

3.2 L'éco-conception

3.2.1 Définition

L'**éco-conception** est définie comme « une activité de conception dont l'objectif est de lier ce qui est techniquement possible à ce qui est écologiquement nécessaire afin de proposer des solutions acceptables socialement et culturellement ». Elle est considérée comme une solution durable qui implique de trouver un équilibre parfait entre les exigences écologiques et économiques dans le développement des produits.

C'est une démarche valorisante pour l'image d'une entreprise puisqu'elle permet d'améliorer la qualité écologique du produit conçu (éco-produit) de façon à limiter ses consommations de ressources naturelles telles que l'énergie, les matières non renouvelables et les ressources biologiques (les espèces menacées) et à réduire ses impacts sur l'environnement tout au long de son cycle de vie.

3.2.2 Concepts

Aujourd'hui, certaines entreprises peuvent percevoir l'investissement dans des mesures de lutte contre la pollution comme un fardeau coûteux. Elles estiment que la performance environnementale, seul avantage procuré par la dépollution, pèse sur la rentabilité et la croissance économique.

Dans l'effort pour faire passer la gestion environnementale de la dépollution classique à une approche plus proactive, plusieurs concepts ont été pensés. Le tableau suivant présente succinctement ces concepts.

Concepts d'éco-conception

Concepts	Description
Perspective du Cycle de Vie (Life Cycle Thinking)	Ce concept impose une prise en compte du cycle de vie des produits, des procédés et des services dans le processus de prise de décision individuelle ou organisationnelle, en vue d'une réduction des impacts négatifs sur l'environnement ou sur la société. Il considère les implications « du berceau à la tombe » de toute action.
Gestion du Cycle de Vie (Life Cycle Management)	Il s'agit d'une mise en œuvre de la perspective du cycle de vie au sein d'une organisation, par l'utilisation des critères de décision tenant compte du cycle de vie des produits, des procédés et des services, en vue de réduire les impacts environnementaux et sociaux de l'organisation.
Production en boucle fermée (closed-loop production)	Ce concept considère que l'ensemble des composants qui existent dans le système sont réutilisés, ou recyclés. Ceci exige un passage des méthodes de production linéaire traditionnelle à une perspective circulaire et plus systémique dans laquelle les produits et les processus sont conçus avec l'intention de « réincarnation ».
Ecologie Industrielle (Industrial Ecology)	Elle représente une étude pluridisciplinaire des systèmes industriels et des activités économiques, et leurs liens avec les systèmes naturels fondamentaux. Elle s'occupe de l'évolution des technologies et des systèmes économiques, tels que les activités humaines qui simulent les systèmes biologiques en ce qui concerne l'autonomie dans leurs matières et leurs utilisations des ressources.
Ecoefficacité (Eco-efficiency)	L'éco-efficacité indique le degré de corrélation entre la capacité de produire des biens et des services de qualité et en quantité voulue, et la réduction des impacts sur l'environnement liés à une activité économique donnée. Les atteintes à l'environnement dont il est question sont notamment la consommation des ressources naturelles et la pollution.

3.2.3 Evaluation de l'impact environnemental du produit

Afin d'établir un profil environnemental du produit en vue d'améliorer ses performances écologiques, plusieurs outils ont été développés. Ces outils modélisent le système d'une manière quantitative ou qualitative visant à fournir des informations techniques pour une meilleure décision. Les outils basés sur une analyse quantitative se concentrent sur des algorithmes de calcul et nécessitent des données quantitatives. Les outils d'analyse

qualitative peuvent utiliser à la fois des données qualitatives et quantitatives comme c'est le cas avec les matrices et les listes de contrôle.

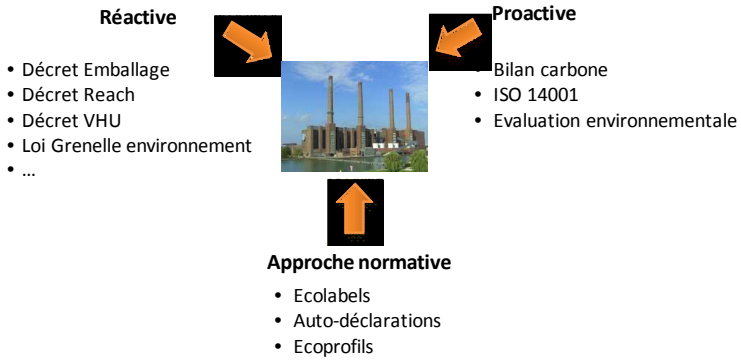
Outils d'évaluation environnementale

Outils d'évaluation	Description
Coût du Cycle de Vie (CCV)	Outil qui étudie la durée de vie complète d'un produit pour calculer la totalité des coûts du cycle de vie, qui comprennent tous les coûts internes et externes supportés tout au long du cycle de vie d'un produit, d'un procédé ou d'une activité.
Material Input per Unit of Service (MIPS)	Méthode pour mesurer l'input matériel à tous les niveaux (produit, entreprise, économie nationale, région) et comprenant deux composantes, l'input matériel et l'unité de service. Sur la base d'un indicateur comme le MIPS, un produit peut être amélioré d'un point de vue environnemental, soit en baissant l'input matériel; soit en augmentant les unités de services fournies par le bien.
Analyse du Cycle de Vie (ACV)	Outil standardisé (ISO 14044) d'évaluation des impacts environnementaux et d'aide à la décision. Son objectif est de réaliser un bilan quantitatif des flux de matières et d'énergie liés à chaque étape du cycle de vie d'un produit et d'identifier les impacts potentiels générés par le produit sur l'environnement, apportant ainsi des éléments favorisant l'amélioration de leur qualité écologique.
Matrices écologiques	Elles permettent d'établir un rapport entre deux ou plusieurs facteurs. La dimension verticale considère souvent les différents stades de vie et la dimension horizontale les interventions, les extractions et les émissions. Les données qui doivent être considérées peuvent être quantitatives, qualitatives ou semi-quantitatives.
Listes de contrôle (checklists)	Une liste de contrôle peut être décrite comme une série de questions ou de points d'attention. Les concepteurs peuvent les utiliser pour être sûrs de ne pas oublier les aspects de la conception et de l'environnement. Pour les gestionnaires, elles peuvent être, par exemple, un aide-mémoire lors de la rédaction du cahier des charges. Plusieurs listes de contrôle peuvent également être utilisées comme une méthode de génération d'idées.

3.2.4 Les trois postures de l'entreprise face aux problèmes environnementaux

Pour faire face aux problèmes environnementaux, une entreprise peut adopter trois postures différentes :

- posture réactive : l'entreprise doit se conformer à des obligations réglementaires et se préparer à celles à venir (exemple : décret Emballage, décret Reach, loi Grenelle environnement,…) ;
- posture normative : l'entreprise cherche à évoluer dans sa structure et ses produits. Pour cela, elle s'appuie sur des standards pour y parvenir : écolabels, auto-déclarations et éco-profils ;
- posture proactive : l'entreprise définit ses propres objectifs. Pour y arriver, elle a généralement à construire un bilan initial de ses activités et de son positionnement sur le marché. Le plus souvent, elle a réalisée auparavant un bilan carbone ou une évaluation environnementale.



Trois postures de l'entreprise

3.3 L'éco-innovation

Face au besoin croissant de prise en compte de l'environnement dans l'activité industrielle, une grande attention a été portée à l' « **éco-innovation** » comme un moyen de développer des solutions durables qui réduisent à la fois la pollution et la consommation des ressources naturelles. Ce concept gagne du terrain dans l'industrie et chez les décideurs comme un moyen de faciliter les améliorations de la performance environnementale des entreprises, qui sont de plus en plus nécessaires.

