

GUIDE D'INITIATION A TRIZ

Ce guide d'initiation aux méthodes et outils de la TRIZ est le fruit du travail d'un projet de fin d'étude pour le Plateau de créaTivité & Innovation de PSA PEUGEOT CITROËN avec le soutien du Laboratoire de Recherche en Productique de Strasbourg de l' Institut National des Sciences Appliquées (ex-ENSAIS).

L'auteur de ce guide est Monsieur Jean Emmanuel BLOSSIER, stagiaire de l'INSA de Strasbourg au PTI de PSA Peugeot Citroën de février à juin 2002.

Pour la réalisation de ce guide, il a été tutoré par :

- Monsieur Marcel MONNIER du PTI de PSA,
- Monsieur Philippe LUTZ, enseignant chercheur au LRPS de l'INSA de Strasbourg.

Ont aussi collaboré à la réalisation de ce guide :

- Monsieur Dmitry KUCHARAVY, chercheur associé de l'INSA de Strasbourg
- Monsieur Guillaume DUPONT, thésard du PTI de PSA

Supports pour la réalisation du guide :

- "TRIZ: overview" et "TRIZ: techniques", support de cours aux enseignants chercheurs de monsieur Dmitry KUCHARAVY, 2001-2002
- "OTSM-TRIZ: main technology of problem solving", materials for seminars de monsieur Nikolai KHOMENKO, 1997-2001
- Supports de cours ENSAIS de l'Action Collective TRIZ Alsace de messieurs Denis CAVALLUCCI, Philippe LUTZ et Avraam SEREDINSKI
- "Contribution à la conception de nouveaux systèmes mécaniques par intégration méthodologique", thèse de doctorat de l'Université Louis Pasteur, Denis CAVALLUCCI, 14 décembre 1999

Autres éléments bibliographiques :

- Altshuller, G.S. (1984). Creativity as an exact science. The theory of the solution of inventive problems. Translated by Anthony Williams. Gordon and Breach Science Publishers. Original version in russian, 1979.
- Altshuller, G.S. (1996). And Suddenly the Inventor Appeared: TRIZ, the Theory of Inventive Problem Solving. Technical Innovation Center
- Altshuller, G.S. (1997). 40 Principles: TRIZ Keys to Technical Innovation. Technical Innovation Center
- Altshuller, G.S. (1999). The Innovation Algorithm: TRIZ, Systematic Innovation and Technical Creativity. Technical Innovation Center
- Salamatov, Y. (1999). TRIZ : The right solution at the right time. Insytech.
- Savransky, S.D. (2000). Engineering of Creativity: Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving. CRC Press
- Terniko, J., Zusman, A., Zlotin, B. (1998). Systematic Innovation : An Introduction to Triz (Theory of Inventive Problem Solving). CRC Press - St. Lucie Press.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	3
<u>PREMIERE PARTIE : PRESENTATION ET NOTIONS ESSENTIELLES DE TRIZ</u>	5
1 – GENERALITES	7
1.1 Historique	7
1.2 Les niveaux d'inventivité	7
1.3 La résolution d'un problème, la recherche d'une solution	8
1.4 Les principes fondamentaux de TRIZ	10
2 – NOTIONS ESSENTIELLES DE TRIZ	12
2.1 Définition globale d'un système technique	12
2.2 L'inertie psychologique	12
2.3 Le Résultat Idéal Final (R.I.F.)	13
2.4 Les ressources	14
2.5 Les Vépoles	16
2.6 Les lois d'évolution des systèmes techniques	17
2.7 Les contradictions	30
<u>DEUXIEME PARTIE : DEMARCHE DE RESOLUTION D'UN PROBLEME AVEC TRIZ</u>	31
1 – ANALYSE DE LA SITUATION INITIALE	35
1.1 Définition du problème initial	35
1.2 Les lois de la nature & les lois d'évolution des systèmes techniques	37
1.3 Les restrictions de la situation spécifique	39
2 – FORMULATION DES CONTRADICTIONS	41
2.1 Modèles utilisés lors de l'analyse d'un problème	41
2.2 Description d'un mini-problème	42
2.3 Définition des éléments en conflit	44
2.4 Identification de la contradiction à l'origine du conflit	44
2.5 Description du Résultat Idéal Final pour le mini-problème	45
2.6 Analyse des contradictions	45
2.7 Modélisation de la situation problématique	46
3 – RESOLUTION : GENERATION DE CONCEPTS	47
3.1 Résolution des contradictions techniques	47
3.2 Résolution des contradictions physiques	48
3.3 Les règles pour compléter un modèle vépole	48
3.4 Développement de concepts s'appuyant sur l'analyse vépole et utilisant les standards	49

4 – EVALUATION DES CONCEPTS	51
4.1 <i>Obtention de concepts préliminaires</i>	52
4.2 <i>Choix du concept final</i>	52
ARIZ : L'ALGORITHME DE RESOLUTION DES PROBLEMES INVENTIFS	54
1 – <i>Présentation d'ARIZ</i>	54
2 – <i>Structure d'ARIZ</i>	54

TROISIEME PARTIE : OUTILS ET TECHNIQUES DE TRIZ **55**

- Opérateur du Poisson Doré
- Opérateurs DTC (Dimension – Temps – Coût)
- Vision Multi-Ecrans
- Systèmes Alternatifs
- Méthode des Hommes Miniatures
- Matrice de résolution des Contradictions Techniques
- Principes de résolution des Contradictions Physiques

INTRODUCTION

L'innovation, qui constitue un élément clé des succès des entreprises, passe par le développement d'outils d'aide à la création et à l'invention. TRIZ est un acronyme russe qui signifie Théorie de Résolution de Problèmes d'Invention. Cette théorie comprend un ensemble de méthodes et d'outils d'aide à l'invention dont les plus grands succès ont conduit à des innovations dans les domaines de l'ingénierie. Toutes les méthodes de conception présentent toutes à un moment de leur déroulement une phase de déclenchement de l'idée, cependant elles reportent cette aptitude à produire les idées sur les capacités créatives intrinsèques de l'homme. La démarche proposée par TRIZ ne remet pas en cause cette créativité propre à l'individu, mais elle lui adjoint des méthodes et des outils qui accélèrent le processus de création et d'invention et augmente la qualité des solutions trouvées tout en minimisant leurs coûts.

TRIZ repose sur la mise en évidence des lois d'évolution des systèmes techniques et des contradictions à surmonter à chaque pas de cette évolution. Ces outils et méthodes ont l'originalité de conjuguer les capacités créatives de l'individu avec les démarches analytiques et rationnelles de l'ingénierie permettant ainsi d'augmenter le potentiel d'invention. Ils ont également permis de capitaliser les savoirs et savoir-faire des inventeurs en les codifiant pour une exploitation intensive par les ingénieurs de recherche et développement. Ils constituent tout naturellement la base des outils d'aide à l'innovation de demain.

Ce guide s'adresse aux personnes désireuses d'avoir une vision globale de TRIZ, appliquée à l'ingénierie, et de ses outils mais aussi souhaitant en devenir des utilisateurs réguliers. Pour cela, le guide n'approche pas les processus théoriques de formulation et de résolution de problème mis au point pour d'autres domaines. Il adopte une approche descendante allant des notions les plus générales aux exemples d'utilisation de ses techniques. En effet, ces dernières y sont expliquées et illustrées, de manière suffisamment détaillée pour que le lecteur puisse comprendre leur utilisation et les objectifs que l'on cherche à atteindre en les employant, sans pour autant aller jusqu'à un niveau d'expert.

La première partie introduit TRIZ et les principes fondamentaux qui en sont à l'origine. Elle présente également ses notions essentielles qui doivent être considérées comme des "fils rouges" de la réflexion. Il s'agit en effet de les garder présentes à l'esprit tout au long d'une étude afin d'aller plus vite, plus loin, et plus pertinemment en direction de la solution.

La deuxième partie présente une démarche de résolution d'un problème s'appuyant sur une utilisation des outils classiques de TRIZ. Elle propose une approche indiquant à chaque étape les objectifs que l'on cherche à atteindre et les différents moyens dont on dispose avec TRIZ pour y parvenir.

La troisième partie, quant à elle, regroupe un ensemble de fiches résumant l'utilisation de chaque outil de TRIZ, et proposant pour chacun une illustration tirée du domaine de l'automobile.

Au-delà d'une démarche de traitement de problèmes, ce guide vise à vous donner une vision de TRIZ comme un moyen de proposer d'une part des idées nouvelles sur des systèmes existants, et d'autre part des champs d'investigation par rapport à des thématiques originales comme, par exemple, une nouvelle fonction à réaliser. En cela, TRIZ se place comme un moyen d'invention par la résolution de problèmes résultant de l'évolution des systèmes techniques.

PRESENTATION ET NOTIONS ESSENTIELLES DE TRIZ

1 GENERALITES

1.1 HISTORIQUE

Le développement d'une Théorie de la Résolution des Problèmes Inventifs (traduction française de l'acronyme russe TRIZ) résulte des travaux réalisés par un ingénieur russe, Genrich Altshuller (1926-1998). Son statut d'expert en brevet d'invention dans la marine russe à l'âge de 20 ans fut le déclencheur et le point de départ de sa recherche d'une méthode visant à faciliter les mécanismes inventifs et l'émergence d'inventions. Après plusieurs articles et ouvrages portant les prémices de ce qu'allait devenir sa théorie, la publication en anglais du livre : «La créativité en tant que science exacte » en 1979 annonça la naissance de TRIZ. Après 1986, Altshuller étendit ses recherches au-delà des domaines techniques, vers les domaines des sciences fondamentales et de la pédagogie, aidés par les personnes qui depuis 1971, notamment au sein d'établissements d'enseignement et de recherche dans toute l'ex-URSS, s'étaient impliquées dans l'évolution de la théorie. La chute de l'empire soviétique, et l'expatriation de collaborateurs d'Altshuller vers l'Occident permirent à TRIZ de prendre un nouveau virage malgré le décès de celui-ci en 1998.

Il est intéressant de noter que la connaissance que nous avons en France, et plus généralement en occident, de cette théorie est plus réduite qu'en Russie où TRIZ est enseignée depuis 30 ans, et où on parle plutôt d'une science qui explore les mécanismes d'évolution des systèmes techniques. Dans le domaine de l'ingénierie, des méthodes analytiques et des techniques de résolution des problèmes ont ainsi été développées et ce sont celles-ci qui vont être présentées tout au long de ce guide.

1.2 LES NIVEAUX D'INVENTIVITE

Les recherches sur TRIZ commencèrent avec l'hypothèse qu'il existe des principes universels d'invention, et que si ces principes pouvaient être identifiés et formalisés, ils pourraient être enseignés aux gens pour rendre le processus d'invention plus prévisible. Cette recherche s'est poursuivie pendant 50 ans. Près de 2 millions de brevets ont été examinés, classés par niveau d'inventivité, et analysés pour chercher des principes génériques d'invention. Les trois premières constatations de cette recherche furent les suivantes :

- ⇒ Des problèmes et des solutions étaient répétés dans l'industrie et dans les sciences.
- ⇒ Des modèles d'évolution technique étaient répétés dans l'industrie et dans les sciences.
- ⇒ Des innovations utilisaient des effets scientifiques en dehors des domaines dans lesquels ils étaient développés.

Une invention peut aussi bien être une amélioration mineure d'un produit déjà existant et n'ayant demandé que peu de temps pour être trouvée, qu'une découverte résultant de recherches très longues (on peut la caractériser par un nombre d'essais au cours d'un processus de recherche de type essais-erreurs). Il était donc intéressant de hiérarchiser les inventions suivant cinq niveaux d'inventivité.

On peut considérer que TRIZ est plus performante pour obtenir des inventions situées entre les niveaux 2 et 4 de cette classification.

Niveau	Degré d'inventivité	% de solutions	Origine des connaissances	Nombre d'essais
1	Solution apparente <i>Le dimensionnement d'une pièce mécanique.</i>	32 %	Connaissance d'un individu	10
2	Amélioration mineure <i>Le volant réglable en hauteur</i>	45 %	Connaissance de l'entreprise	100
3	Amélioration majeure <i>Les pneus radiaux</i>	18 %	Connaissance de l'industrie	1 000
4	Nouveau concept <i>L'airbag</i>	4 %	Connaissances toutes industries confondues	100 000
5	Découverte <i>Les polymères</i>	< 1 %	Ensemble des savoirs	1 000 000

D'après G. Altshuller, 1969, 1973, *The innovation algorithm*.

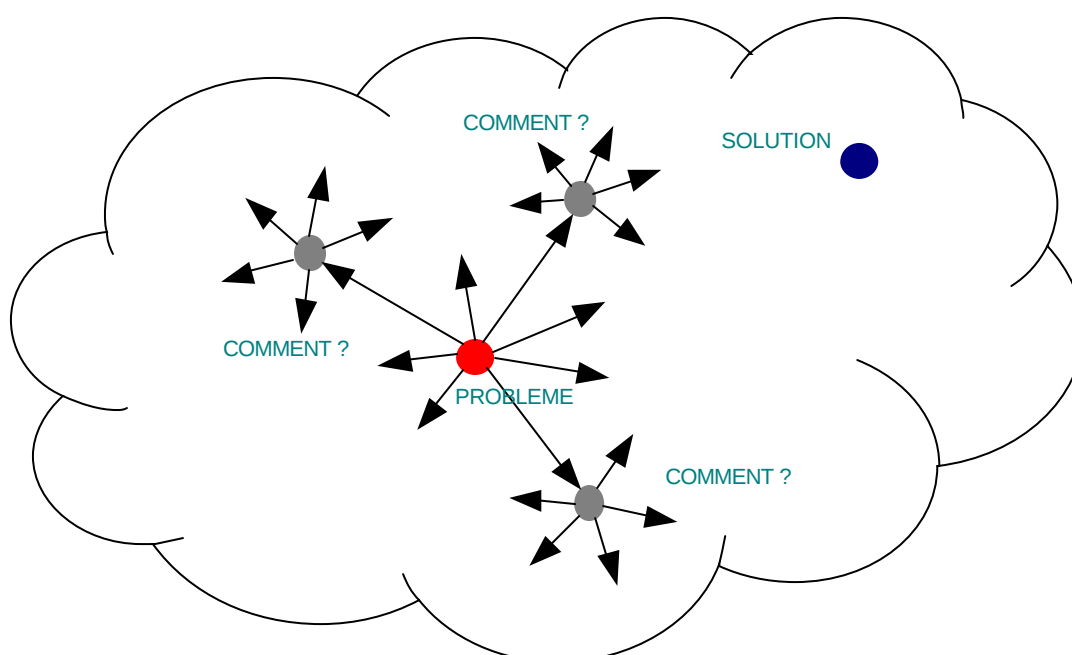
1.3

LA RESOLUTION D'UN PROBLEME, LA RECHERCHE D'UNE SOLUTION

Les différentes approches permettant la résolution d'un problème laissent souvent un goût amer au concepteur. Les solutions n'apparaissent que très rarement à l'issue de la mise en application d'une technique ou d'une méthode. On peut en distinguer plusieurs types dans le cadre de la recherche d'une solution :

- Les techniques de type *«essais et erreurs»* :

La direction de la recherche n'est pas connue, la prospective de recherche de solutions se fait de manière aléatoire, le but étant de couvrir un maximum d'espace de solutions en multipliant les essais.