3.3.1 Définition

L'éco-innovation pourrait être définie de deux façons: d'abord par les effets de l'innovation sur l'environnement et, d'autre part, par l'intention de l'innovateur pour réduire l'impact environnemental des procédés ou des produits.

Le terme éco-innovation a été défini de façon très large comme suit : « les éco-innovations sont toutes les mesures prises par les acteurs concernés (entreprises, hommes politiques, syndicats, associations, ménages privés) qui visent à développer de nouvelles idées, de nouveaux comportements, des produits et des processus nouveaux, les appliquer ou les introduire et qui contribuent à une réduction des pressions sur l'environnement ou aux objectifs de la durabilité écologique ».

3.3.2 Composantes de l'éco-innovation

L'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) distingue trois composantes de l'éco-innovation[6] :

1. Les cibles. Les domaines ciblés peuvent être classés en cinq catégories :

- les produits (biens et services) ;
- les processus, par exemple une méthode de production ou une procédure ;
- les méthodes de marketing, se référant à la promotion et la tarification des produits, et d'autres stratégies axées sur le marché ;

[6] Publié en anglais par l'OCDE dans: « OECD (2009) SUSTAINABLE MANUFACTURING AND ECO-INNOVATION – Framework, Practices and Measurement http://www.oecd.org/dataoecd/15/58/43423689.pdf ». L'OCDE ne garantit pas l'exactitude de la traduction et n'assume aucune responsabilité quant aux conséquences de son interprétation ou de son utilisation.

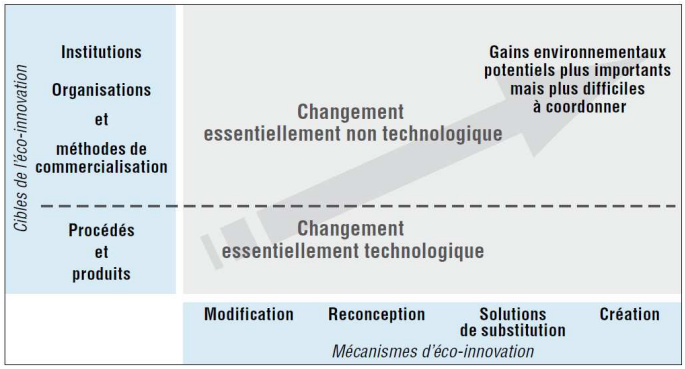
- les organisations, telles que la structure de gestion et la répartition des responsabilités ;
- les institutions, qui comprennent des domaines sociaux plus vastes qu'une seule entreprise, tels que les accords institutionnels ou les normes sociales et les valeurs culturelles.

L'éco-innovation de produits et de procédés est fondée généralement sur les avancées *technologiques*, tandis que l'éco-innovation dans le domaine de la commercialisation, de l'organisation et des institutions fait plutôt intervenir des changements *non technologiques*.

2. Les mécanismes. Quatre mécanismes de changement dans les domaines ciblés sont identifiés :

- modifier les pratiques comme faire des ajustements mineurs ou progressifs dans les produits ou les processus ;
- les reconcevoir en effectuant des changements importants dans les produits, les processus et les structures organisationnelles existants ;
- les remplacer par d'autres, dans ce cas il s'agit de solutions de rechange tels que l'introduction de marchandises et de services qui peuvent satisfaire les mêmes besoins fonctionnels et fonctionnent comme des substituts pour les autres produits ;
- d'en créer d'entièrement nouveaux.

3. Les impacts. Il s'agit de l'effet de l'éco-innovation sur les conditions environnementales. L'avantage est plus élevé pour des changements plus systémiques, tels que les solutions de substitution et la création que pour des mécanismes de modification et de reconception.



Trois composantes de l'éco-innovation (source : OCDE)

3.3.3 Quelques pistes pour éco-innover

Il existe des pistes d'éco-innovation qui devraient réduire l'impact environnemental d'un produit lors des différentes phases de son cycle de vie :

- **<u>Minimiser la consommation de matières</u>** – dématérialiser le produit ou certaines de ses composantes, miniaturiser, évitez le surdimensionnement, réduire l'épaisseur, évitez les composants supplémentaires avec peu de fonctionnalités, minimiser ou éviter l'emballage,…

(a)

(b)

(a) Dématérialisation : service en ligne[7] ; (b) Minimiser l'emballage : dentifrice sans carton d'emballage[8]

- **<u>Minimiser la consommation d'énergie</u>** – concevoir des systèmes permettant d'économiser l'énergie, concevoir des systèmes de récupération d'énergie, optimiser les systèmes de transport et réduire le poids et les dimensions de tous les matériaux transportables et des semi-produits,…

Améliorer l'efficience énergétique: sèche main[9] utilisant jusqu'à 80% d'énergie en moins que les sèche-mains à air chaud

[7] http://www.service-public.fr/

[8] http://www.e-leclerc.com/

[9] www.dysonairblade.fr

- **<u>Optimiser la durabilité des produits</u>** – améliorer la fiabilité des produits, réduire le nombre total de composants, éliminer les liaisons faibles, simplifier les produits, développer la conception modulaire, faciliter la maintenance, faciliter la réutilisation,...

Conception modulaire : multifonction[10] (sciage, tronçonnage et ponçage) et durée de vie supérieure (changement simple et rapide de tous les accessoires)

- **<u>Utiliser des ressources renouvelables et biocompatibles</u>** – utiliser des matières résiduelles de procédés de production, utiliser des composants récupérés à partir des produits éliminés, utiliser des matériaux recyclés, utiliser des matériaux biodégradables, utiliser des ressources d'énergie renouvelables,…

Chaussure de marche fabriquée à partir de matériaux recyclés et naturels[11]

- **<u>Passer du produit au service (ou l'économie de fonctionnalité)</u>** – cela consiste à faire payer un service ou l'usage d'un bien plutôt que ce bien lui-même. L'industriel a donc tout intérêt à produire des produits robustes, durables, sûrs pour les utiliser le plus longtemps possible et à moindre coût.

[10] http://www.bosch-do-it.fr

[11] http://www.lafuma-boutique.com

(a)

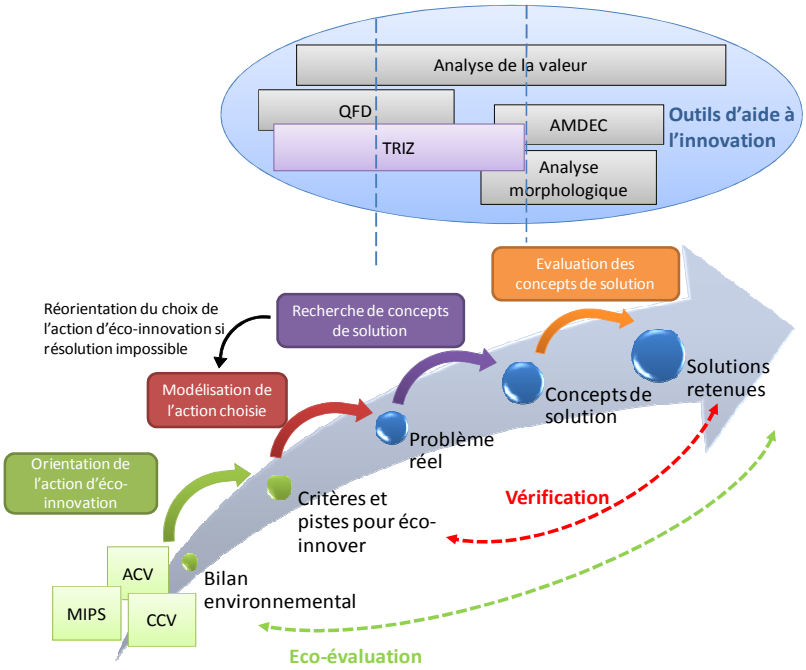
(b)

(a) Vente du service de transport[12] : coût en fonction du temps de location ;
(b) Vente du service de photocopie[13] : prix en fonction du nombre de photocopies

[12] http://www.velib.paris.fr/

[13] http://www.xerox.fr/

3.4 Intégrer l'environnement dans une démarche d'innovation



Prise en compte de l'environnement dans le processus de résolution de problèmes

Intégrer les questions d'environnement dans le processus de résolution des problèmes peut permettre de fournir des éléments d'innovation avantageux attendus par les parties prenantes de l'entreprise et source de valeur ajoutée.