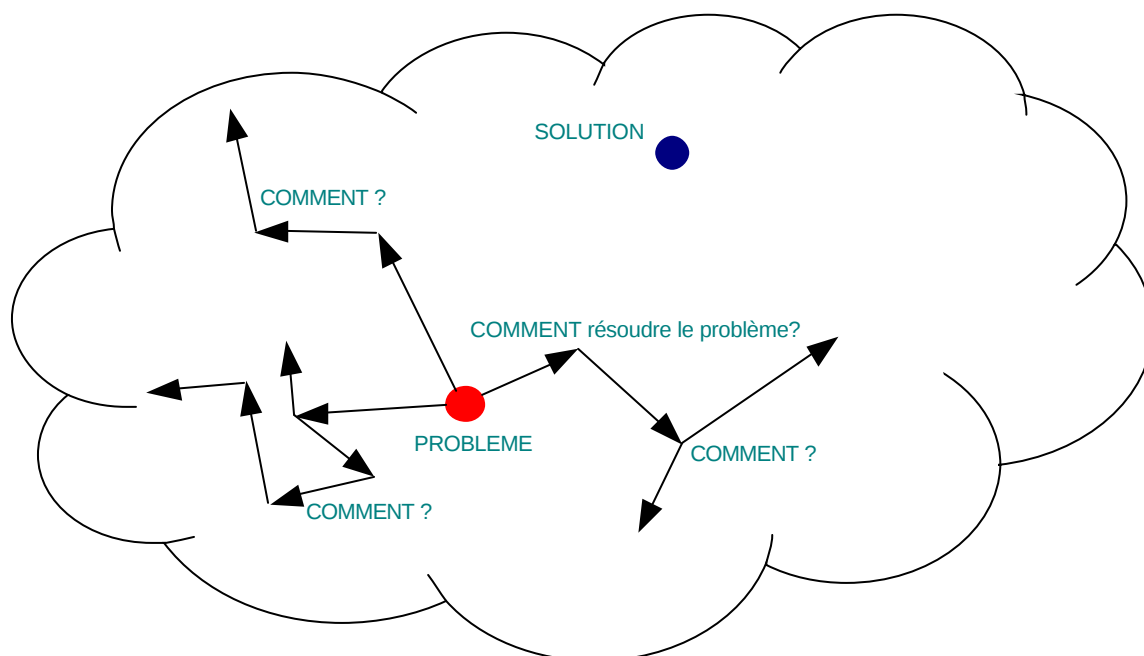
Inconvénients :

- Le pourcentage de chance de parvenir à une solution est réduit.
- Il manque une méthode afin de guider la résolution.
- Des ressources importantes sont nécessaires (temps, personnes, coût...) pour couvrir tout l'espace de solutions.

Si l'on considère que la créativité est une capacité intrinsèque des individus, le travail de groupe et la mise en commun des idées peuvent la favoriser. L'organisation de séance de créativité peut permettre de faire émerger des idées originales répondant à la problématique, notamment grâce à des outils comme le *brainstorming*.

- Les techniques de type *brainstorming*² :

Le brainstorming est basé sur la logique associative. Il consiste d'abord en une rencontre d'idées la plus large possible et sans jugement de valeur. Les idées émises sont ensuite critiquées et évaluées.



L'avantage de cette technique est le nombre de points de vision qu'elle regroupe. L'idée est de privilégier la pluridisciplinarité des personnes afin d'observer le problème sous divers angles. Cette multiplicité (si elle ne dépasse pas un certain stade) peut permettre de parvenir plus rapidement à la solution, mais reste néanmoins directement liée aux compétences des individus. Ainsi, cette stratégie nécessite beaucoup de ressources en temps, en personnes, en argent.

Inconvénients :

- On ne trouve que des solutions se trouvant dans les domaines de compétences des membres du groupe.
- Il manque un objectif bien défini afin d'orienter la résolution.
- L'impression de se trouver face à une impasse peut bloquer la production créative.

Une bonne stratégie serait alors une analyse méthodique de la situation problématique. Cette stratégie serait constituée d'un ensemble de règles qui, appliquées aux contraintes et données du problème, serait susceptible de fournir une réponse optimale.

1.4

LES PRINCIPES FONDAMENTAUX DE TRIZ

TRIZ s'appuie sur certains principes qui se dégagent des recherches effectuées par G. Altshuller sur la résolution des problèmes :

1 – Existence de tendances logiques d'évolution des systèmes :

Il existe des lois² d'évolution des systèmes. Ces lois peuvent être découvertes, étudiées et formalisées pour être appliquées à la résolution de problèmes.

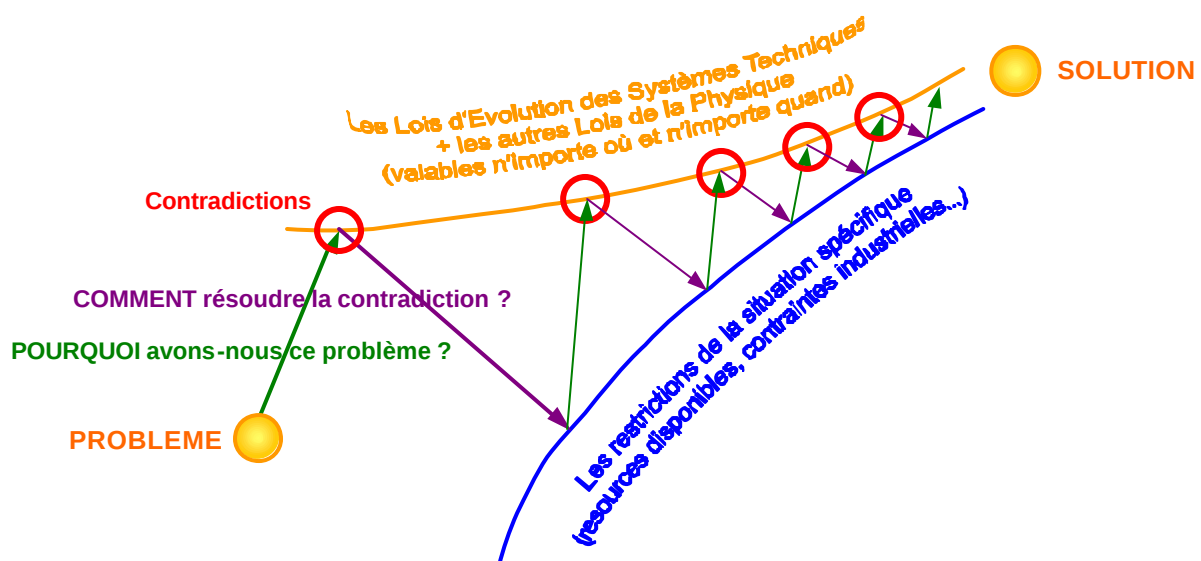
2 – Une contradiction comme cause de tout problème :

Durant leur évolution, les systèmes surmontent des contradictions issues de l'opposition des lois de la nature à ces évolutions.

3 – Les conditions spécifiques de la situation problématique :

Tout problème ne peut être résolu qu'à travers l'analyse des conditions spécifiques de la situation problématique.

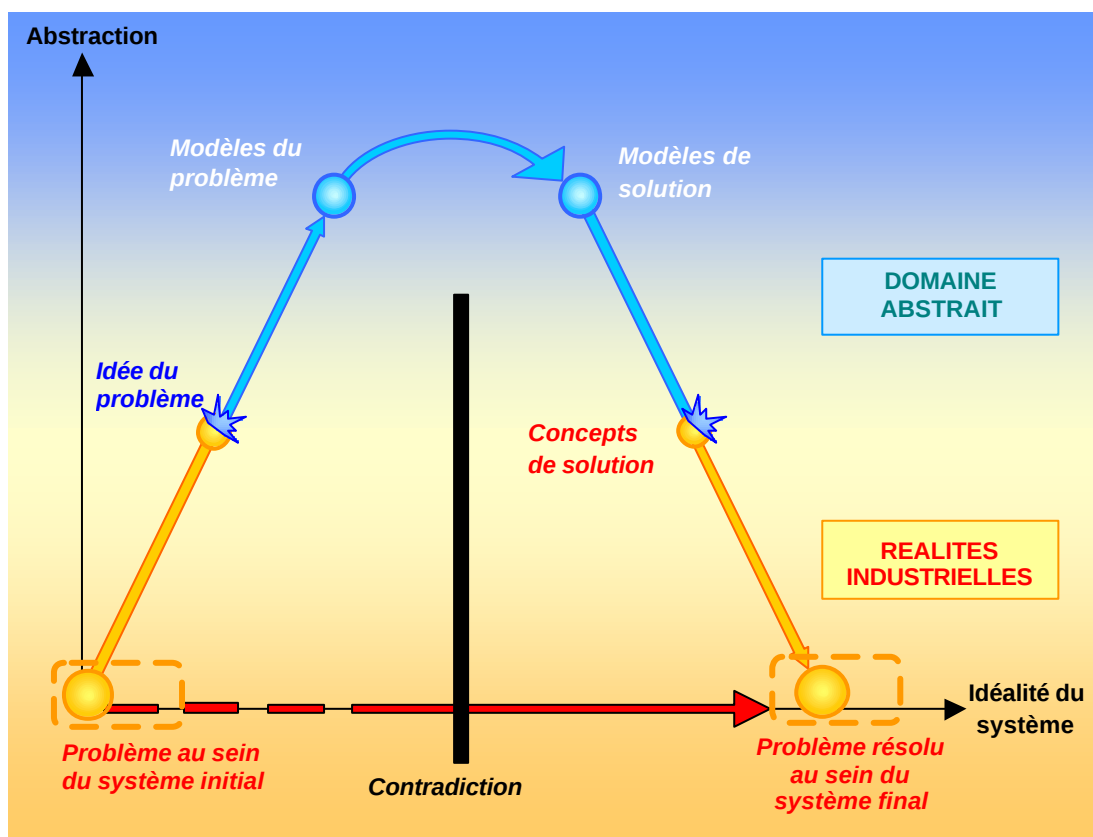
L'objectif de TRIZ est donc d'apporter, par des outils et des méthodes, une orientation dans la bonne direction comme le montre le schéma suivant :



D'après le support de cours de N. Khomenko

4 – La nécessité d'une abstraction de la connaissance :

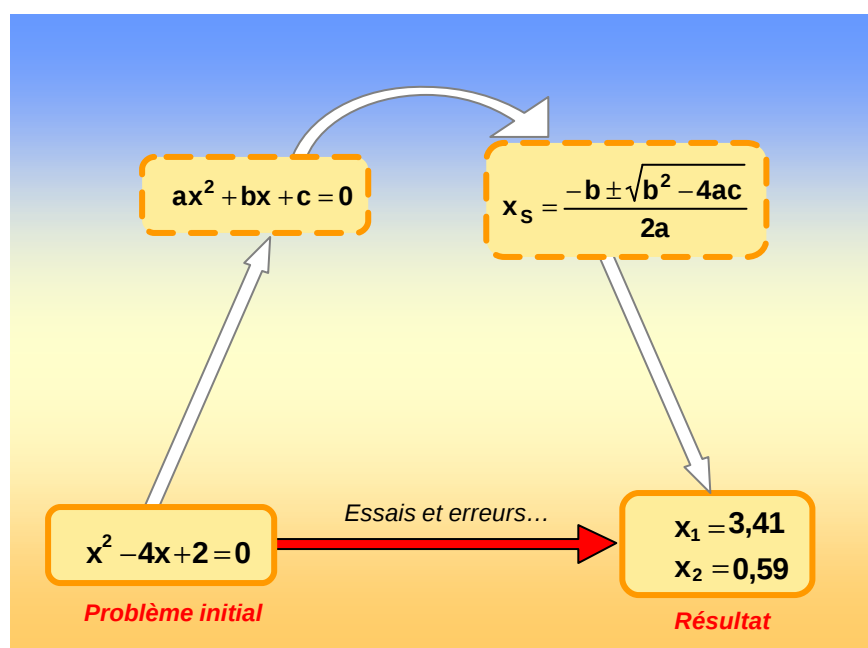
TRIZ est un moyen d'accès à une abstraction de la connaissance, cette dernière étant nécessaire pour surmonter toute contradiction et la résoudre en faisant appel à une large connaissance.



Une analogie mathématique permet d'illustrer cette abstraction de la connaissance et l'intérêt d'utiliser des modèles de problème.



Une méthode de type 'essais et erreurs' peut permettre d'obtenir la solution mais nécessite beaucoup de temps.



2

NOTIONS ESSENTIELLES DE TRIZ

2.1

DEFINITION GLOBALE D'UN SYSTEME TECHNIQUE

LE SYSTEME TECHNIQUE (ST) est un ensemble d'éléments interagissant dans un ordre bien défini, qui possède des propriétés autres que les propriétés des éléments séparés et qui est destiné à remplir des fonctions utiles définies.

La Fonction Utile Primaire du système sera notée FUP.

2.2

L'INERTIE PSYCHOLOGIQUE

L'Inertie Psychologique représente les nombreuses barrières à la créativité et à notre aptitude à résoudre un problème. Elle a pour origine principale, l'influence de nos savoirs respectifs : *"vouloir faire comme on a l'habitude de faire..."*. Cette rigidité dans notre façon de penser nous interdit bien souvent de trouver une solution toute proche.

Les éléments qui participent à cette inertie psychologique sont :

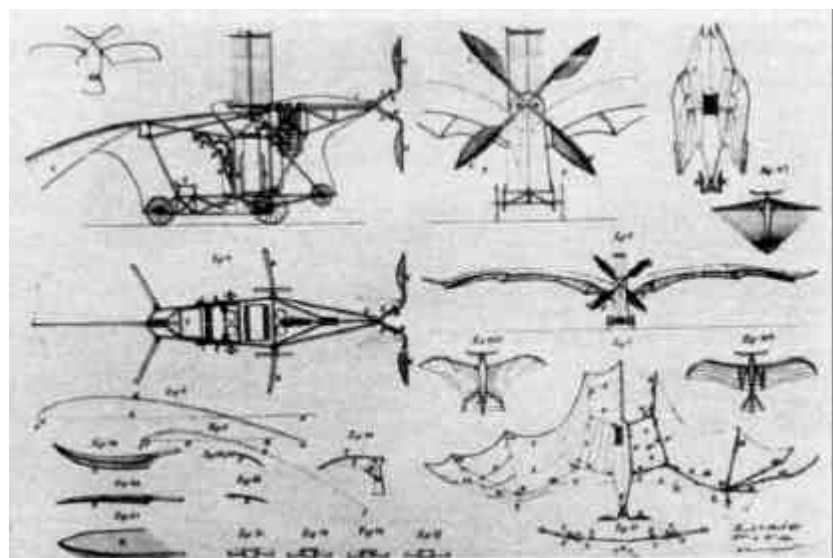
- les habitudes,
- les compétences trop pointues dans un domaine particulier,
- les inerties générées par le "jargon" du spécialiste.

Quelques règles doivent être respectées afin de ne pas subir l'Inertie Psychologique :

- ne jamais être persuadé que la solution réside dans notre domaine de compétence,
- favoriser la pluridisciplinarité,
- identifier les termes ou expressions porteurs d'inertie psychologique et les remplacer par d'autres plus neutres,
- respecter toutes les idées même les plus farfelues.

On croyait qu'on ne pourrait jamais faire voler un appareil plus lourd que l'air...

et pourtant...



Dessin extrait du brevet déposé par Clément Ader en 1890.

2.3

LE RESULTAT IDEAL FINAL (R.I.F.)

Pendant leur évolution, les systèmes techniques tendent à améliorer le rapport entre la performance du système et les ressources nécessaires pour réaliser cette performance.

Le perfectionnement des systèmes techniques apparaît donc orienté par un idéal de telle sorte qu'ils soient finalement l'incarnation la plus parfaite possible de l'action désirée. *Un système idéal serait alors un système qui n'existe pas mais dont la fonction est assurée d'une manière ou d'une autre.* Un tel résultat est appelé **Résultat Idéal Final**.

Avoir conscience de cet idéal peut montrer de nouvelles voies vers des solutions inédites, mais celui-ci demeure dans bien des cas utopiques.

L'idéal d'un système peut être caractérisé par la formule suivante :

$$D = \frac{\sum F_u}{\sum F_c + \sum F_n} = \frac{\sum Performances}{\sum Dépenses}$$

où :

D est le degré d'approche de l'idéal,

$\sum F_u$ est la somme des bénéfices des fonctions utiles du système,

$\sum F_c$ est la somme des dépenses (coûts) générées par le système,

$\sum F_n$ est la somme des dépenses des fonctions nuisibles causées par le système.