Le nouveau schéma de résolution des problèmes comprend une nouvelle phase d'analyse environnementale et d'orientation de l'action d'éco-innovation. Cette phase a pour objectif d'apporter à l'ingénieur une vision du produit d'un point vue environnemental. Cette nouvelle vision doit le conduire à déterminer les priorités d'actions et d'orienter ses choix vers des solutions plus respectueuses de l'environnement. L'action choisie constitue le problème à modéliser pour définir le problème réel à résoudre.

Conclusion

L'innovation est devenue, sans aucun doute, un facteur de développement et de compétitivité incontournable face aux exigences industrielles. L'utilisation de TRIZ et des autres techniques d'innovation systématique est désormais indispensable pour que les entreprises développent de nouvelles technologies et accroissent leur réactivité (satisfaction des clients, gain des parts de marché et être le premier à sortir le produit). Derrière sa complexité, TRIZ cache la grande richesse de faire émerger des solutions innovantes et sans compromis allant au-delà des connaissances présentes dans l'entreprise. Elle supplante, en cela, les méthodes de génération d'idées utilisées habituellement, qui sont basées sur une approche irrationnelle et aléatoire.

Par ailleurs, un état des lieux de l'utilisation de TRIZ dans les entreprises françaises a été réalisé en 2004[14]. Les principaux avantages et inconvénients exprimés par des utilisateurs de TRIZ sont les suivants :

Avantages :

- Exploration de toutes les voies.
- Structuration du raisonnement, de la recherche d'idées, de la démarche et des séances de créativité en fil conducteur.
- Ouverture à d'autres milieux, domaines et orientation de la réflexion sur l'extérieur, sur des champs non encore explorés.
- TRIZ facilite la pose du problème et permet de le formaliser correctement et clairement.

Inconvénients :

- Démarche longue à mettre en œuvre. Il existe une incompatibilité entre les exigences que requièrent la démarche et les possibilités offertes par les acteurs pour cette démarche en termes de temps.
- TRIZ est un terme difficile à crédibiliser, communiquer avec un « jargon » difficile à assimiler, parfois trop abstrait.

Pour intégrer TRIZ dans une organisation, il faut reconnaitre la nécessité d'accroître l'innovation, utiliser TRIZ pour les projets pilotes et enfin

[14] REBOUL, C. *État des lieux en 2004 de l'utilisation de TRIZ dans les entreprises françaises*. Mémoire de fin d'étude, Institut d'Administration des Entreprises de TOULOUSE, 2004 – http://www.trizfrance.org/Local/triz/dir/Documents/journee%20echange%20nov%202004/RapportTRIZenFrance_Reboul.pdf

l’encourager. L’association de TRIZ à d'autres méthodes déjà en usage dans l'organisation, telles que la QFD, l’analyse de la valeur ou la méthode 6-sigma permet d’une part d’accélérer son acceptation et, d’autre part, d’améliorer le travail des équipes de conception.

En fonction de la culture de l'organisation et le temps disponible, la direction choisira d’engager des consultants experts en innovation, d’utiliser ses propres employés pour réaliser l'ensemble du processus, ou de recourir aux consultants tout en faisant participer ses employés à la démarche.

Annexes

Annexe 1 : Outils d'aide à l'innovation

Analyse de la valeur

L'analyse de la valeur est une méthode de compétitivité organisée et créative visant à développer un produit ou un procédé au meilleur compromis possible entre la satisfaction du besoin à couvrir et les coûts de mise en œuvre.

Elle tend à améliorer la valeur d'un produit ou d'un procédé par la compréhension de ses éléments constitutifs et leurs coûts associés. Elle cherche alors à trouver des améliorations à des composants soit en réduisant leur coût, soit en augmentant la valeur de leurs fonctions. La valeur d'un produit sera interprétée de différentes façons par différents utilisateurs. Néanmoins, elle se caractérise communément par un niveau élevé de performance, d'attrait émotionnel, de style, etc. par rapport à son coût. Cela peut aussi être exprimée en maximisant la fonction d'un produit par rapport à son coût : Valeur = Fonction / Coût

▪ Conduite de la méthode

L'Analyse de la Valeur est fondée sur l'application d'un plan de travail systématique qui peut être divisé en sept phases :

Phase 1 – Orientation de l'action : dans cette phase, après une étape de réflexion et d'examen de la faisabilité du projet, le décideur définit à l'animateur le cadre et les objectifs de l'action dont il confie la conduite.

Phase 2 – Recherche de l'information : le but de cette phase est de rassembler les informations nécessaires (techniques, industrielles, économiques, commerciales, sociales, réglementaires, etc.) internes ou externes à l'entreprise avec également celles relatives au besoin.

Phase 3 – Analyse des fonctions et des coûts : cette phase est la plus caractéristique de la méthode. Elle permet d'une part, de recenser le besoin à satisfaire et de le traduire en fonction de service, d'autre part, à analyser les coûts de différentes fonctions. Le cahier des Charges Fonctionnel est élaboré au cours de cette phase et met en évidence l'analyse fonctionnelle avec une hiérarchisation des fonctions ; les fonctions et les contraintes, leurs critères d'appréciation, les niveaux des critères, les flexibilités et les informations techniques et réglementaires.

Phase 4 – Recherche d'idées et de voies de solutions : cette phase consiste à rechercher le maximum d'idée ou de voies de solutions. La recherche est effectuée en imaginant de nouvelles solutions qui couvrent le besoin à satisfaire mais à moindre coût.

Phase 5 – Etude et évaluation des solutions : cette phase a pour but de construire et choisir les solutions techniques qui couvrent le besoin à satisfaire à moindre coût. Les études techniques sont conduites selon les points de vue suivants : faisabilité, coût, risque, réalisation de maquettes et d'essais, etc.

Phase 6 – Bilan prévisionnel et proposition de choix : les résultats atteints par le groupe sont présentés au(x) décideur(s), à travers un bilan prévisionnel des solutions sélectionnées, argumenté par les motifs de sélection, la liste des avantages et des inconvénients, etc.

Phase 7 – Suivi de la réalisation : dans cette phase, les services opérationnels de l'entreprise, sur instructions du décideur, se chargent de la mise en œuvre des solutions retenues et du lancement du produit étudié.

Références bibliographiques :

NF X 50-151 : Management par la valeur - Expression Fonctionnelle du Besoin et cahier des charges fonctionnel - Exigences pour l'expression et la validation du besoin à satisfaire dans le processus d'acquisition ou d'obtention d'un produit. Afnor, 2007

NF X 50-152 : Management par la valeur - Caractéristiques fondamentales de l'analyse de la valeur. Afnor, 2007

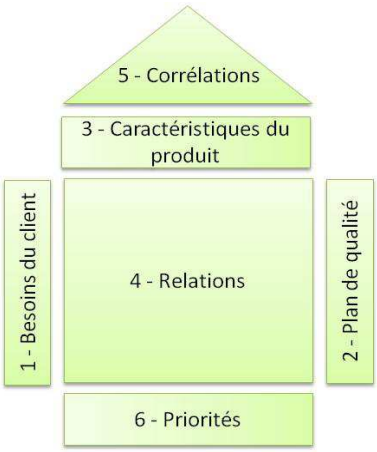
TASSINARI, R. *Pratique de l'analyse fonctionnelle*. Paris : Dunod, 2006

Quality Function Deployment – QFD

La connaissance des besoins du client est primordiale dans la conception de produits et de services efficaces. L'utilisation de la méthode (QFD) permet au concepteur de parvenir à un cycle de développement plus court tout en assurant la satisfaction des besoins du client. C'est une méthode de planification qui permet de traduire les besoins du client en spécifications internes à l'entreprise. Grâce au QFD, les relations entre les caractéristiques de qualité exprimées par le client et les exigences de qualité exprimées en termes techniques par l'équipe de conception, sont explorées.