Si on s'intéresse à ce que pourrait être une peinture idéale, un exemple nous est donné par la basilique du Sacré Cœur sur la butte Montmartre à Paris. Elle fut édifée avec de la pierre de Château-Landon (au Sud-Est de Paris) qui, sous l'effet de l'eau de pluie, sécrète une substance blanche (le calcin) qui rend le Sacré Cœur blanc quand il pleut. Le bâtiment est donc peint sans aucune dépense. On peut alors imaginer que la peinture idéale sur une voiture serait celle qui se régénérerait lorsqu'on passe un jet d'eau sur la carrosserie. Elle serait donc directement liée à la nature du matériau utilisé pour réaliser la caisse.



2.4

LES RESSOURCES

Il est important de faire un état de toutes les ressources disponibles à l'intérieur du système, à l'extérieur de celui-ci, et au niveau du super-système, car celles-ci vont nous permettre de résoudre efficacement notre problème. La notion de ressource dans TRIZ porte donc sur tout ce qui n'est pas utilisé à son potentiel maximum dans le système. La mise en évidence de telles ressources permet ensuite de révéler des opportunités à partir desquelles la conception d'un système pourrait être améliorée.

Ces ressources peuvent être de plusieurs natures :

Substances : solides, liquides, gaz, plasma...

Champs : MaTHEM ⁽¹⁾

Mécanique
acoustique
Thermique
cHimique
Electrique
Magnétique



Champs de plus en plus contrôlables

Espace : espace vide dans le système, constant ou variable, naturel ou artificiel.

Temps : temps avant la réalisation de l'action utile principale, durée de sa réalisation, et temps disponible après.

Informations : informations transmissibles par des substances ou des champs.

Fonctions : utiliser des éléments disponibles pour exécuter des fonctions supplémentaires.

Il est important de connaître aussi l'évolution de ces ressources dans le temps et dans l'espace afin de savoir si elles peuvent répondre à notre besoin.

⁽¹⁾ Extrait du site web IDEATION

♦ Des exemples de champs utilisés dans l'ingénierie :

Mécanique	Acoustique & Vibrations	Thermique	Chimique	Electrique & Magnétique
<i>Forces centrifuges</i> <i>Gravité</i> <i>Inertie</i> <i>Elasticité</i> <i>Tension interne</i> <i>Forces de frottement</i> <i>Poussée d'Archimède</i> <i>Pression des liquides et des gaz (hydraulique, pneumatique...)</i> <i>Forces hydrodynamique et aérodynamique</i>	<i>Son</i> <i>Ultrason</i> <i>Résonance</i>	<i>Chauffage</i> <i>Refroidissement</i> <i>Transition de phase</i> <i>Tension thermique</i> <i>Choc thermique</i> <i>Radiation infrarouge</i>	<i>Diffusion chimique</i> <i>Interactions chimiques</i> <i>Osmose</i> <i>Odeur</i> <i>Goût</i> <i>Forces d'adhésion</i> <i>Combustion de substances</i>	<i>Courant électrique</i> <i>Charge électrique</i> <i>Décharge électrique</i> <i>Champ électrostatique</i> <i>Champ électromagnétique</i> <i>Champ magnétique</i> <i>Courant de Foucault</i> <i>Faisceau d'électrons</i> <i>Laser</i> <i>Lumière</i> <i>Rayons infrarouges</i> <i>Micro-ondes</i> <i>Ondes radios</i> <i>Rayons ultraviolets</i> <i>Rayons X</i>

♦ Des exemples de substances :

Des substances avec un changement de phase :

- *Facilement évaporable*
- *Facilement dissoluble*
- *Facilement inflammable*
- *Exothermique & endothermique (génération de chaleur & absorption de chaleur)*
- *Matériaux à mémoire de forme (métaux, plastiques)*

Des substances bon marché :

- *Le $^2\text{vide}^2$*
- *La mousse*
- *L'air, l'eau*
- *Matériaux sous forme de granulés*

D'autres substances :

- *Substances ferromagnétiques (bloc, poudre, liquide)*
- *Substances capillairo-poreuses*
- *Substances visqueuses / collantes*
- *Substances luminophores*

2.5

LES VEPOLES

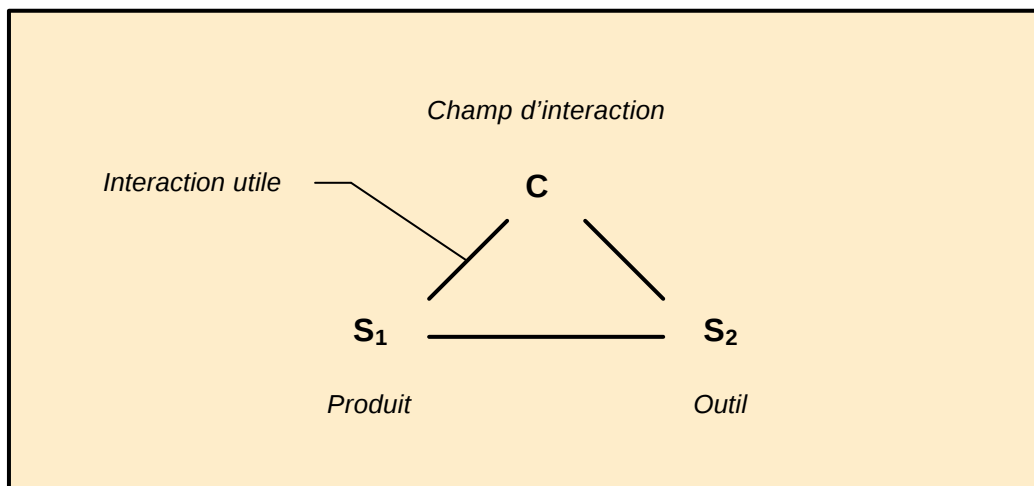
Un Vépole est un Système Technique minimal constitué d'un objet et d'un outil (des éléments matériels) dont l'interaction est assurée par un flux d'énergie (un champ). Le terme Vépole est tiré du russe et vient de la contraction de deux mots : *Vestchestvo* (substance), et *Pole* (Champ).

La Substance peut être constituée par n'importe quel objet, sans rapport avec sa complexité.

Le Champ (dans la modélisation Vépole) est une interaction, ~~et~~ non pas le sens physique du terme.

♦ Le modèle Vépole :

Ce modèle est construit grâce à un langage graphique spécifique permettant de décrire les raisons du problème sans utiliser de mot.



♦ Des modèles complets ou incomplets :

Un modèle Vépole complet doit inclure :

- o Un **produit S₁**, qui est nécessaire pour être transformé (produit, déplacé, modifié, amélioré, détecté, mesuré, protégé d'un effet néfaste)
- o Un **outil S₂**, qui fournit l'action requise.
- o Un **champ C**, qui fournit l'énergie nécessaire aux interactions.
- o Des **liens** entre les différents éléments du modèle (au moins deux).

Un modèle Vépole incomplet est un modèle auquel il manque au moins un des éléments précédents.

2.6

LES LOIS D'EVOLUTION DES SYSTEMES TECHNIQUES

Ces lois, que l'on peut considérer ici comme des tendances d'évolution, reflètent des interactions importantes, immuables et répétables entre les éléments des systèmes techniques et leur environnement au cours de leur processus d'évolution. Leur connaissance peut permettre de déceler et de formuler avec précision des problèmes d'invention.

Les lois d'évolution des systèmes techniques, sur lesquelles reposent tous les mécanismes essentiels de résolution des problèmes d'invention, sont formulées de la manière suivante :

.. **Les lois ²statiques² :**

Les lois statiques donnent une vision immobile, à un instant t du système. Elles ont pour objectif de vérifier l'intégralité structurelle et fonctionnelle du système.

- 1. Intégralité des parties du système.**
- 2. Libre passage d'énergie dans le système.**
- 3. Concordance des rythmes des parties du système.**

.. **Les lois ²cinématiques² :**

Dans les lois cinématiques, le système est désormais observé dans un repère espace / temps plus ample. L'analyse ne porte donc plus sur l'observation actuelle du système mais s'étend vers son passé de manière à repérer les inadéquations avec les lois cinématiques.

- 4. Augmentation du degré de dynamisation des systèmes.**
- 5. Augmentation du degré d'idéalité du système.**
- 6. Développement inégal des parties du système.**
- 7. Transition vers le super système.**

.. **Les lois ²dynamiques² :**

Cette famille de lois se singularise des deux précédentes par le fait qu'un système donné doit choisir s'il évolue en direction de la loi 8 ou de la loi 9. Elles sont en fait une projection vers le futur de notre système qui, en toute logique, est amené à ne suivre que l'une des deux voies. Le choix de poursuite de vie de notre système en accord avec la loi 8 ou la loi 9 n'est cependant pas complexe tant leurs directions sont opposées. Le concepteur peut donc aisément, en se projetant dans la logique de la loi, observer si une voie est aberrante et l'autre probable.

- 8. Transition du macro-niveau vers le micro-niveau.**
- 9. Augmentation du degré de Vépolisation des systèmes.**

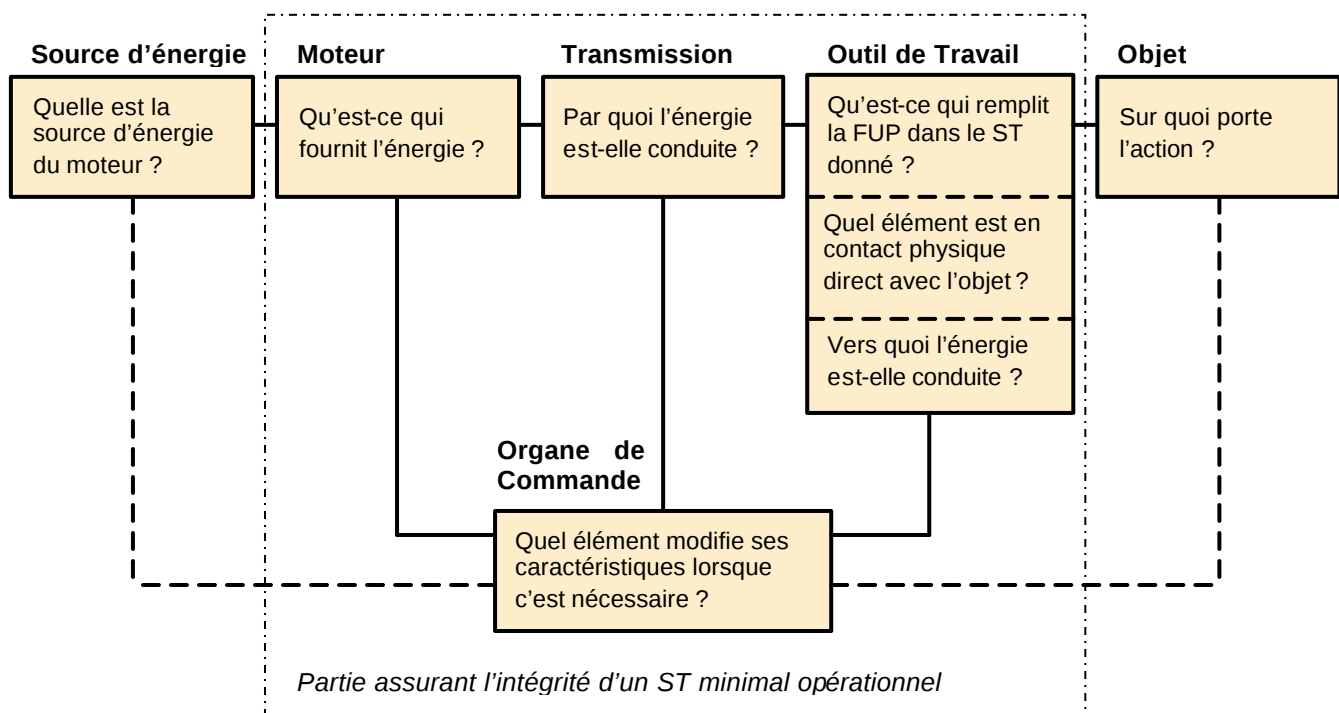
Loi 1 : Une condition indispensable pour qu'un système technique soit opérationnel est une aptitude minimale de toutes les parties principales du système à fonctionner.

Chaque ST doit être composé de quatre parties opérationnelles :

- un moteur : **Mtr.**
- une transmission : **Tr.**
- un organe de travail : **OT.**
- un organe de commande : **OC.**

Un ST naît donc dès qu'un objet technique acquiert la capacité de remplir la FUP sans intervention de l'homme, c'est-à-dire à partir du moment où l'organe de travail est actionné non plus par l'homme, mais par une transmission et un moteur. Par ailleurs, il ne faut pas confondre le moteur et la source d'énergie ; ils peuvent coïncider, mais pas systématiquement. La *source d'énergie* peut, par contre, venir de l'extérieur, y compris de l'homme. Elle se transforme dans le moteur en une forme d'énergie dont le ST a besoin.

Le fait de connaître cette loi permet de déterminer avec certitude si un ensemble d'éléments est un système technique. Néanmoins lors de l'analyse des systèmes techniques, il est parfois difficile de déterminer précisément et sans difficulté les parties du système. Mais certaines questions peuvent permettre de déterminer les différents éléments d'un ST ; on retrouve celles-ci sur la figure suivante représentant le schéma complet d'un ST opérationnel :



Corollaire : Pour qu'un ST soit contrôlable, il faut qu'au moins une de ses parties soit contrôlable.

(Etre contrôlable signifie changer ses propriétés, ses paramètres, selon les besoins de celui qui effectue le contrôle)

SYSTEME : la voiture.

FONCTION : transporter une charge.

CONTEXTE : augmenter la vitesse de la voiture.



Objet : la charge (qui doit être déplacée).

Outil de travail : la carrosserie de la voiture, les sièges.

Transmission : la chaîne de transmission, la structure du châssis.

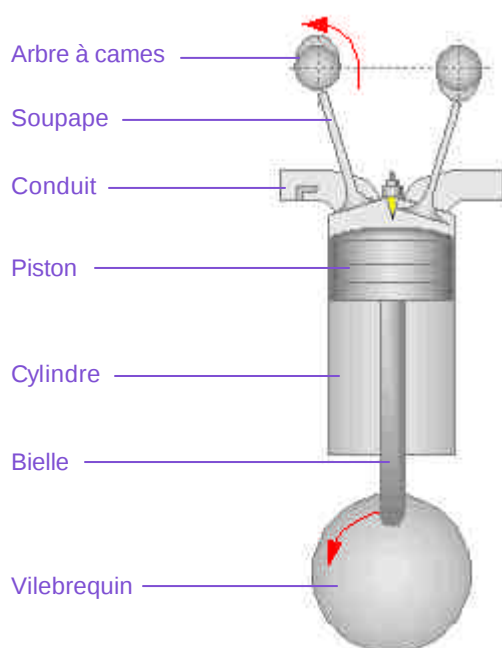
Moteur : le moteur à combustion.

Organes de commande : le volant, les freins...

SYSTEME : le moteur à essence.

FONCTION : obtenir la rotation d'un arbre à partir d'une réaction chimique.

CONTEXTE : améliorer le rendement.



Objet : différentes vitesses de rotation de l'arbre.

Outil de travail : la bielle.

Transmission : le piston + le cylindre.

Moteur : la surpression du gaz suivant l'explosion.

Organes de commande : l'étincelle, l'ouverture des soupapes...

Loi 2 : La circulation libre et efficace de l'énergie à travers toutes les parties du système est une condition indispensable à sa survie.

Corollaire : pour qu'une partie d'un système soit contrôlable, il est indispensable d'assurer un libre passage de l'énergie entre ladite partie et son organe de commande.