Les avantages de l'utilisation de la méthode QFD sont principalement de s'assurer que les besoins du client soient remplis, que le cycle de développement soit efficace en termes de temps et d'effort, et que le contrôle des variables de processus soit lié aux besoins du client pour une satisfaction continue.

Le QFD est également connu comme la "Maison de la Qualité" puisque la « silhouette » de l'outil ressemble à une maison.

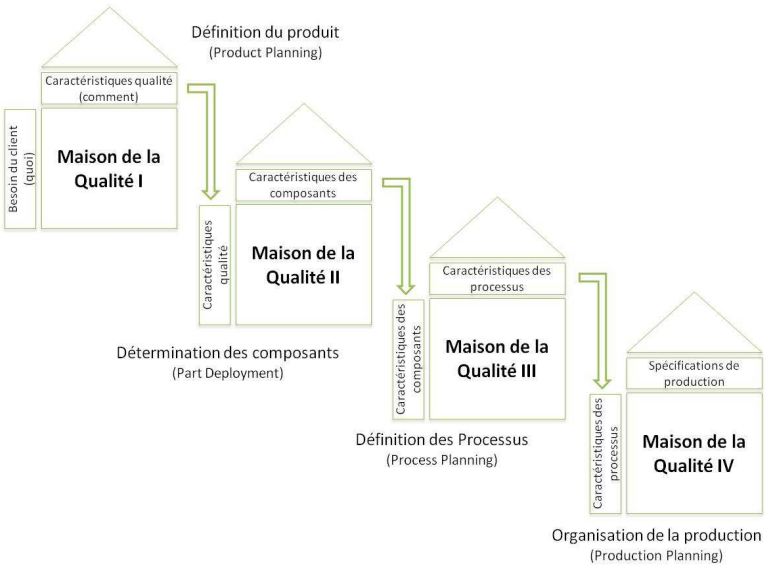


Maison de la Qualité

La méthode QFD est déployée suivant quatre phases. Ces quatre phases sont :

1. Définition du produit
2. Détermination des composants

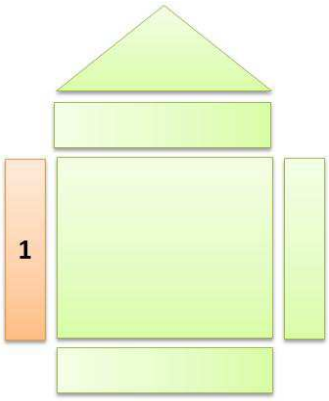
3. Définition des processus
4. Organisation de la production



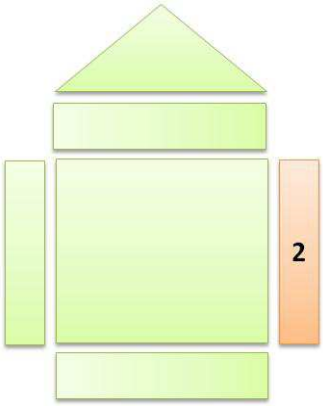
Les 4 phases de la QFD

➢ Conduite de la méthode

L'analyse QFD peut se réaliser suivant six étapes :

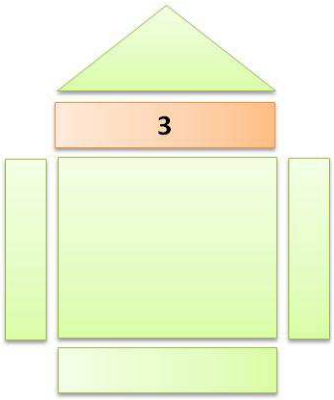


Etape1 – Identifier les besoins des clients. Les informations en provenance du marché et des utilisateurs sont rassemblées et interprétées correctement. Il est possible de faire appel à des spécialistes des différents départements, à une étude de marché conduite par les équipes avec le concours des utilisateurs-clients et au savoir faire acquis lors de l'analyse d'informations antérieures. Le terme « le quoi » est souvent utilisé pour exprimer les besoins des clients.

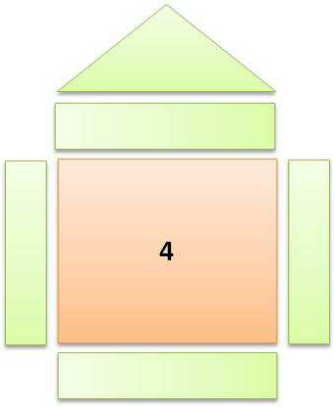


Etape2 – Etablir un plan qualité. Cette étape permet de quantifier l'impact de chaque élément de la qualité demandée sur la satisfaction du client et d'ajuster les priorités des efforts de conception en fonction des enjeux identifiés par l'équipe.

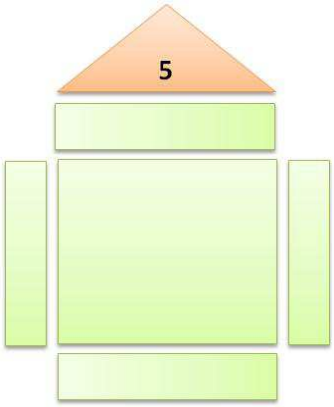
Généralement, le poids des qualités demandées est calculé sur la base : du degré d'importance accordé par le client, du taux d'amélioration nécessaire pour atteindre le niveau de qualité planifié et des polarisations stratégiques, qui traduisent la stratégie-produit de l'entreprise.



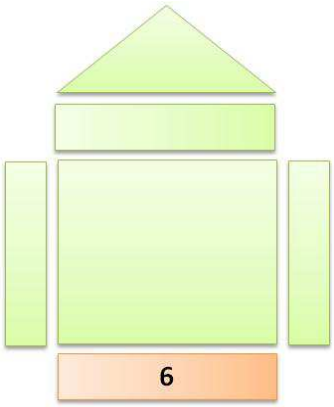
Etape3 – Définir les caractéristiques techniques du produit. Ces caractéristiques représentent les constituants de la Qualité (les « Comment ») pouvant être mesurés et comparés à la concurrence.



Etape 4 – Etablir la relation entre les caractéristiques et les besoins du client. L'équipe évalue à quel degré chaque caractéristique est liée à chacun des éléments de la qualité demandée. Cette relation est souvent exprimée par un coefficient de valeur 9 pour une relation étroite, 3 pour une relation moyenne et 1 pour une relation faible.



Etape 5 – Déterminer les relations entre les caractéristiques. Les membres de l'équipe doivent examiner l'interrelation des caractéristiques techniques du produit, analyser les relations négatives entre les caractéristiques techniques et travailler à éliminer les contradictions physiques.



Etape 6 – Evaluer l'importance des caractéristiques techniques du produit et les comparer avec ceux des concurrents. L'équipe résume les principales conclusions en se basant sur les données contenues dans la matrice. Elle comprend généralement trois parties : le calcul des priorités, la détermination des objectifs et l'analyse concurrentielle.

Le QFD est un moyen systématique de s'assurer que les exigences du client soient fidèlement traduites en caractéristiques techniques pertinentes à chaque étape du développement du produit. Par conséquent, atteindre ou dépasser les exigences des clients, signifie plus que simplement maintenir ou améliorer les performances du produit. Cela signifie concevoir et fabriquer des produits qui satisfassent les clients.