Tout système technique est à la fois conducteur et convertisseur d'énergie. L'énergie amenée de l'extérieur ou produite par l'élément moteur assure le fonctionnement du ST (et donc de toutes ses parties), la compensation des pertes, le contrôle des paramètres de fonctionnement des parties du système et de l'objet sur lequel il agit. Ainsi, il faut toujours chercher à faire en sorte que le ST soit non seulement un bon conducteur d'énergie, mais qu'il compense également des pertes d'énergie minimales (c'est-à-dire : des pertes lors de la transformation, des déchets inutiles, une énergie emportée par l'objet).

La transmission de l'énergie d'une partie à une autre peut être :

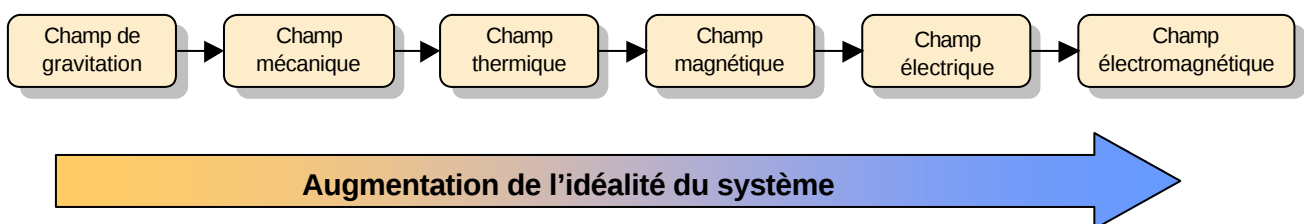
- *matérielle* (un arbre, un pignon, un choc),
- *occasionnée par un champ* (un champ magnétique, un courant électrique),
- *une combinaison des deux* (par exemple un flux de particules chargées).

En pratique, il existe trois règles auxquelles il faut se conformer :

1. Lors de la synthèse d'un ST, il faut chercher à utiliser un seul champ (une seule forme d'énergie) pour tous les processus de fonctionnement et de contrôle dans le système.

Lors de l'évolution d'un ST, tous les nouveaux sous-systèmes doivent fonctionner avec l'énergie qui passe par le système ou avec une énergie gratuite (l'énergie de l'environnement ou une énergie sous forme de déchets d'un autre système).

2. Si le ST est composé de matériaux qui ne doivent pas être modifiés, on utilise le champ que ces matériaux conduisent le mieux.
3. S'il est possible de modifier les matériaux des parties du système, on remplace un champ difficilement contrôlable par un champ facilement contrôlable selon le schéma suivant :

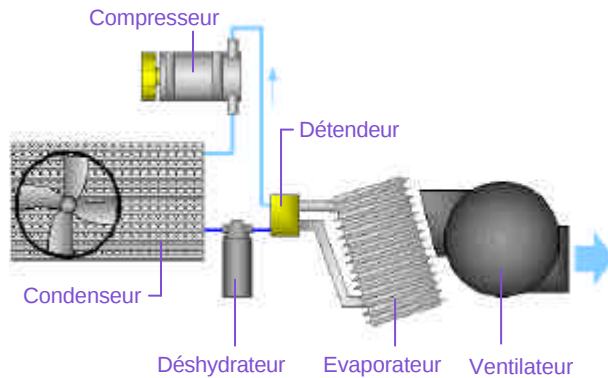


L'ordre des questions permettant d'appliquer cette loi lors de la résolution de problèmes d'invention est le suivant :

- ☐ Est-ce que l'énergie passe librement à travers le ST ?
- ☐ Est-ce que la conductibilité entre les parties du ST et son organe de commande est bonne ?
- ☐ Quel est le champ que les substances du ST conduisent le mieux ?
- ☐ Est-ce qu'il est possible d'utiliser un champ plus contrôlable ?
- ☐ Quel champ (disponible ou gratuit) vaut-il mieux utiliser pour le nouveau système ?

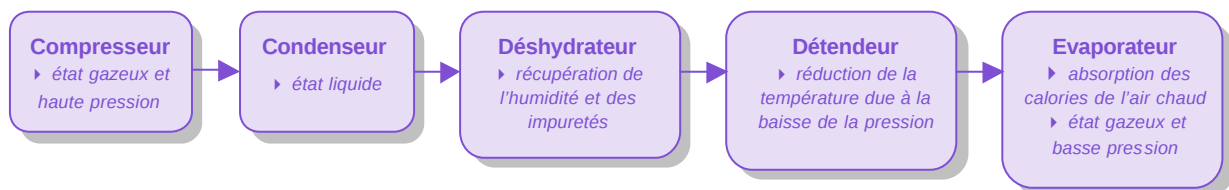
Deux questions additionnelles concernent les problèmes de mesure :

- ☐ Quelle est l'énergie la plus facile à conduire jusqu'à l'Objet ?
- ☐ Quelle est l'énergie la plus facile à évacuer et à transmettre au Récepteur d'énergie ?

LA CLIMATISATION AUTOMOBILE :*(de nombreuses transformations...)***PRINCIPE :**

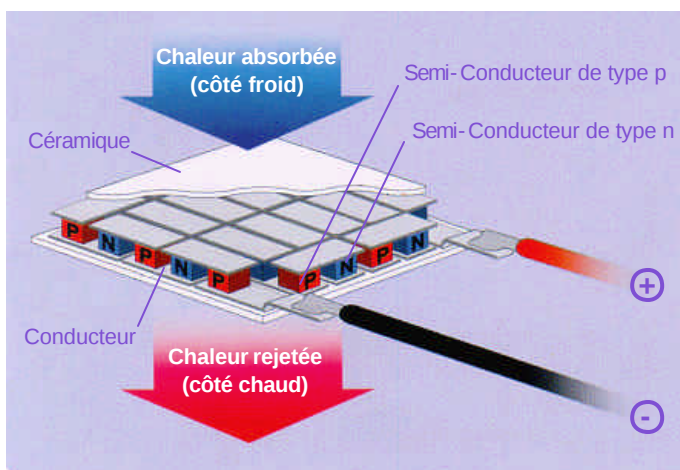
Pour obtenir de l'air froid, le moyen le plus simple est de souffler de l'air sur une surface humide. L'eau en s'évaporant va refroidir l'air à son contact. En se refroidissant à nouveau, la vapeur d'eau va redevenir de l'eau.

La climatisation utilise un réfrigérant plus efficace que l'eau mais le principe reste à peu près identique avec une composante supplémentaire : la pression. Ce réfrigérant est un liquide qui bout à faible température (bien en dessous des 100°C de l'eau).

FONCTIONNEMENT :

Enchaînement des transformations réalisées sur le réfrigérant

Chaque transformation du réfrigérant constitue un blocage à la libre circulation de l'énergie et engendre des pertes au niveau du rendement global du système.

L'EFFET PELTIER :*(une seule transformation de l'énergie...)*

En 1834, le physicien français Jean Peltier découvrit que lorsqu'un courant électrique parcourt un circuit composé de matériaux conducteurs dissemblables, la chaleur est absorbée au niveau d'une jonction et rejetée au niveau de l'autre. Ce phénomène est appelé "l'effet Peltier".

Elaborés à partir de la découverte de Peltier, les modules thermoélectriques sont des pompes à chaleur très efficaces, convertissant directement l'électricité en froid.

Avec leur petite taille, leur rendement, leur sûreté et leur respect de l'environnement, les modules thermoélectriques sont considérés comme étant la source de froid la plus efficace pour de nombreuses applications.

Le système n'utilise qu'un seul effet physique, évitant ainsi de nombreuses transformations et permettant d'obtenir un meilleur rendement que le système présenté au-dessus.

Loi 3 : La concordance (ou la discordance intentionnelle) de la fréquence des oscillations (ou de la périodicité de fonctionnement) de toutes les parties d'un système technique est une condition indispensable à sa survie.

Un aspect de cette harmonisation du rythmes des parties d'un système : l'utilisation de la résonance :

Les systèmes fonctionnant correctement sont ceux dans lesquels un type de vibrations est sélectionné de manière à ce que ses parties ne se contrarient pas et remplissent au mieux la fonction utile. Ils sont, par voie de conséquence, opérationnels.

On distingue deux types de vibrations : *propres* et *forcées*. En d'autres termes, certains systèmes peuvent osciller *comme ils l'entendent* et d'autres seront *contraints à osciller par l'action d'une force extérieure*. La fréquence des vibrations propres est une propriété indissociable de tout système. Elle dépend uniquement des caractéristiques de l'objet même. Le plus intéressant commence quand la fréquence des actions d'un effort extérieur coïncide avec la fréquence propre des vibrations : c'est le phénomène de résonance.

La résonance peut être à la fois utile et nuisible. Par conséquent, pour améliorer le fonctionnement d'un système il faut soit accorder les vibrations des parties soit, au contraire, les désaccorder. L'utilisation de la résonance (ou la prévention de son apparition) est une méthode extrêmement efficace. On améliore ainsi le fonctionnement d'un système technique par une simple modification des éléments (dimensions, masse, fréquence). Il n'est pas indispensable d'introduire dans le système quelque chose de nouveau. Toutefois, cette loi est très rarement appliquée. Il existe de nombreuses solutions techniques dans lesquelles les rythmes ne sont pas accordés ou d'autres où ils sont accordés en engendrant une combinaison néfaste. C'est pourquoi une grande classe de problèmes est liée à la nécessité de rétablir "l'ordre logique" dans ces systèmes qui vibrent de façon incorrecte.

En pratique, il existe quelques règles.

1. Dans des systèmes techniques, l'action d'un champ doit être accordée (ou désaccordée) avec la fréquence propre de l'objet (ou de l'outil).
2. Dans les ST, les fréquences des champs utilisés doivent être accordées (ou désaccordées).
3. Si deux actions (par exemple, le mesurage et la modification) ne sont pas compatibles, alors on réalise une action dans les moments de pause d'une autre action. Toutes les pauses d'une action doivent être remplies par une autre action utile.
4. S'il faut mesurer les paramètres d'un système, dont le changement influe sur la fréquence propre des vibrations, on accorde (ou désaccorde) la fréquence propre du système avec l'action d'un champ extérieur et on évalue le changement des paramètres contrôlés selon l'apparition de la résonance.

Les **véhicules hybrides** sont aujourd'hui équipés d'un double système de propulsion, résultant de l'association d'un moteur thermique et d'un moteur électrique.



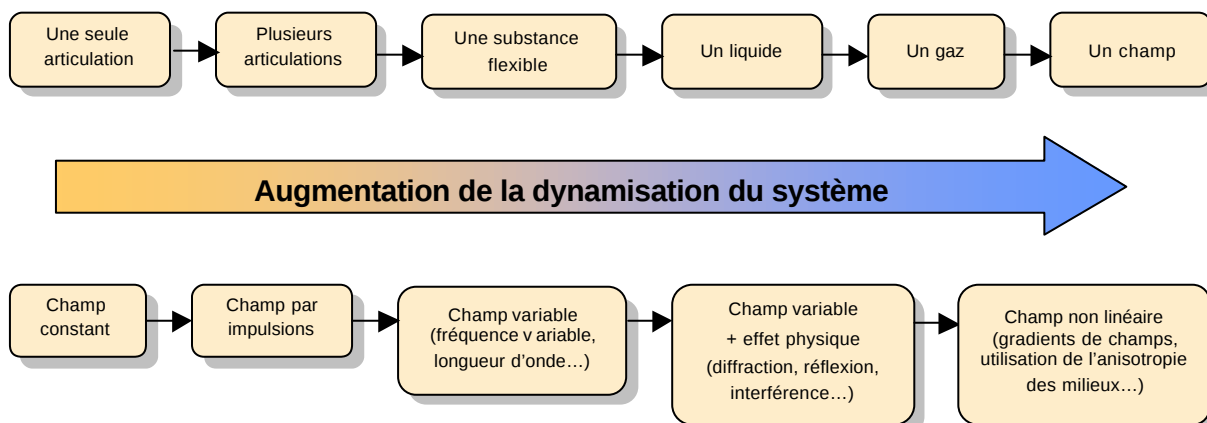
La Xsara DYNACTIVE

Dans le cas d'un véhicule hybride "parallèle", le moteur thermique peut aussi à la fois entraîner un alternateur et le véhicule lui-même. Une transmission connecte un des deux moteurs, ou les deux à la fois en fonction du fonctionnement "ville" et "route". La périodicité de fonctionnement des deux moteurs est donc déterminée par les conditions de conduite.

- **En fonctionnement ²ville²**, le véhicule permet de rouler en mode purement électrique grâce au moteur électrique qui utilise l'énergie stockée dans la batterie. Le moteur thermique est alors coupé et le véhicule est ainsi "propre" dans son utilisation.
- **En fonctionnement ²route²**, le moteur thermique entraîne le véhicule, mais permet aussi de recharger les batteries. Ces dernières peuvent également alimenter le moteur électrique en cas de besoin temporaire de puissance supplémentaire.
 - *Ainsi pour des courtes accélérations, le moteur électrique peut apporter un supplément de puissance au moteur thermique.*
 - *En cas de ralentissement, le moteur électrique récupère l'énergie et recharge les batteries.*

Loi 4 : Pour augmenter leur efficacité, les systèmes rigides doivent devenir dynamiques, autrement dit, ils doivent évoluer vers une structure plus souple, rapidement modifiable et vers un régime de fonctionnement qui s'adapte aux changements de leur environnement.

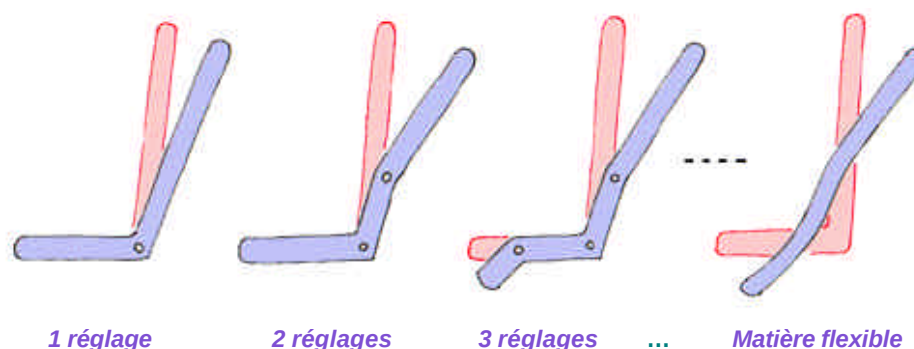
Cette dynamisation du système technique est liée à la transformation des substances et des champs de celui-ci selon le schéma suivant :



En pratique...

L'utilisation de la loi de dynamisation (comme de toutes les autres lois) simplifie considérablement, non seulement le processus de résolution, mais aussi la recherche de problèmes. Sachant que tout système technique passe par les étapes de dynamisation, il faut juste déterminer l'étape à laquelle il se trouve actuellement et évoluer à l'étape suivante. La seule difficulté consiste à déterminer l'endroit "malade" dans ce système. Pour cela, il suffit d'appliquer une règle très simple : la partie du système qui subit le plus de contraintes de la part de l'environnement doit être dynamisée en premier lieu.

Si les ingénieurs peuvent, aujourd'hui, nous proposer des sièges de plus en plus confortables et ajustables, cela est dû aux nouveaux matériaux mis à leur disposition pour les construire. Certains s'ajustent déjà à la morphologie du conducteur en proposant des ajustements de la hauteur du siège et de son emplacement longitudinal ainsi que ceux des supports lombaires, latéraux et des cuisses de même que la hauteur de l'appuie-tête. On peut alors imaginer des sièges qui s'ajusteront automatiquement et très graduellement, pendant un long trajet, pour combattre la fatigue...



Loi 5 : Le développement de tout système technique tend vers le niveau le plus élevé de perfectionnement améliorant ainsi le rapport entre la performance du système et les dépenses nécessaires pour réaliser celle-ci.

Le système technique idéal est un système dont la masse, le gabarit et la capacité énergétique tendent vers zéro, alors que son aptitude à remplir les fonctions ne diminue pas.

$$I = \frac{\sum P \quad (\text{performances})}{\sum D \quad (\text{ressources dépensées})}$$

Dans le cas extrême, le système technique idéal est un système qui n'existe pas mais qui conserve et remplit ses fonctions. Etant donné qu'un objet matériel est indispensable pour remplir une fonction, la fonction d'un système disparu (idéalisé) doit être effectuée par d'autres systèmes (des systèmes techniques voisins, super-systèmes ou sous-systèmes). Cela signifie que certains systèmes se transforment de façon à remplir des fonctions supplémentaires, notamment les fonctions des systèmes disparus. La fonction "étrangère" peut être identique à celle du système qui la réalise, dans ce cas on voit tout simplement s'accroître la Fonction Utile Primaire (FUP) du système donné. Si les fonctions ne coïncident pas, on voit augmenter le nombre de fonctions du système.

En pratique... trois principales directions pour augmenter le degré d'idéalité d'un système

1. Amélioration de la FUP sans augmenter les dépenses nécessaires pour réaliser celle-ci.
2. Diminution des dépenses sans dégrader les performances du système.
3. Transition vers le super-système.

En une centaine d'années, l'automobile a fortement évolué, c'est une évidence. Il suffit de se replonger trente ans en arrière pour comparer une Citroën 11 CV (1936) et une C5 2.2 HDi 16v (2001) actuelle pour mesurer le progrès : confort (forte baisse des bruits dans l'habitacle), durabilité (qui parle encore de "faire un joint de culasse" ?), performances (205 km/h contre 110 km/h) et consommation (5 l/100 km au lieu de 12 l/100 km en consommation extra-urbaine). Quel progrès !



11 CV Cabriolet



C5 2.2 HDi 16v

Loi 6 : Les parties du système se développent de manière inégale : plus l'évolution des parties est inégale et plus le système devient complexe. Il en résulte une apparition de contradictions physiques et techniques qui, à leur tour, entraîneront de problèmes pour le développement futur du système. L'évolution logique du système ne sera alors possible qu'au travers de la résolution de ces contradictions.

En pratique... Comment apparaissent les irrégularités ?

1. L'évolution d'un super-système nécessite d'accroître les performances du système technique considéré.

Afin de rendre un véhicule électrique plus attractif, on recherche entre autres à augmenter son autonomie.

2. Il devient alors nécessaire de renforcer les propriétés des composants du système afin d'améliorer les performances de celui-ci.

On cherche alors à diminuer la taille et le poids des batteries, à augmenter leur capacité, et à diminuer la consommation du véhicule.

3. Pendant le perfectionnement d'un des composants, les interactions de celui-ci avec les autres éléments du système peuvent se dégrader faisant apparaître des contradictions.

< La batterie > doit être < petite >, afin de pouvoir être intégrée au véhicule.
< La batterie > doit être < volumineuse >, afin de permettre une autonomie intéressante.

4. Pour résoudre ces nouvelles contradictions, de nouveaux composants (substance, sous-systèmes) doivent être intégrés.

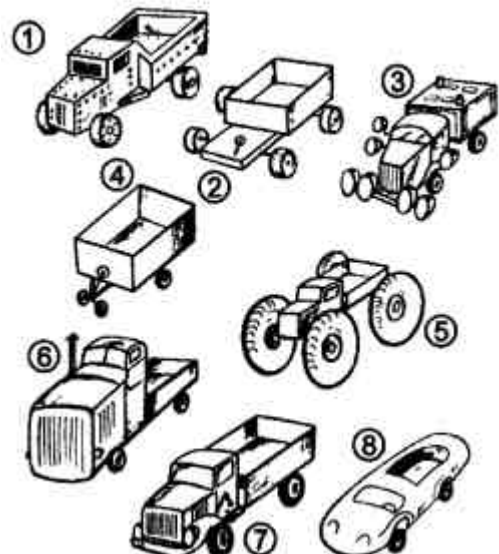
... ⇒ batterie Li-Cad ⇒ batterie Li-Ion ⇒ ... ???



Des propositions pour la conception d'un nouveau camion d'après différents spécialistes :

1. Un spécialiste de la résistance des matériaux.
2. Un ingénieur de production.
3. Un électricien.
4. Un spécialiste de la remorque.
5. Un spécialiste des pneus.
6. Un spécialiste des moteurs.
7. Un chef de projet.
8. Un spécialiste de l'aérodynamique.

Le point de vue du concepteur peut avoir des conséquences sur le développement inégal des parties du système...



D'après A.V. Podkatilin et M.M. Zinovkina

Loi 7 : *Un système ayant épuisé toutes ses possibilités de développement peut fusionner à un super système en tant qu'une de ses composantes. Tout développement ultérieur de ce sous-système passera alors par le développement du super-système.*

Notons qu'il est possible d'étendre, dans cette loi, la notion de super-système au système adjacent qui, s'il peut assumer les fonctions du système étudié, élimine la nécessité de son existence. L'analogie à la notion d'intégration de fonction est ici clairement formalisée, elle participe également à l'évolution de notre système vers l'idéalité.

.. **La réunion des systèmes en un super-système comporte quelques avantages :**

1. Certaines fonctions des systèmes se transmettent à un super-système.
2. Certains sous-systèmes sortent du ST et, après s'être réunis en un seul ST, ils deviennent partie du super-système.
3. Les systèmes réunis en un super-système acquièrent de nouvelles fonctions et propriétés.



Airbag

Passage des vitesses

Freinage

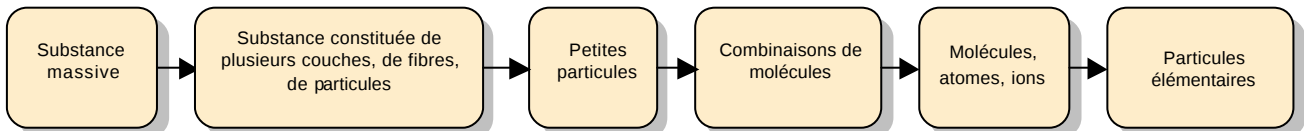
Clignotants

C CROSSER

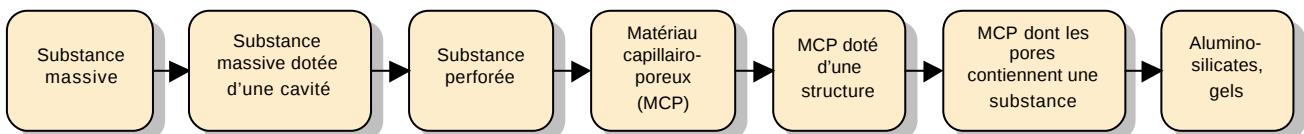
Loi 8 : *Le développement des organes de travail du système passe d'abord par le macro-niveau et évolue ensuite vers le micro-niveau. La notion de macro-niveau et de micro-niveau est directement liée au niveau structurel observé (solide, granulés, poudre, liquide, champs). Cette loi reflète la tendance de l'évolution des systèmes techniques vers une miniaturisation des composantes du système.*

Il existe trois voies de transition du macro-niveau au micro-niveau :

1. *L'augmentation du degré de segmentation de la substance et la réunion des parties segmentées en un nouveau système :*



2. *L'augmentation du degré de segmentation du "mélange" de substance et de vide (transition vers les matériaux capillairo-poreux) :*



L'atout le plus spectaculaire de la transition vers les MCP est la baisse de poids à solidité identique.

3. *La substitution dans un système d'une partie matérielle par un champ.*

Il est alors possible de remplacer une partie du système :

- par une substance susceptible, en interaction avec un champ, d'accomplir les actions requises.
- ou bien par le champ lui-même, sachant que les substances présentes dans le système ou dans l'environnement peuvent être en même temps une source de champ.

Evolution de la substance des pneus d'automobile :

- ☐ Pneu en matière massive.
- ☐ Pneu doté d'une cavité remplie d'air : chambre à air.
- ☐ Pneu muni de plusieurs chambres à air : la cavité est divisée par des cloisons.
- ☐ Pneu en matériau macro-poreux.
- ☐ Pneu en matériau capillairo-poreux (MCP).
- ☐ Pneu ayant une cavité remplie par des particules poreuses de polymère et par une substance sous forme de gel.



Loi 9 : *Le développement des Systèmes Techniques tend vers une complexification des Vépoles : les systèmes non-vépolisés, c'est-à-dire constitués de vépoles incomplets, cherchent à devenir vépolisés, alors qu'à l'intérieur des systèmes vépolisés, le développement s'effectue au moyen de la multiplication des liens entre les éléments, ainsi que de l'augmentation de la contrôlabilité et du nombre d'éléments.*

Cette loi s'appuie pour l'essentiel sur une dimension importante : dans un Système Technique, c'est la partie du vépole qui éprouve le plus de difficultés lors de la réalisation de la FUP qui va se complexifier. En outre, n'importe quel élément ou lien dans un vépole peut constituer le point «sensible», c'est-à-dire la partie où l'on va rencontrer des difficultés.

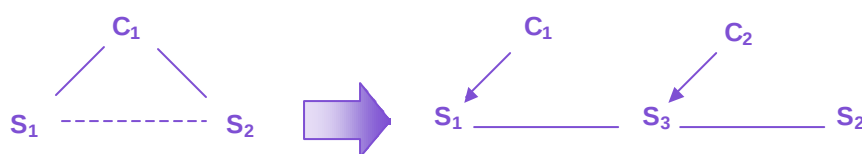
En pratique... cette complexification se déroule comme suit :

- ❑ on mobilise les ressources en terme de substance et de champ (Ressources Vépoles). Pour cela, on utilise de manière plus complète les ressources disponibles ou celles qui sont ²gratuites² ;
- ❑ on introduit dans les vépoles des substances et des champs qui permettent, sans complexification considérable du système, d'utiliser de nouveaux effets physiques, d'élargir les capacités fonctionnelles d'un système et d'augmenter ainsi son degré d'idéalité ;
- ❑ s'il est impossible d'utiliser des Ressources Vépoles et de nouveaux Effets Physiques, on «complète» le système en ajoutant de nouveaux sous-systèmes qui ont des fonctions utiles qui non seulement augmentent la FUP du système, mais l'améliorent (ce sont des «brouillons» de futures substances idéales).

Un exemple de cette complexification vient du développement de liens dans un vépole. En effet, si nous avons un vépole difficilement contrôlable dont il faut augmenter l'efficacité et si le remplacement des éléments de ce vépole est impossible, le problème peut se résoudre par la construction d'un vépole en chaîne.

Cet exemple peut être illustré par le système **PAX** de *Michelin* qui est expliqué plus en détail dans la troisième partie de ce guide.

En effet, le nouveau système d'accrochage du pneu (**S₂**) sur la jante (**S₁**) et la présence d'un appui souple placé à l'intérieur du pneu offrent entre autres la possibilité de pouvoir continuer à rouler après une crevaison sans détériorer l'ensemble jante-pneumatique ni compromettre la sécurité des automobilistes. L'appui (**S₃**) vient en effet remplir la fonction assurée auparavant par l'air (**C₁**) en assurant un soutien mécanique (**C₂**).



2.7 LES CONTRADICTIONS

L'analyse d'un problème doit permettre de mettre en évidence ses contradictions inhérentes que l'on doit résoudre si l'on veut voir évoluer un système technique vers une situation plus "idéale". Pour être résolu, le problème doit donc être reformulé sous la forme d'une ou de plusieurs contradictions qui peuvent être de plusieurs natures d'après Altshuller : *organisationnelle*, *technique* ou *physique*.

Contradiction organisationnelle : ⁽¹⁾

« Je sais quoi, mais je ne sais pas comment... »

C'est la formulation du problème tel qu'il est présenté au concepteur. Elle est floue et ne donne pas la direction de la solution.

Exemple : En augmentant la vitesse de déploiement de l'airbag afin d'obtenir une réaction plus rapide, le choc du contact avec les passagers cause des blessures.

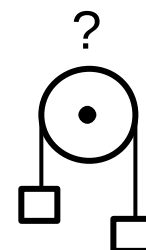


Contradiction technique : ⁽¹⁾

« Je sais comment, mais le comment est un facteur aggravant... »

Elle met en opposition deux paramètres liés à une même partie du système.

Exemple : En **augmentant la complexité** du système (par l'ajout de capteurs) afin que le déploiement de l'airbag varie suivant les circonstances de la collision, on **diminue la fiabilité** de ce système.

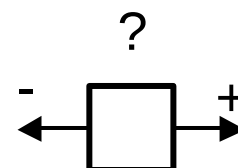


Contradiction physique : ⁽¹⁾

« Je sais quoi et comment mais je ne sais pas de quel moyen... »

Elle présente un paramètre clé du problème devant subsister dans deux états (valeurs) diamétralement opposées.

Exemple : Le déploiement de l'airbag doit être **rapide** (pour sauver la vie des occupants du véhicule lors de collisions violentes) et **lent** (pour que le contact entre l'airbag et un occupant ne provoque pas de blessure).



⁽¹⁾ Traduit de ARIZ 77 dans ²Creativity as an exact science² de G. Altshuller.

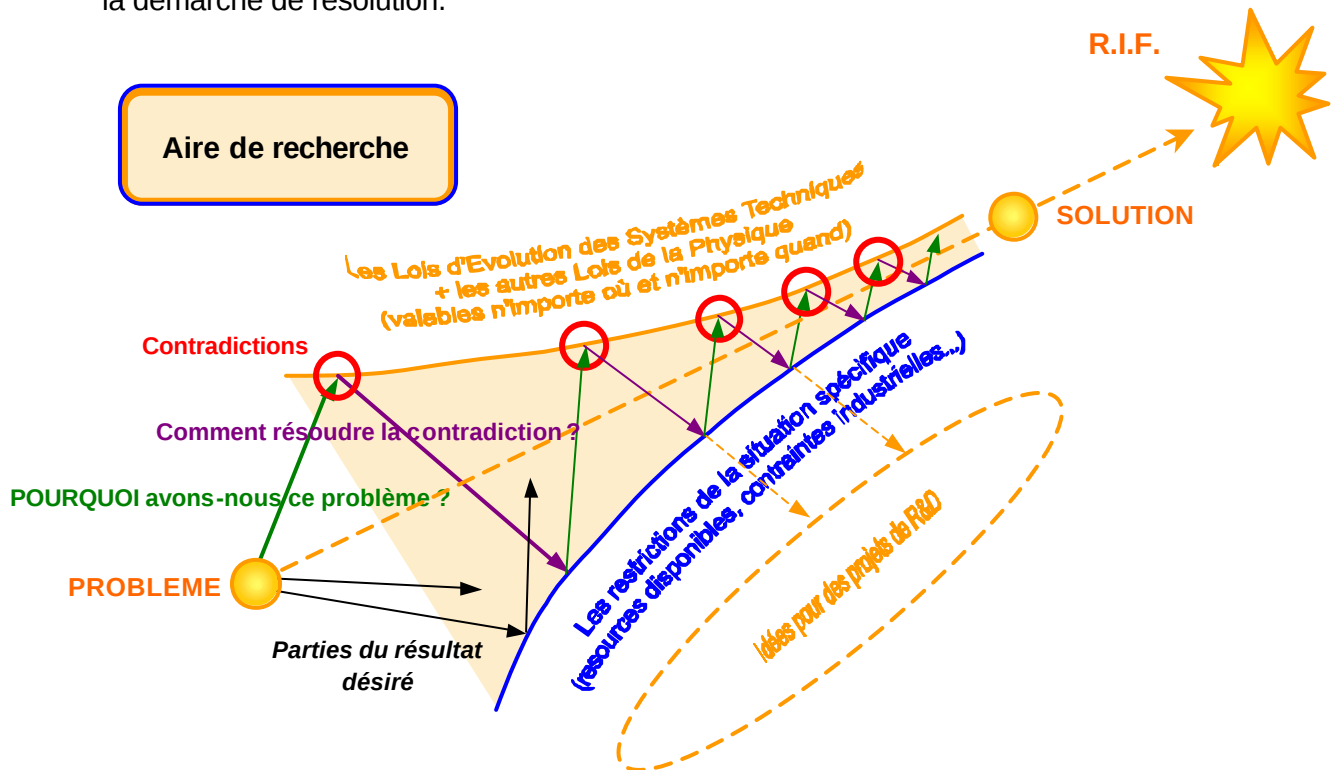
DEMARCHE DE RESOLUTION D'UN PROBLEME AVEC TRIZ

.. Introduction :

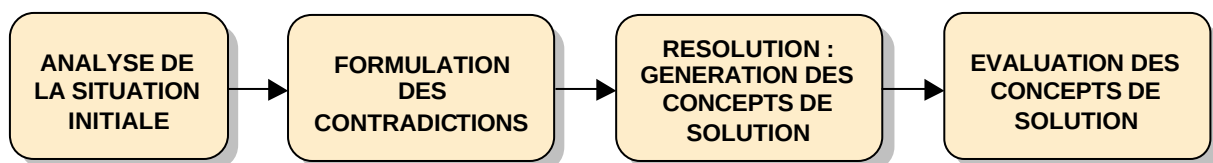
L'objectif de cette partie est de donner une vision de la démarche suivie lors de la résolution d'un problème avec TRIZ. Ce cheminement reprend le schéma présenté dans la première partie du guide et montre les différents éléments de la situation problématique qu'il est nécessaire de mettre en évidence afin de bien orienter la résolution.