Références bibliographiques :

AKAO, Y. QFD – *Prendre en compte les besoins du client dans la conception des produits*. Afnor, 1993

FIORENTINO, R. *Quality Function Deployment*. Afnor, 1993

TERNINKO, J. *Step-By-Step QFD: Customer-Driven Product Design*. St Lucie Press, 1997

VIGIER, M.G. *La pratique du QFD (Quality Function Deployment)*. Editions d'Organisation, 1992

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leur Effet et de leur Criticité – AMDEC

L'Analyse des Modes de Défaillance, de leur Effet et de leur Criticité, appelée AMDEC, est une méthode d'analyse prévisionnelle pour recenser et corriger les défauts de conception à travers l'analyse des modes de défaillance potentiels, des effets et des causes, suivie par une recommandation d'actions correctives.

Un mode de défaillance est la manière dont un dispositif peut ne plus fonctionner. Il est toujours relatif à la fonction du dispositif et il s'exprime en termes physiques (exemples : oxydation, cassure, blocage, déformation, grippage, fuite, etc.)

L'AMDEC se pratique dans l'innovation aval, dès les premières phases de la conception et lorsque la définition détaillée des choix techniques n'est pas encore figée, afin de permettre une marge de manœuvre si le niveau de fiabilité associé à une solution est insuffisant.

Elle nécessite la constitution d'un groupe de travail pluridisciplinaire pour garantir une analyse fine et objective et qui réunit des expertises variés : concepteur, mainteneur, utilisateur et d'autres ressources pouvant apporter des informations nécessaires à l'analyse, grâce à leurs connaissances et leurs expériences.

➢ Types d'AMDEC

L'AMDEC peut être globalement classée en trois catégories selon le système analysé : produit, procédé de fabrication et moyen de production. Il y a d'autres types d'AMDEC, qui peuvent être considérés comme des extensions de ces trois types.

- AMDEC-Produit

Elle est réalisée pour identifier et évaluer les éventuels points critiques du produit. Cette évaluation permet d'apporter les modifications nécessaires par la mise en place d'actions correctives sur la conception. L'AMDEC-Produit sera d'autant plus efficace qu'elle interviendra plus tôt dans le processus de conception.

- AMDEC-Procédé

Elle est utilisée pour étudier les défauts potentiels d'un produit, engendrés par le procédé de fabrication. Ce type d'AMDEC est habituellement réalisé

en considérant les 5M (machine, matière, méthode, milieu, main d'œuvre). Ainsi, une AMDEC-Procédé est souvent beaucoup plus compliqué et prend plus de temps qu'une AMDEC-Produit.

- AMDEC-Moyen de Production

On emploie aussi l'expression « AMDEC moyen » ou « AMDEC machine ». Elle est appliquée afin d'étudier un moyen de production au stade de l'analyse de ses fonctions ou de ses séquences et au stade de sa définition détaillée.

Avant de commencer la réalisation d'une AMDEC, il est nécessaire de bien définir le système et son environnement. Ces informations sont généralement recueillies à partir de l'analyse fonctionnelle, de l'analyse des risques et éventuellement du retour d'expériences. Il faut également formaliser les objectifs recherchés de l'AMDEC et définir les moyens nécessaires, l'organisation et les responsabilités associées.

➢ Conduite de la méthode

L'AMDEC est un processus ascendant composé d'un ensemble d'étapes qui vise à reconnaître et évaluer les défaillances potentielles d'un produit ou d'un processus de fabrication et ses effets, et d'identifier les actions permettant d'éliminer ou de réduire la probabilité d'apparition des défaillances potentielles.

Elle part de l'identification des défaillances qui peuvent affecter un composant du système pour finir par la détermination de l'effet de ces défaillances sur le système. C'est une méthode impliquant une approche inductive qui permet de déduire les conséquences finales à partir d'événements élémentaires.

Chaque mode de défaillance est évalué suivant un système de cotation ou de notation, constitué par critères. Ce système est spécifique à chaque domaine, à chaque entreprise, voire à chaque étude ; il n'existe pas de système standard. Cependant, le triplet de critères « F, G, D » est souvent rencontré dans certaines industries :

- la fréquence d'apparition de la défaillance (indice F) ;
- la gravité de l'effet qui traduit la conséquence du mode de défaillance (indice G);
- la non-détection de l'apparition de la défaillance (indice D). Ce critère serait utile lors de l'AMDEC-Procédé et l'AMDEC- Moyen de production, mais dans le cas d'une AMDEC-Produit, il ne présente aucun intérêt.

La combinaison des trois critères précédents, par la multiplication de leurs notes respectives permet l'évaluation de la criticité qui a pour but de hiérarchiser les modes de défaillance des composants d'un système ou d'établir une liste de ceux considérés comme critique. Plus l'indice de criticité est élevé, plus le risque de défaillance est important. Les modes de défaillance avec des indices de criticité élevés nécessitent le plus souvent des mesures correctives. Ces mesures peuvent comprendre un changement dans la conception, une mise à niveau du matériel et la révision des plans de test.

$$C = F \times G \times D$$

D'après norme CNOMO E41.50.530.N du 04/2011	AMDEC Moyens de production											Page					
Fournisseur : Système : Sous-système :			Rédacteur : Service : Date réf :			Indices nominaux					Actions correctives		Indices finaux				
COMPOSANT/ Repère	FONCTIONS	MODES DE DEFAILLANCE	CAUSES	Effets (panne, non qualité et sécurité)	DETECTION	TI	F	G	D	C	Actions	Res. /délai	TI	F	G	D	C

Formulaire de document AMDEC de production d'après la norme CNOMO E41.50.530.N du 04/2011

Références bibliographiques :

CNOMO, Moyen de production – Méthode AMDEC, avril 2011 (http://www.cnomo.com/fichiers/4/14749/E41.50.530.N_Avril2011.pdf)

FAUCHER, J. *Pratique de l'AMDEC*. Dunod, 2004

MORTUREUX, Y. *AMDE(C)*. Techniques de l'ingénieur, SE 4 040

NF EN 60812 : Techniques d'analyses de la fiabilité du système - Procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE). Afnor, 2006

Analyse morphologique

L'analyse morphologique a été développée dans le but de structurer et d'investiguer la totalité de relations possibles contenues dans un problème complexe et multidimensionnel.

Le terme morphologie vient du grec (*morphe*) qui signifie structure ou forme. Ce terme a pour définition générale l'étude de forme ou de modèle, c.-à-d. la structure et la disposition des parties d'un objet, et comment celles-ci « *se conforment* » pour créer un tout. Les "objets" en question peuvent être physiques (par exemple, un organisme, une anatomie ou une entité géographique ou écologique), sociale (par exemple, une organisation ou structure de parties prenantes) ou mentale (par exemple des formes linguistiques, des concepts ou des d'idées).

Le processus de l'analyse morphologique se résume en cinq étapes :

- Etape 1 : formuler le problème à résoudre avec concision.
- Etape 2 : déterminer et analyser tous les paramètres représentant une importance pour la solution au problème posé.
- Etape 3 : construire la boîte morphologique ou la matrice multidimensionnelle, qui contient toutes les solutions possibles du problème posé.
- Etape 4 : examiner attentivement toutes les solutions contenues dans la boîte morphologique et les évaluer par rapport aux objectifs attendus.
- Etape 5 : sélectionner et mettre en œuvre les solutions adéquates. Cette réduction nécessite en général une étude morphologique supplémentaire.