De plus, il est intéressant de noter que ce processus ne va pas seulement apporter des solutions à notre problème spécifique, mais qu'il va aussi fournir des idées pouvant servir ultérieurement à des travaux d'exploration ou des projets de recherche.

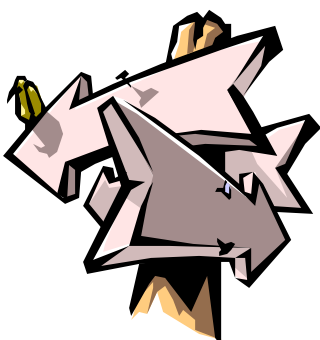
Cette partie sera illustrée par un cas d'étude venant s'intercaler entre chaque étape de la démarche de résolution.



La démarche présentée dans cette partie suit le plan suivant :



.. Remarques préliminaires :



- Il n'est pas nécessaire d'utiliser tous les outils qu'offre TRIZ afin de résoudre un problème ; en revanche il est intéressant de savoir ce que ceux-ci peuvent vous apporter. Par conséquent, lorsque vous cherchez à franchir une étape dans la résolution de votre problème, il se peut que vous trouviez plus facile d'utiliser un outil en particulier plutôt qu'un autre.
- TRIZ n'est pas le marteau qui va transformer tous vos problèmes en clous, et si vous obtenez de bons résultats avec une autre méthode, vous pouvez tirer de TRIZ certaines modifications permettant d'optimiser l'utilisation de cette méthode. L'objectif est que vous vous sentiez à l'aise dans la résolution des problèmes.

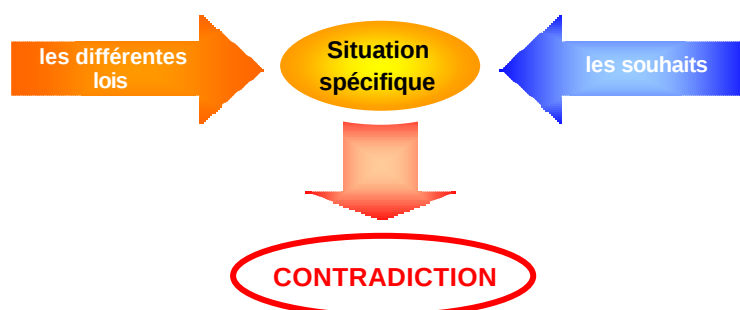
1

ANALYSE DE LA SITUATION INITIALE

Afin de développer des concepts de solution intéressants, la stratégie de résolution du problème doit réduire l'aire de recherche à chaque étape de l'analyse. Pour cela nous allons déterminer :

- Les restrictions de la situation spécifique (ressources disponibles, contraintes industrielles...)
 - ⇒ **Ce que nous voulons atteindre : le ²Résultat Idéal².**
- Les lois d'évolution des Systèmes Techniques et les autres lois de la physique (celles-ci sont valables n'importe où et n'importe quand)
 - ⇒ **Ce qui nous empêche d'atteindre nos objectifs.**

En déterminant ces éléments, nous allons réduire l'aire de recherche et ainsi pouvoir localiser les contradictions inhérentes à notre système.



Extrait du cours de N. Khomenko

1.1

DEFINITION DU PROBLEME INITIAL



Une situation initiale correspond à toute situation présentant des caractéristiques ou des propriétés indésirables d'un système technique. Dans cette partie, nous allons développer les méthodes et outils permettant de les mettre en évidence, notamment en surmontant notre inertie psychologique à propos du système existant.

1. Brève présentation du système que nous désirons concevoir ou améliorer :

- **La fonction principale du système :** (exemple : la vitre d'une portière)

En pratique...

Un algorithme en 3 étapes : (extrait du cours de N. Khomenko)

1 – Brève description du problème.

"Pouvoir ouvrir et fermer la vitre quand on le désire, c'est-à-dire pouvoir créer une séparation entre l'intérieur du véhicule et l'extérieur"

2 – $\frac{1}{2}$ verbe $\frac{1}{2}$ + $\frac{1}{2}$ nom $\frac{1}{2}$

" $\frac{1}{2}$ Contrôler $\frac{1}{2}$ + $\frac{1}{2}$ l'interface $\frac{1}{2}$ "

(Cette formulation du problème est très vague mais permet de se dégager de la solution existante)

3 – $\frac{1}{2}$ changer $\frac{1}{2}$ + $\frac{1}{2}$ l'hermétisme $\frac{1}{2}$

La fonction principale de la vitre d'un ouvrant est de contrôler l'hermétisme de l'interface que présente celui-ci vis-à-vis de substances telles que l'air, l'eau, la poussière, ou de champs tels que le bruit, la lumière ou la température.



Au lieu d'employer des noms et des termes spécifiques, il est intéressant d'utiliser des noms "fonctionnels" ou une description générale + des caractéristiques.

En pratique...

Nom / terme spécifique	Fonction / caractéristique	² nom fonctionnel ²

--	--	--

2. Brève description de la situation initiale :



Un problème n'est au départ que la description d'une situation particulière. Pour simplifier le processus de résolution de ce problème, il est nécessaire d'affiner cette description en partant des objectifs principaux que nous désirons atteindre.

Exemple : Comment réduire les principales caractéristiques d'un système (coût, volume, masse...) tout en améliorant ses performances ?

Habituellement, un problème est une combinaison de sous-problèmes interconnectés. Nous devons donc chercher à identifier ceux-ci afin de comprendre l'origine de notre problème principal.

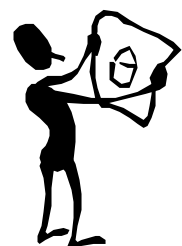
3. Réflexion sur la situation problématique :



Pendant le processus de résolution, et spécialement pendant l'analyse de la situation problématique, il est important de changer de point de vue vis à vis du problème afin de bien cerner les causes de celui-ci. Il est donc nécessaire d'une part d'analyser les descriptions qui paraissent impossibles (ou incroyables) à première vue, et d'autre part de considérer les paramètres qui peuvent intensifier le problème.



Au lieu de vous arracher les cheveux en pensant que c'est impossible, prenez du recul vis-à-vis du problème...



En pratique...**L'Opérateur du Poisson Doré :****Objectif principal :**

- ⇒ Eliminer tout ce qui paraît incroyable dans la situation problématique.

Résultats obtenus :

- ⇒ Corriger le comportement des gens lors du processus de résolution d'un problème.
- ⇒ Extraire la partie incroyable de toute situation paraissant tenir du fantastique.

**En pratique...****Les Opérateurs DTC (Dimension – Temps – Coût) :****Objectif principal :**

- ⇒ Modifier la vision du concepteur vis à vis de la situation problématique en intensifiant les caractéristiques de celle-ci.

Résultats obtenus :

- ⇒ En regardant le système avec d'autres points de vue, le problème paraît ainsi différemment.
- ⇒ Certaines contradictions deviennent alors évidentes.
- ⇒ Briser les stéréotypes et l'inertie psychologique liés à l'objet qui doit être amélioré.

**1.2****LES LOIS DE LA NATURE & LES LOIS D'EVOLUTION DES SYSTEMES TECHNIQUES****1. Définir les Lois de la Nature auxquelles nous devons faire face :**

Ce point est important afin de réduire l'aire de recherche et pour utiliser des modèles du domaine choisi pour représenter le système que nous désirons concevoir ou améliorer. De plus, lorsqu'un effet néfaste est identifié, il est nécessaire de connaître quelle est la loi de la nature à l'origine de celui-ci.

A partir d'une situation initiale, nous pouvons choisir de prendre la direction d'un **mini-problème** (*toutes les particularités de la situation initiale devront être gardées mais la caractéristique la plus néfaste devra disparaître*) ou la direction d'un **maxi-problème** (*la fonction requise doit être réalisée de manière idéale, rendant parfois nécessaire de changer le principe de fonctionnement du système et sa structure*). Cela permet de déterminer les champs d'activités (chimie, physique, mécanique, etc.) que nous pouvons utiliser pour résoudre le problème.

- ⇒ Faire une représentation du système à concevoir ou à améliorer suivant le domaine choisi.

2. Analyse du système technique existant à l'aide du premier groupe de Lois d'Evolution des Systèmes Techniques (Lois ² statiques²) :

- Intégralité des parties du système
- Libre passage d'énergie dans le système
- Concordance des rythmes des parties du système

Ce groupe de lois détermine les principales conditions requises pour obtenir l'intégralité structurelle et fonctionnelle du système.

En pratique...

- ⇒ L'analyse des systèmes techniques à travers les lois "statiques" donne la possibilité de révéler le cœur du problème d'une manière systématique.
- ⇒ Les deux premières lois aident à déterminer les sous-systèmes de notre système. Ceux-ci sont définis d'après leur rôle dans le système.

3. Représentation du système en utilisant la vision multi-écrans :

En pratique...

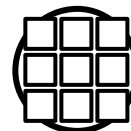
La vision multi-écrans :

Objectif principal :

- ⇒ Représenter le système dans le contexte de son développement.

Résultats obtenus :

- ⇒ Aider le concepteur à zoomer sur le système dans le temps et dans l'espace.
- ⇒ Déterminer et prendre en considération les sous-systèmes du système technique analysé, et le super-système auquel celui-ci appartient.
- ⇒ Ebaucher les directions d'évolution d'un système et de ses composants.
- ⇒ Déterminer toutes les ressources disponibles pour résoudre le problème.
- ⇒ Définir la Zone Opérationnelle du conflit.



Afin de déterminer les tendances de développement du système, il est intéressant d'utiliser les Lois d'Evolution des Systèmes Techniques. Cette analyse permet de mettre en évidence certaines contradictions propres à notre système. La loi de développement inégal des parties du système donne la possibilité de comprendre les raisons de la situation problématique.



A partir des tendances d'évolution mises en évidence par la vision multi-écrans, il est important de décrire les résultats désirés pour notre problème. Il est alors nécessaire d'effectuer une nouvelle réflexion vis-à-vis de ces résultats qui peuvent paraître impossibles ou incroyables.

1.3 LES RESTRICTIONS DE LA SITUATION SPECIFIQUE

1. Les spécifications du système que nous désirons concevoir ou améliorer :

 Au-delà des objectifs de la situation initiale, il y a des spécifications que nous devons déterminer pour répondre aux besoins. Pour comprendre les causes du problème, le concepteur doit être capable de savoir **pourquoi le problème est apparu**.

Par exemple :

N°	Paramètres	Unité	Valeur
1	Vitesse maximale	Km/h	...
2	Durée de vie	km	...
3	Rendement	%	...
4	...		

2. Détermination de la contribution apportée par les systèmes adjacents :

 Afin d'obtenir la solution idéale, il est important de dresser une liste de toutes les ressources disponibles dans le système considéré et dans les systèmes adjacents. En effet, un concept de solution sera meilleur si on peut le réaliser sans apporter de nouvelles matières.

Les ressources disponibles dans l'environnement du système sont : des substances ou des champs (énergies) avec leurs propriétés, leurs caractéristiques fonctionnelles et les autres attributs existant dans un système et son environnement, et pouvant être utilisés pour perfectionner le système.

En pratique...

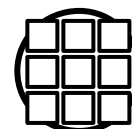
La vision multi-écrans :

Objectif principal :

⇒ Représenter le système dans le contexte de son développement.

Résultats obtenus :

⇒ Déterminer toutes les ressources disponibles afin de résoudre le problème en donnant une vision du système dans son environnement.



3. Analyse des brevets et des solutions précédentes non implantées :

 Pour la même fonction principale, d'autres systèmes ont été conçus dans d'autres domaines ou des solutions ont été trouvées mais pas implantées. Il est important de savoir **pourquoi elles ne résolvent pas notre problème**. En les analysant, nous mettons en évidence de nouvelles restrictions de notre situation spécifique.

En pratique...

Les systèmes alternatifs :

Objectif principal :

- ⇒ Eliminer les composants ou les caractéristiques d'un produit tout en n'affectant pas ou en améliorant ses fonctions utiles.

Résultats obtenus :

- ⇒ Les "plus" de plusieurs systèmes sont additionnés ou combinés dans le nouveau système, et les "moins" (ou les inconvénients) sont supprimés ou "neutralisés".



2 FORMULATION DES CONTRADICTIONS

Plusieurs sous-problèmes peuvent être identifiés à partir de notre problème principal. Il est important de choisir l'un de ces sous-problèmes tout en gardant en esprit les restrictions dues aux autres.

2.1 MODELES UTILISES LORS DE L'ANALYSE D'UN PROBLEME

1. Le modèle EPV (Elément – Paramètres – Valeurs) : (traduit du cours de N. Khomenko)



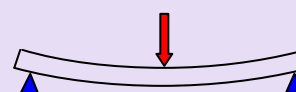
Pour une résolution efficace d'un problème, il est intéressant d'avoir une représentation claire des éléments dont on dispose ou dont on a besoin pour résoudre notre problème.

En pratique...

Element	Paramètre 1	(Liste de valeurs...)
<i>Poutre</i>	<i>Longueur</i>	
	Paramètre 2	(Liste de valeurs...)
	<i>Epaisseur</i>	
	Paramètre 3	(Liste de valeurs...)
	<i>Résistance élastique du matériau</i>	

	Paramètre n	(Liste de valeurs...)
	<i>Module d'Young</i>	

Exemple d'une poutre sur deux appuis et soumise à une force verticale :



Un élément est donc décrit selon les objectifs de l'analyse et à travers la description de ces paramètres. Ces derniers sont donc choisis selon leur importance afin de définir une ressource utile nous permettant de résoudre efficacement notre problème.

2. Le concept général de solution :



Résoudre un problème nécessite de déterminer les caractéristiques que doivent avoir certains éléments du système afin de répondre aux conditions de la situation spécifique. Il convient alors d'énoncer clairement toutes ces caractéristiques afin de construire un modèle de la solution que l'on cherche à obtenir.

En pratique...

Les **paramètres**
de certains **éléments du système**
doivent avoir des **valeurs spécifiques**
pour les **conditions de la situation spécifique**

3. La définition générale d'un problème :

 A partir de la définition de la solution, le problème consiste donc à trouver comment obtenir ces caractéristiques.

En pratique...

COMMENT OBTENIR : ces **valeurs nécessaires**
pour les **paramètres**
des **éléments spécifiques**
pour les **conditions de la situation spécifique ?**

2.2

DESCRIPTION D'UN MINI-PROBLEME

 Un problème inventif doit inclure ce qui est disponible et ce qui est requis afin de supprimer les caractéristiques ou les propriétés indésirables du système technique.

En pratique...

La définition d'un mini-problème sans terme spécifique doit inclure :

- (1) – la fonction du système analysé.
- (2) – la liste des composants (dans le cas d'un système à améliorer).
- (3) – la définition des contradictions techniques.
- (4) – la description du résultat désiré.

Description du problème :

Un système dont la fonction est de < (1) > est composé de < (2) >.

Contradiction technique 1 : CT # 1

S'il y a < une certaine valeur pour la caractéristique d'un des éléments >,
alors < phénomène 1 + >, mais < phénomène 2 - >.

Contradiction technique 2 : CT # 2

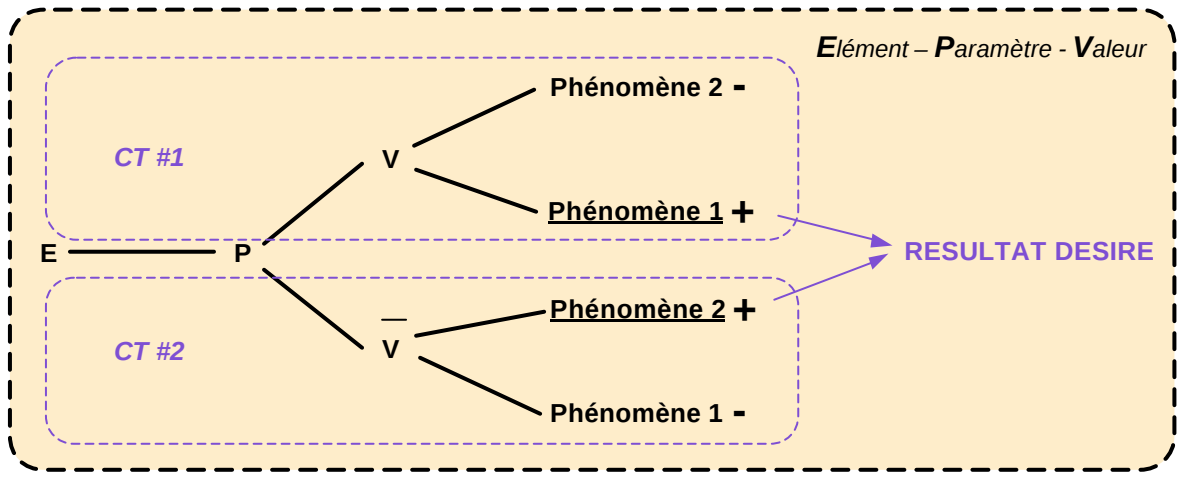
S'il y a < une certaine valeur pour la caractéristique d'un des éléments >,
alors < phénomène 2 + >, mais < phénomène 1 - >.

Résultat désiré :

Il est nécessaire d'obtenir *< phénomène 1 + + phénomène 2 + >* en ne réalisant que des changements minima du système.

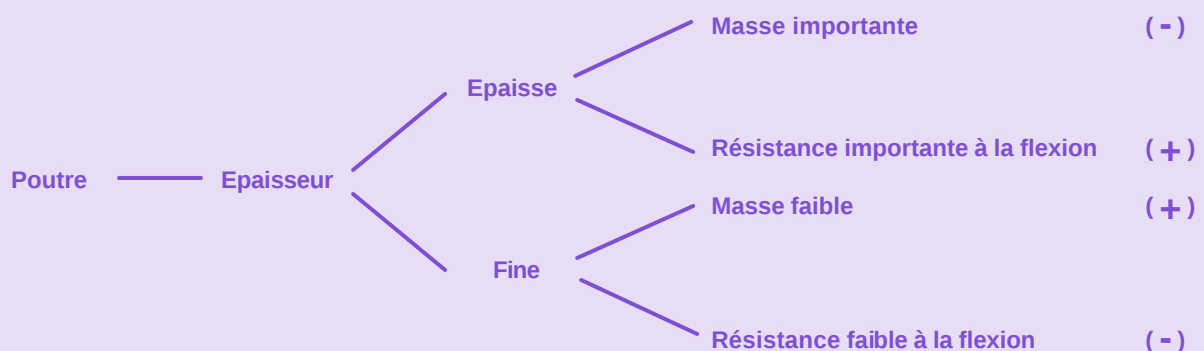
Aide pour la description d'un problème :

(extrait du cours de N. Khomenko)



Pour un élément donné du système, un de ses paramètres peut avoir deux valeurs opposées. Pour chacune de ces valeurs, deux phénomènes sont possibles mais ceux-ci se révéleront positifs ou négatifs suivant la valeur du paramètre.

Si on reprend l'exemple utilisé précédemment, on obtient le modèle suivant :



Phénomène 1 : modification de la résistance de la poutre à la flexion.

Phénomène 2 : modification de la masse de la poutre.

Résultat désiré : Il est nécessaire d'obtenir une poutre de **masse faible** et proposant une **résistance importante à la flexion** en ne réalisant que des changements minima du système.

2.3 DEFINITION DES ELEMENTS EN CONFLIT



La transition de la situation initiale assez floue à la description du problème clairement formulée et extrêmement simplifiée nécessite d'identifier les éléments en conflit.

En pratique...

Le conflit apparaît lorsqu'un élément a une action indésirable sur un autre. En cela, un des deux peut être considéré comme l'**outil** et l'autre comme le **produit**, comme dans un modèle Vépole. Pour plus de facilité quant à l'identification du couple d'éléments en conflit, on peut utiliser la *Loi d'Intégralité des Parties du Système* (Loi 1) (l'outil et le produit correspondant respectivement à l'outil de travail et à l'objet).

2.4 IDENTIFICATION DE LA CONTRADICTION A L'ORIGINE DU CONFLIT



A partir des deux contradictions techniques précédentes, il est nécessaire de choisir celle qui assure la meilleure représentation de la situation problématique et du point de vue avec lequel on aborde celle-ci. Il est aussi important de définir la Zone Opérationnelle et le Temps Opérationnel du conflit.

Dans le cas le plus simple, La **Zone Opérationnelle** est l'espace dans lequel le conflit apparaît.

Dans le **Temps Opérationnel**, il y a toutes les ressources disponibles en terme de temps : le temps pendant lequel le conflit a lieu T_1 , et le temps avant le conflit T_2 (un conflit peut parfois être éliminé pendant T_2).

En pratique...

Afin de faire un choix et de pouvoir définir la contradiction exacte à laquelle nous devons faire face, il est utile d'intensifier le conflit.

Les Opérateurs DTC (Dimension – Temps – Coût) :

Objectif principal :

- ⇒ Modifier la vision du concepteur vis à vis de la situation problématique en intensifiant les caractéristiques de celle-ci.

Résultats obtenus :

- ⇒ En indiquant les états extrêmes du couple d'éléments en conflit, nous intensifions le problème.



En intensifiant le conflit, nous pouvons ainsi obtenir une **Contradiction Physique**. Il est avantageux de formuler celle-ci selon le modèle suivant :

L'élément (ou une de ses parties dans la Zone Opérationnelle)

Doit être < propriété > pour pouvoir réaliser < action 1 >

MAIS ne doit pas être < propriété > pour pouvoir réaliser < action 2 >.

2.5

DESCRIPTION DU RESULTAT IDEAL FINAL POUR LE MINI-PROBLEME



A partir de la description du mini-problème et l'identification de la contradiction après l'intensification du conflit, il est important de définir le Résultat Idéal Final.

En pratique...**La Méthode des Hommes Miniatures :****Objectif principal :**

⇒ Visualiser la zone du conflit avec un autre point de vue.

Résultats obtenus :

- ⇒ Spécifier le rôle des substances présentes dans la zone du conflit.
- ⇒ Diminuer l'inertie psychologique et améliorer l'imagination.
- ⇒ Mener à une vision du système idéal.
- ⇒ Aboutir à des concepts de solution.



Pour une Contradiction Physique formulée, il est utile d'identifier et de décrire le Résultat Idéal Final en utilisant le modèle suivant :

La Zone Opérationnelle < à indiquer >

Doit fournir par elle-même < indiquer les macro- ou micro-états opposés >

Pendant le Temps Opérationnel < à indiquer >.

2.6

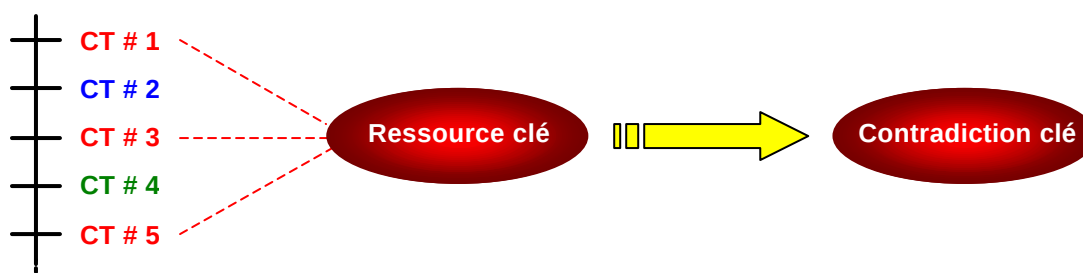
ANALYSE DES CONTRADICTIONS



Il est important de faire le point en établissant une liste des contradictions relatives au problème principal. Celles-ci doivent être triées suivant la ressource problématique afin de mettre en évidence les substances "clés".

En pratique...

Il est avantageux de combiner les contradictions techniques portant sur la même ressource afin de parvenir au meilleur modèle du conflit ou pour parvenir à des contradictions physiques.



2.7

MODELISATION DE LA SITUATION PROBLEMATIQUE



Afin d'obtenir des concepts de solution en utilisant des "règles", il est essentiel de construire un modèle clair et symbolique de la situation problématique.

En pratique...

L'Analyse Vépole :

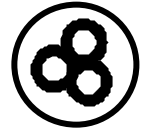
Concept de base : la transformation d'une substance ne peut être causée que par des facteurs physiques : par une autre substance ou par une énergie (un champ).

Objectif principal :

- ⇒ Construire un modèle du conflit dans la Zone Opérationnelle durant le Temps Opérationnel suivant la contradiction (physique ou technique) formulée.

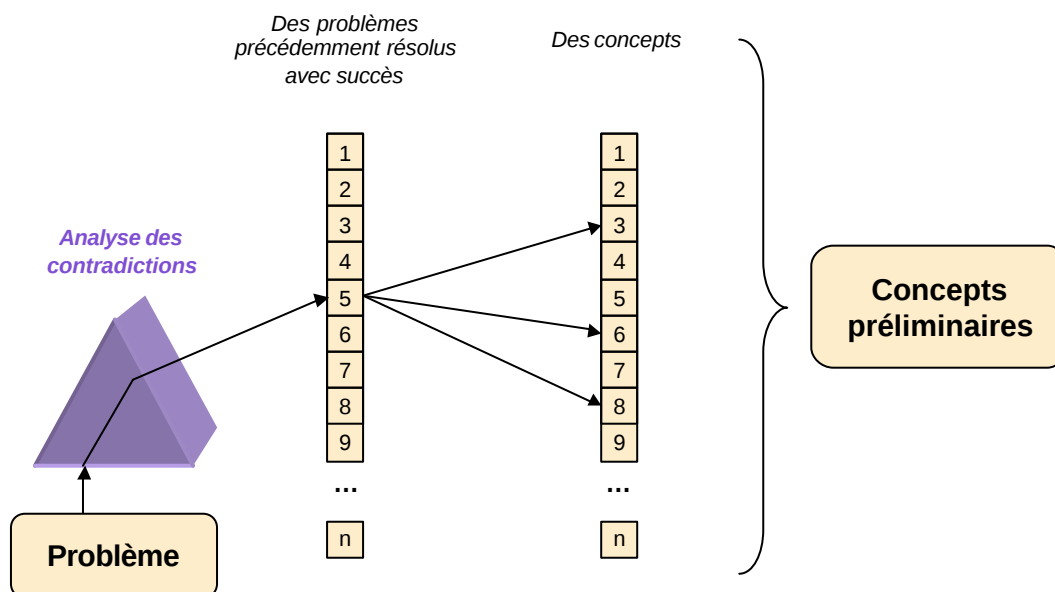
Résultats obtenus :

- ⇒ Prendre en compte le point de vue de la description du problème (différents modèles Vépoles peuvent ainsi être construits pour le même système technique).
- ⇒ Exprimer une fonction comme une action réalisée par un objet sur un autre.
- ⇒ Identifier les défaillances fonctionnelles.



3

RESOLUTION : GENERATION DES CONCEPTS



TRIZ propose un ensemble de techniques de résolution s'appuyant sur l'analyse des contradictions, et permettant de guider le concepteur à trouver des solutions "typiques" pour un modèle de problème donné. Par "solutions typiques", on entend des modèles de solution déjà décrits dans la base de connaissances que propose TRIZ.

3.1

RESOLUTION DES CONTRADICTIONS TECHNIQUES

G. Altshuller devina qu'en utilisant des principes précédemment utilisés pour résoudre des problèmes techniques similaires dans des domaines différents, des solutions innovantes pouvaient être trouvées. L'analyse de nombreux brevets aboutit au nombre de **40 Principes d'Invention**.

En pratique...**La Matrice de résolution des Contradictions Techniques :****Objectif principal :**

- ⇒ Aider à trouver les principes d'innovation étant les plus probables pour résoudre notre problème, et permettant d'aboutir à une solution innovante et non pas à un compromis.

Résultats obtenus :

- ⇒ Encourager le concepteur à s'occuper des contradictions inhérentes à un système.
- ⇒ Réduire le chemin vers la solution par rapport à la méthode "Essais et Erreurs", et permettre de générer rapidement des concepts de solution intéressants pour un problème donné.



3.2 RESOLUTION DES CONTRADICTIONS PHYSIQUES

A partir de l'analyse de brevets, G. Altshuller formalisa des principes permettant de résoudre les Contradictions Physiques mises en évidence. Ces onze Principes d'Élimination d'une Contradiction Physique sont utilisés pour séparer des propriétés opposées dans l'espace, dans le temps et entre un système et ses composants.



3.3 LES REGLES POUR COMPLETER UN MODELE VEPOLE



Si le modèle Vépole est incomplet ou présentant des liens insuffisants ou néfastes, il est nécessaire de le compléter ou de le faire évoluer en utilisant certaines règles.

En pratique...

L'Analyse Vépole :

- Si le modèle Vépole est **incomplet**, il est nécessaire de le compléter.
- Si le modèle Vépole est **complet** mais présente un **lien insuffisant**, il est nécessaire de développer le modèle en utilisant de nouvelles substances ou de nouveaux champs (ou de modifier les substances et les champs déjà présents).
- Si le modèle Vépole est **complet** mais présente un **lien néfaste**, il est nécessaire de décomposer le modèle Vépole initial et d'en construire un nouveau.



Cinq règles pour transformer un modèle Vépole :

1. Si un modèle Vépole est incomplet, le problème doit être résolu en synthétisant un modèle complet.
2. Si un modèle Vépole est complet avec une interaction insatisfaisante, il tend à évoluer vers un modèle Vépole utilisant des substances ferromagnétiques ou un champ magnétique (facilement contrôlable).
3. Si le modèle Vépole possède un lien néfaste, le problème doit être résolu en décomposant cette interaction défavorable.
4. Si le modèle Vépole est complet, la substance S_2 tend à évoluer vers un modèle Vépole à elle seule formant ainsi une chaîne de Vépoles.
5. Si le modèle Vépole est complet avec un champ C_1 en entrée et s'il est nécessaire d'obtenir un champ C_2 en sortie, le nom de l'effet physique requis peut être obtenu par une combinaison des noms des champs (règle pour repérer un effet physique).

3.4

DEVELOPPEMENT DE CONCEPTS S'APPUYANT SUR L'ANALYSE VEPOLE ET UTILISANT LES 76 STANDARDS

Les Standards sont un système de règles utilisées avec les modèles Vépoles du conflit afin de développer des concepts à partir des Contradictions Techniques et Physiques mises en évidence et en utilisant les ressources disponibles ainsi que les effets physiques.