En conception, l'architecture d'un système est considérée comme étant un ensemble de composants, de connexions et de contraintes. De ce point de vue, une solution au problème de conception, si elle existe, est rarement unique. L'aide à la conception se rapporte donc à la génération automatique de l'ensemble, total ou partiel, des solutions ordonnées suivant certains critères afin de permettre au concepteur de faire un choix exhaustif. L'ensemble des combinaisons des configurations (hypothèses) allouées aux composantes constitue l'espace morphologique. Chaque solution comprend

plusieurs entités (sous-systèmes), chacun de ces sous-systèmes peut avoir plusieurs composantes (caractéristiques). Chacune des caractéristiques peut prendre plusieurs configurations (hypothèses).

Exemple de matrice morphologique

Système : dispositif de décolmatage				
Sous-systèmes	**Caractéristiques**	**Configurations**		
		Configuration 1	**Configuration 2**	**Configuration 3**
Vibrateur	Catégorie	électrique	hydraulique	pneumatique
	Elément de maintien	câble	chaîne	barre
	Emplacement	en haut	en bas	Au milieu

Un système donné pourra être caractérisé par le choix d'une configuration spécifique sur chacune des composantes (exemple de solution : utiliser un vibrateur *hydraulique* maintenu par un *câble* et placé *en haut* de la paroi). Il y a ainsi autant de solutions possibles que de combinaisons des configurations. Un sous-système ayant chacun trois composantes prenant chacune 3 configurations, se caractérisent par $3 \times 3 \times 3 = 27$ possibilités de combinaisons. C'est le champ des solutions possibles « l'espace morphologique » que l'analyse morphologique permet d'explorer de façon systématique.

Mais pour éviter que la combinatoire ne freine la réflexion, l'espace morphologique est souvent réduit à un sous-espace morphologique utile (dix fois ou cent fois plus petit) en introduisant des contraintes d'exclusion et de compatibilité. Cette réduction est souhaitable car il est inutile d'identifier des solutions qui, de toute façon, seraient rejetées dès la prise en compte des critères de performance, de cohérence et de vraisemblance.

Références bibliographiques :

GODET, M. *Manuel de prospective stratégique*. Dunod, 2001.

Logiciel Morphol. (http://www.laprospective.fr/methodes-de-prospective/les-methodes/53-morphol.html)

ZWICKY, F. *Discovery, Invention, Research – Through the Morphological Approach*. The Macmillan Company, 1969

Annexe 2 : Principes d'innovation

1) Segmentation

a) Diviser un objet en plusieurs parties indépendantes
b) Faciliter l'assemblage / le désassemblage d'un objet
c) Accroître le degré de fragmentation d'un objet

2) Extraction

a) Extraire un élément ou une propriété nuisible d'un objet
b) Isoler l'élément ou la propriété utile d'un objet

3) Changement de qualité locale

a) Faire passer la structure d'un objet, un environnement ou une influence externe d'un état homogène à un état hétérogène
b) Amener chaque partie fonctionnelle de l'objet dans les conditions de fonctionnement appropriées
c) Amener chaque partie de l'objet à remplir une fonction utile et différente

4) Asymétrie

a) Remplacer la forme symétrique d'un objet par une forme asymétrique
b) Si la forme est déjà asymétrique, accroître son degré d'asymétrie

5) Combinaison

a) Rapprocher ou fusionner des objets identiques ou similaires, assembler des parties identiques ou similaires pour réaliser des opérations parallèles
b) Combiner ou paralléliser des actions, les rapprocher dans le temps

6) Universalité

Faire en sorte que l'objet assure plusieurs fonctions, de manière à éliminer le besoin d'autres pièces

7) Insertion (Emboîtement)

a) Placer les objets en série les uns dans les autres
b) Faire passer un élément dans une cavité d'un autre

8) Contrepoids

a) Contrebalancer la masse d'un objet en le combinant avec un autre qui le soulève

b) Compenser la masse d'un objet en le faisant interagir avec son environnement (par exemple, en utilisant une force aérodynamique, hydrodynamique etc.)

9) Action inverse préliminaire (compensation anticipé)

a) Si l'action à exécuter présente à la fois des effets utiles et néfastes, celle-ci devra être précédée d'actions inverses contrôlant les effets néfastes

b) Créer des contraintes internes de l'objet, qui s'opposeront aux contraintes néfastes de l'objet en fonctionnement

10) Action préliminaire (action anticipée)

a) Réaliser à l'avance (entièrement ou partiellement) un changement requis plus tard

b) Arranger idéalement les objets de façon à ce qu'ils entrent en action efficacement et sans perte de temps

11) Protection préliminaire

Compenser le manque de fiabilité de l'objet par des contremesures prises à l'avance

12) Equipotentialité

Limiter les changements de position (par exemple, changer les conditions de travail de manière à ce que l'objet n'ait besoin ni d'être élevé ni d'être abaissé)

13) Inversion

a) Inverser l'action utilisée pour résoudre le problème (par exemple, au lieu de refroidir un objet, le réchauffer)

b) Rendre les pièces mobiles fixes et inversement

c) Retourner l'objet (ou le procédé)

14) Sphéricité

a) Remplacer des parties, surfaces ou formes rectilignes par des curvilignes, des surfaces planes par des surfaces sphériques ou des pièces parallélépipédiques par des structures sphériques

b) Utiliser des rouleaux, des billes, des spirales, des dômes

c) Remplacer une translation par une rotation ; utiliser la force centrifuge

15) Mobilité

a) Permettre ou concevoir une optimisation des caractéristiques de l'objet, de l'environnement extérieur ou du procédé ou trouver des conditions de fonctionnement optimales

b) Diviser un objet en plusieurs éléments mobiles les uns par rapport aux autres

c) Si un objet (ou un procédé) est fixe, le rendre mobile ou adaptable

16) Action partielle ou excessive

S'il est difficile d'obtenir un effet à 100% par une méthode donnée, appliquer cette méthode « partiellement » ou « à l'excès » peut simplifier considérablement le problème

17) Changement de dimension

a) Déplacer un objet dans un espace bidimensionnel ou Tridimensionnel

b) Utiliser un assemblage multicouche d'objets plutôt qu'un assemblage monocouche

c) Incliner ou réorienter l'objet, le poser de côté

d) Utiliser l'autre face d'une surface donnée

18) Vibrations

a) Faire osciller ou vibrer un objet

b) Si l'oscillation existe, accroître sa fréquence

c) Utiliser la fréquence de résonance d'un objet

d) Utiliser des vibrations piézo-électriques au lieu de mécanique

e) Combiner ultrasons et champ électromagnétique

19) Action périodique

a) Remplacer une action continue par une action périodique ou pulsatoire

b) Si l'action est déjà périodique, modifier sa fréquence ou son amplitude

c) Utiliser les pauses entre les impulsions pour accomplir une autre action

20) Continuité de l'action utile

a) Privilégier une action continue (sans pauses), où toutes les parties d'un objet agissent plein régime

b) Eliminer tous les temps morts

21) Grande vitesse

Effectuer un procédé ou certaines phases dangereuses ou néfastes à grande vitesse

22) Application bénéfique d'un effet néfaste

a) Utiliser des facteurs néfastes (en particulier les effets néfastes de l'environnement) pour obtenir un effet positif

b) Annuler l'effet d'un facteur néfaste en le combinant avec un autre facteur néfaste

c) Accroître un effet néfaste jusqu'à ce qu'il ne soit plus nuisible

23) Rétroaction

a) Introduire un asservissement (réponse, vérification) afin d'améliorer un procédé ou une action

b) Si l'asservissement existe déjà, modifier son ampleur ou son influence

24) Intermédiaire

a) Utiliser un objet ou un procédé intermédiaire

b) Combiner provisoirement un objet à un autre (opération facilement réversible)

25) Self service

a) Faire de sorte que l'objet se suffise à lui-même en effectuant des fonctions auxiliaires utiles

b) Réutiliser les résidus énergétiques et matériels

26) Copie

a) Utiliser des copies simplifiées et bon marché plutôt qu'un objet complexe, cher ou fragile

b) Remplacer un objet ou un procédé par sa copie optique Si les copies optiques sont déjà utilisées, utiliser les copies infrarouges ou ultraviolettes

27) Ephémère et bon marché

Remplacer un objet cher par un ensemble d'autres objets bon marché, en renonçant à certaines de ses qualités (comme la durée de l'action par exemple)

28) Remplacer les éléments mécaniques

a) Remplacer un système mécanique par un système sensoriel (optique, acoustique, olfactif)

b) Utiliser des champs électriques, magnétiques, électromagnétiques pour interagir avec l'objet

c) Remplacer les champs statiques par des champs mobiles, les champs aléatoires par des champs structurés

d) Utiliser les champs en conjonction avec des particules activées par ces champs (par exemple, ferromagnétiques)

29) Systèmes pneumatiques et hydrauliques

Remplacer les parties solides d'un objet par un gaz ou un liquide ; par exemple, objets gonflables (à air ou eau), à coussin d'air, hydrostatique ou hydro-réactif

30) Membrane flexible et film mince

a) Remplacer les structures tridimensionnelles par des membranes flexibles et des films minces

b) Isoler l'objet de son environnement en utilisant des membranes flexibles et des films minces

31) Matériau poreux

a) Rendre un objet poreux ou lui adjoindre des éléments poreux

b) Si l'objet est déjà poreux, remplir les pores d'une substance ou d'une fonction utile

32) Changement de couleur

a) Modifier la couleur d'un objet ou de son environnement extérieur

b) Modifier le degré de transparence d'un objet ou de son environnement extérieur

33) Homogénéité

Faire interagir les objets avec un objet annexe de même matière (ou d'une matière ayant des propriétés identiques)

34) Eliminer et récupérer

a) Eliminer un élément de l'objet (par dissolution, évaporation etc.) lorsque celui-ci a assuré sa fonction ou le modifier au cours de fonctionnement

b) A l'inverse, récupérer les éléments consommables de l'objet au cours du fonctionnement

35) Changement de paramètres

a) Modifier l'état physique d'un objet (ex. sous forme de gaz, de liquide ou de solide)

b) Modifier le degré de flexibilité

c) Modifier la température

36) Transition de phases

Utiliser les phénomènes associés aux changements de phase (changement de volume, perte ou absorption de chaleur etc.)

37) Dilatation thermique

a) Utiliser la dilatation ou la contraction thermique des matériaux

b) Utiliser des matériaux différents avec des coefficients de dilatation différents

38) Oxydants puissants

a) Remplacer de l'air normal par de l'air enrichi

b) Remplacer l'air ou l'oxygène par des radiations ionisantes

c) Utiliser de l'oxygène ozonisé

d) Remplacer l'oxygène ozonisé ou ionisé par de l'ozone

39) Atmosphère inerte

a) Remplacer un environnement normal par un environnement inerte

b) Ajouter des pièces neutres ou des additifs inertes à un objet

40) Matériaux composites

Remplacer un matériau homogène par un matériau composite

Annexe 3 : Exemple d'application informatique de travail collaboratif autour de la méthode TRIZ

Tiré du travail de thèse de David Goubet (Institut Pascal – Clermont-Ferrand) financé dans le cadre du projet ECOMEF

Dans le cadre du projet ECOMEF (ECOconception d'un outil MEcanisé de bûcheronnage pour les peuplements Feuillus), une application informatique a été implémentée afin de capitaliser les concepts proposés par les différents intervenants du projet et de développer le travail collaboratif autour de la méthode TRIZ. Il s'agit d'une application Web accessible par simple navigateur internet s'appuyant sur une base de données relationnelle et accessible par plusieurs personnes simultanément.

Intégration de la méthode TRIZ dans l'application

Le but premier de l'application est de recenser l'ensemble des concepts évoqués autour du projet ECOMEF. Les concepts sont enregistrés dans la base de données avec une structure composée de :

- une description textuelle de l'idée ;
- un croquis que l'utilisateur peut télécharger sous forme d'un fichier jpeg.

Ces informations sont saisies à l'aide d'un « formulaire » dans une page internet. Les concepts ainsi collectés sont accessibles par tous les intervenants du projet (laboratoires de recherche, instituts techniques, établissements de formation et industriels) qui peuvent alors alimenter leur propre réflexion et ajouter à leur tour leurs propres concepts.

➢ Utilisation de la matrice des contradictions

Pour aborder la problématique du projet de manière innovante, l'utilisateur a la possibilité de s'appuyer sur la méthode TRIZ et plus précisément sur un de ses outils : la matrice des contradictions.

L'application permet de recueillir l'ensemble des contradictions soulevées par la problématique du projet et de les sauvegarder en deux catégories : contradictions physiques ou techniques. L'utilisateur enregistre les contradictions détectées qui peuvent être résolues par chacun des

intervenants du projet. L'utilisateur peut également choisir les entités qu'il souhaite opposer pour traduire sa contradiction technique. L'application fournit alors la liste des principes d'innovation contenus dans la matrice des contradictions à l'intersection des deux entités.

L'utilisateur peut sélectionner plusieurs entités à améliorer et plusieurs à ne pas détériorer. Dans ce cas, l'application teste tous les couples d'entités possibles. Elle récupère ainsi l'ensemble des principes de chaque couple et les classe par fréquence d'apparition.

Travail collaboratif

➢ Les intérêts du travail collaboratif

- *Le rebond des idées*

L'application permet la collaboration des différents intervenants du projet. Toute information saisie par l'un d'entre eux peut être lue par les autres. Ainsi, lorsqu'un concept est saisi dans la base de données, l'idée qu'il contient peut en générer une autre dans l'esprit d'un autre utilisateur. L'application s'appuie sur la méthode TRIZ pour favoriser la génération de concepts, mais elle accroît cette faculté par **ce phénomène de rebond des idées**.

- *La traçabilité*

Chaque information saisie dans la base de données est sauvegardée avec l'identifiant de son créateur. Ainsi, dans le cas où un utilisateur ne comprend pas un concept ou une contradiction, il peut savoir qui en est l'auteur afin de le contacter pour un complément d'information. La base de données contient pour cela l'ensemble des coordonnées (adresse mail, téléphone) des intervenants visibles par tous.

- *L'antériorité*

Outre l'identifiant de son auteur, l'information enregistrée dans la base de données contient également sa date de dernière modification. De cette manière par exemple, l'ordre d'arrivée des concepts dans la base de données peut être déterminé. Si une idée se retrouve parmi plusieurs concepts, il est possible de connaître qui l'a exprimée à l'origine. Cette approche peut ainsi permettre de faciliter l'identification des inventeurs en cas de dépôt de brevet.

➢ Les moyens techniques du travail collaboratif

Pour permettre le travail collaboratif, l'application doit être accessible par tous les intervenants, de plusieurs points d'accès distants et de manière

simultanée. C'est pourquoi la solution développée repose sur une application Web.

Parmi les outils de développement du marché, l'offre gratuite a été privilégiée. Ainsi, l'application a été implémentée en PHP et installée sur un serveur Apache. De même, la base de données repose sur une architecture MySQL.

L'accès à l'application ne nécessite donc qu'un poste relié au réseau Internet, possédant un navigateur Web à jour.

Evaluation et tri des concepts

L'application permet de générer des concepts et de les capitaliser. Toutefois, lorsque la base de données devient conséquente, il est intéressant d'en faire ressortir les concepts les plus intéressants. Mais qu'est-ce qu'un concept intéressant ?

➢ Les critères d'évaluation

Pour déterminer les concepts les plus intéressants, il faut en amont que les différents intervenants du projet se mettent d'accord sur les critères à considérer. Cette étape est indispensable et conditionne l'acceptation par la suite de la sélection des meilleurs concepts par tous.

L'application prévoit à cet effet une liste de critères d'évaluation qui est saisie en fonction de l'étude menée. Un critère est composé d'un intitulé, d'une explication, et d'une note maximale. Le nombre de critères est variable mais structurellement limité à 255.

➢ La notation

Une fois donc les critères d'évaluation des concepts établis, tous les intervenants doivent apporter leur avis par une notation. Tous les concepts doivent être notés suivant chaque critère. La durée de ce travail augmente rapidement avec le nombre de critères définis. La notation d'un concept suivant un critère peut être argumentée par un commentaire.

➢ Les résultats

A tout moment, l'application peut faire ressortir les concepts les mieux notés. Pour cela, elle effectue la somme des notes attribuées à chaque concept suivant chaque critère par tous les intervenants. Elle peut ainsi donner un classement des concepts suivant chaque critère.

Conclusion

Au travers de l'espace de travail collaboratif qu'elle propose, l'application développée pour le projet ECOMEF permet d'effectuer les actions suivantes :

- Partager des idées – Les idées peuvent être contenues dans plusieurs données de la base : les concepts, mais aussi les contradictions ou les commentaires de notation.
- Capitaliser des données – Toutes les données sont sauvegardées et accessibles par tous, de n'importe quel point d'accès au réseau Internet.
- Favoriser la génération d'idées innovantes – La méthode TRIZ et le rebond des idées entre les différents intervenants du projet favorisent la naissance des idées nouvelles.
- Choisir de manière collective les meilleurs concepts – Ce choix est surtout utile lorsque les concepts véhiculent des idées abstraites qui ne peuvent pas être validées objectivement par l'expérience ou la modélisation, faute de temps, de moyens ou d'informations.

L'application est encore largement perfectible pour offrir des fonctionnalités encore plus conviviales et ergonomiques. Toutefois, la base de développement qu'elle représente ouvre une voix autour du travail collaboratif de conception à l'aide des méthodes d'innovation.

Bibliographie

ALTSHULLER, G. S. *And Suddenly the Inventor Appeared*. Worcester, MA: Technical Innovation Center, 1996

ALTSHULLER, G. S. *Creativity as an exact science*. New York: Gordon and Breach, 1988

BERSANO, G. *Créer le futur avec les techniques d'innovation systématique*. 2010

CHAKROUN, M. *Eco-innovation dans le domaine des technologies d'épandage*. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal – Clermont-Ferrand II, 5 mai 2011

EL-HAIK, B., ROY, D. M. *Service Design for Six Sigma.* New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2005

Fey, V., RIVIN, E. *Innovation on Demand*. New York: Cambridge University Press, 2005.

FREEMAN, C., SOETE, L. *The Economics of Industrial Innovation*. London: MIT Press, 1997

GAYNOR, G. H. *Innovation by Design – What It Takes to Keep Your Company on the Cutting Edge*. New York : AMACOM, 2002

GOGU. G. Méthodologie d'innovation. Cours Campus Numérique. Clermont-Ferrand, 2003

GOGU. G. *Méthodologie d'innovation: la résolution des problèmes créatifs*. Revue Française de Gestion Industrielle, 2000, 19, 35-62

GRISEL, L., OSSET, P. *L'analyse du cycle de vie d'un produit ou d'un service – Application et mise en pratique*. Saint-Denis La Plaine : Afnor, 2002

JUSE. *TQC – Les 14 étapes du processus. Tome1 : la résolution des problèmes*. Pris : Afnor, 1993

KELLY, P., KRANZBERG, M. *Technological Innovation: A CriticalReview of Current Knowledge.* San Francisco: San Francisco Press, 1978

KLEMMER, P., LEHR, U. and LÖBBE, K. *Environmental Innovation. Volume 3 of publications from a Joint Project on Innovation Impacts of Environmental Policy Instruments*. Synthesis Report of a project commissioned by the German Ministry of Research and Technology (BMBF), Analytica-Verlag, Berlin, 1999

LE COZ, E. *Méthodes et outils de la qualité – Nouveaux outils*. *Techniques de l'ingénieur*, AG 1 771

MANZINI, E. The limits and possibilities of ecodesign. In: *Ecodesign of Products*, Delft, Pays-Bas, 1991

MARKUSSON, N., OLOFSDOTTER, A. *Drivers of environmental Innovation*. Stockholm och: VINNOVA – Verket för Innovationssystem, 2001

OCDE. *La production durable et l'éco-innovation au service d'une économie verte*. OCDE, 2009

OECD and Statistical Office of the European Communities (Eurostat). *Oslo Manual: Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data* (3rd ed.) Paris, 2005

OECD. *Sustainable manufacturing and eco-innovation: framework, practices and measurement – Synthesis Report.* OECD, 2009

PERRIN, J. *Concevoir l'innovation industrielle – Méthodologie de conception de l'innovation*. Paris : CNRS Editions, 2001

RANTANEN, K., DOMB, E. *Simplified TRIZ*. Boca Raton: CRC, 2002

REBOUL, C. *État des lieux en 2004 de l'utilisation de TRIZ dans les entreprises françaises*. Mémoire de fin d'étude, Institut d'Administration des Entreprises de TOULOUSE, 2004

REVELLE, J. B. *Manufacturing handbook of Best Practices – An Innovation, Productivity and Quality Focus*. Boca Raton: CRC, 2002

SAVRANSKY, S. *Engineering of Creativity*. Boca Raton: CRC, 2000

TERNINKO, J., ZUSMAN, A., ZLOTIN, B. *Systematic Innovation: An Introduction to TRIZ*. Boca Raton: CRC, 1998

The TRIZ Journal (http://www.triz-journal.com)

THIEBAUD, F. *Formalisation et développement de la phase de résolution de problème en conception industrielle*. Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur – Strasbourg I, 9 décembre 2003

TRIZ France (http://www.trizfrance.org)

VEZZOLI, C., MANZINI, E. *Design for Environmental Sustainability*. London: Springer, 2008

WRISBERG, N., UDO DE HHAES, H. *Analytical Tools for Environmental Design and Management in a Systems Perspective. Netherlands: Kluwer Academic Publshers,* 2005

Face aux exigences du marché, les entreprises doivent concevoir des produits innovants, au moindre coût, avec une qualité supérieure, avec un temps de développement plus court, mais aussi avec moins de ressources et moins d'impacts négatifs sur l'environnement. Les approches conventionnelles pour ces demandes non conventionnelles restent inadaptées aux exigences industrielles. L'innovation des produits et des processus est un impératif pour permettre à l'entreprise de rester compétitive. Cette innovation n'est possible que si la démarche, pour sa génération utilise des outils systématiques.

Cet ouvrage vise à sensibiliser le lecteur à l'innovation systématique en s'intéressant particulièrement à la méthode TRIZ et ses multiples composantes afin d'attirer son attention pour cette méthode passionnante et unique en son genre qui permet d'améliorer la performance à l'innovation.

Il comprend 3 parties organisées de la manière suivante:

- La première partie introduit l'innovation et présente quelques méthodes systématiques d'aide à l'innovation.
- La deuxième partie décrit l'approche de la Théorie de Résolution des Problèmes Inventifs (TRIZ) qui offre une structure pour guider la pensée créatrice et aider les individus à inventer et à résoudre les problèmes complexes de façon systématique.
- La notion d'environnement et de développement durable est mise en évidence dans la troisième partie. Les démarches d'éco-conception et d'éco-innovation sont présentées. Les différents concepts et outils d'aide à l'éco-conception sont décrits ainsi que les composantes de l'éco-innovation et les pistes à suivre pour éco-innover.

irstea