Les 76 Standards sont groupés en cinq grandes catégories :

1. <i>Construction et Destruction des Vépoles</i>	13 Standards
2. <i>Développement des Vépoles</i>	23 Standards
3. <i>Transition vers le super-système ou vers le micro-niveau</i>	6 Standards
4. <i>Mesure et détection</i>	17 Standards
5. <i>Mise en application des Standards</i>	17 Standards

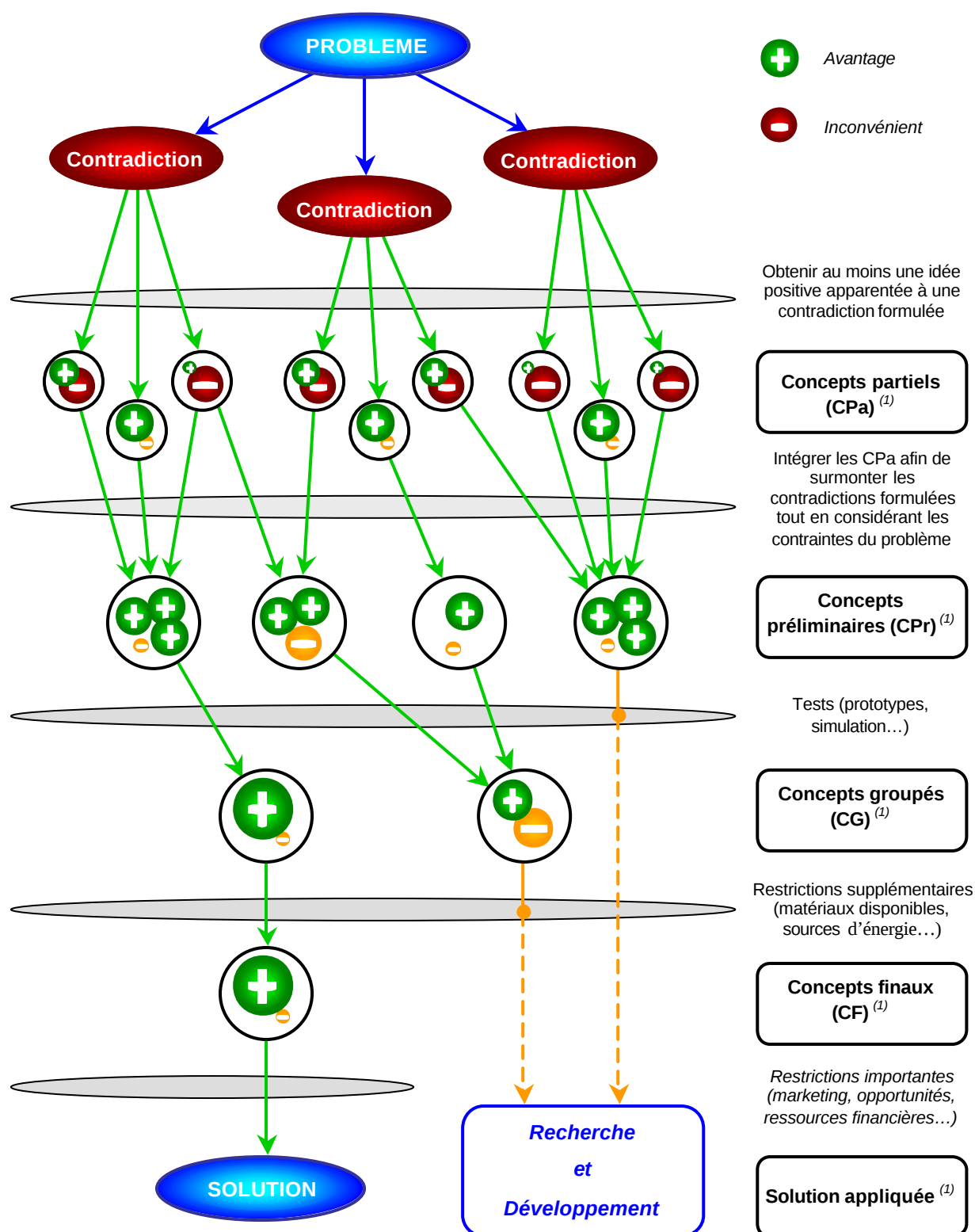
En pratique...

- ⇒ Un Standard est une recommandation visant à transformer le système afin d'éliminer le problème. Il représente une solution utilisée fréquemment pour un type de problème spécifique.
- ⇒ Les Standards sont groupés par contraintes, permettant ainsi à l'utilisateur de trouver rapidement des concepts de solution appropriés.
- ⇒ Pour utiliser cet outil, il convient tout d'abord d'identifier la classe du problème (selon le modèle résultant de l'Analyse Vépole), puis de choisir un groupe de Standards pour ce type de problème.
- ⇒ Les Standards ne sont pas liés à un domaine technique en particulier et peuvent permettre de transférer des solutions performantes d'un domaine à un autre.

4 EVALUATION DES CONCEPTS

Plusieurs concepts peuvent émerger de chaque sous-problème et il est ensuite nécessaire de synthétiser tous ces concepts afin de trouver une solution au problème principal.

Cette démarche suit le schéma suivant :



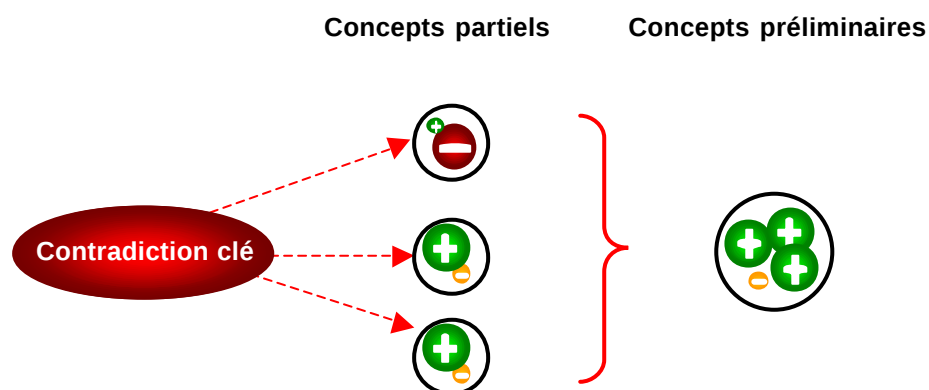
⁽¹⁾ classification extraite du cours de N. Khomenko

4.1 OBTENTION DE CONCEPTS PRELIMINAIRES



Afin de construire la solution définitive à partir des concepts partiels, il est nécessaire de considérer tous les concepts qui ont été formulés et d'énumérer, pour chacun d'eux, les aspects positifs et les aspects négatifs, en envisageant un moyen d'éliminer ces derniers.

En pratique...



Après avoir formulé un concept, il est important de décrire les conséquences sur les contradictions formulées et sur notre problème principal. De nouvelles contradictions peuvent alors apparaître.

4.2 CHOIX DU CONCEPT FINAL



Après avoir obtenu plusieurs concepts, il est nécessaire de les évaluer.

En pratique...

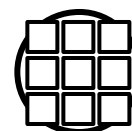
La vision multi-écrans :

Objectif principal :

⇒ Représenter le système dans le contexte de son développement.

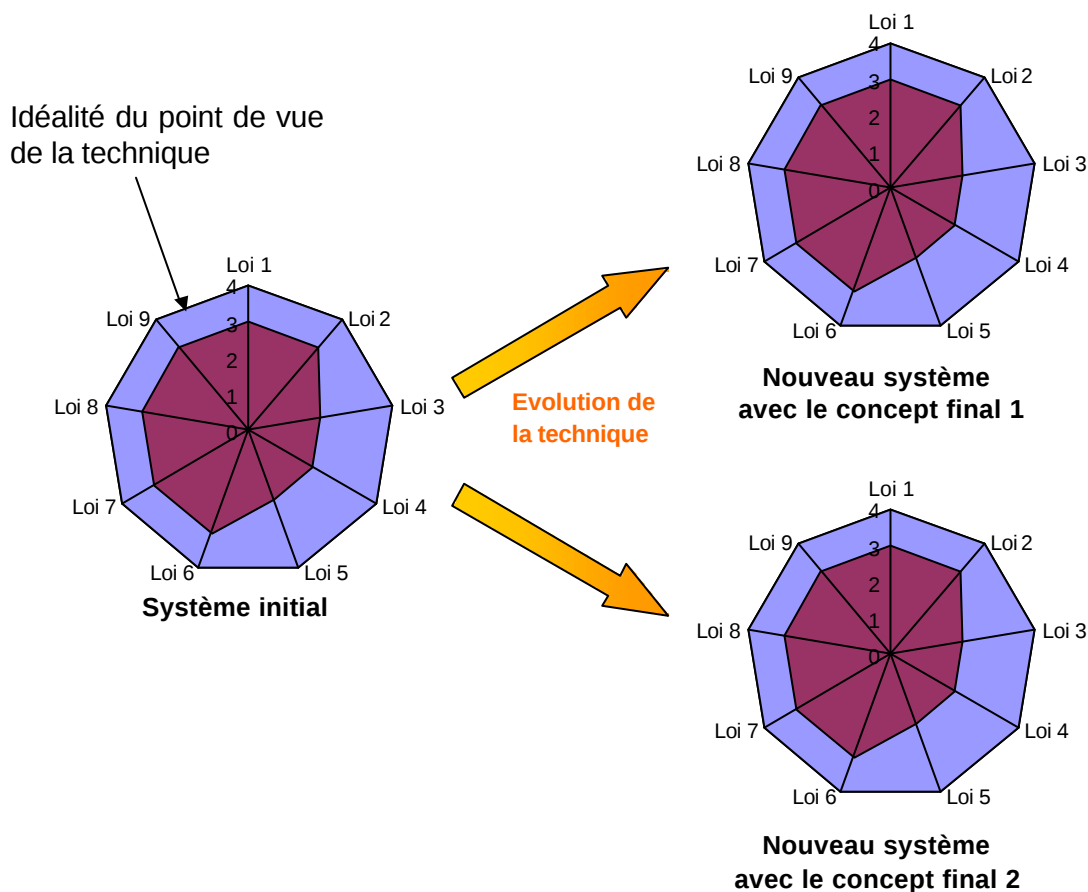
Résultats obtenus :

⇒ Evaluer les meilleurs concepts en estimant les changements pour le super-système et en maximisant l'utilisation des ressources disponibles.



En analysant les meilleurs concepts d'après les Lois d'Evolution des Systèmes Techniques, il est possible d'évaluer la solution la plus proche de la solution idéale par rapport aux éléments pris en compte dans ces lois. De plus, cela permet de déterminer les tendances d'évolution mises en avant pour obtenir ces solutions.

Pour chaque solution, nous pouvons tracer un diagramme comme le montre le schéma suivant :



On peut aussi utiliser ce mode de représentation pour visualiser les évolutions par rapport aux critères spécifiques pris en compte dans la situation initiale.

ARIZ**L'ALGORITHME DE RESOLUTION DES PROBLEMES INVENTIFS****1****PRESENTATION D'ARIZ**

ARIZ est une méthode algorithmique de résolution de problèmes s'appuyant sur la connaissance des Lois d'Evolution des Systèmes Techniques.

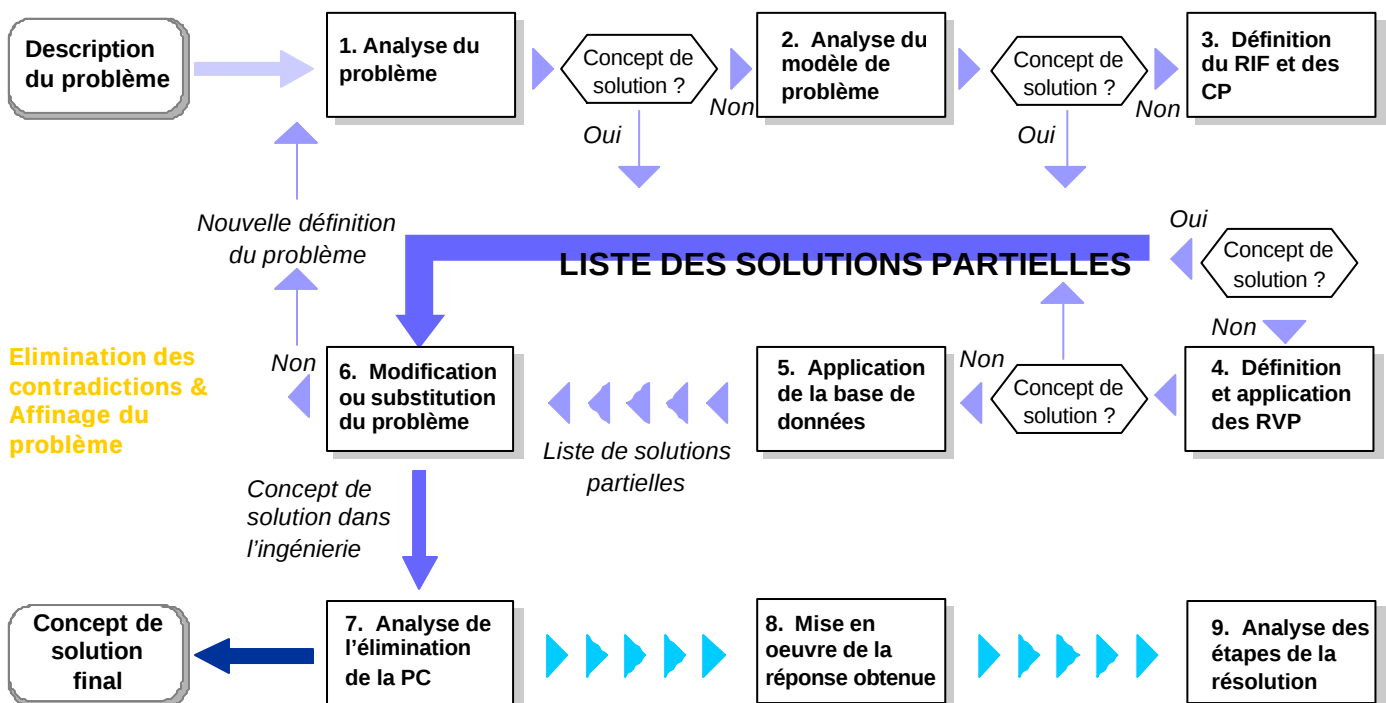
- ARIZ vise à affiner le problème pas-à-pas afin de le modéliser par une Contradiction Technique, puis à traduire celle-ci en Contradiction Physique pour la résoudre.
- ARIZ systématise l'utilisation des différents outils de TRIZ.

2**STRUCTURE D'ARIZ (85 – C)**

Cette version est la dernière validée par l'équipe d'Altshuller.

CP : Contradiction Physique
RIF : Résultat Idéal Final
RVP : Ressources Vépoles

Définition &
Reformulation du
Problème



Elimination des
contradictions &
Affinage du
problème

Développement des
concepts de solution
& Analyse du
Processus de
Résolution

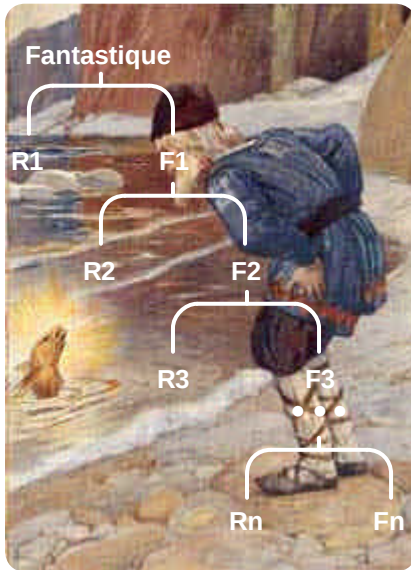
OUTILS ET TECHNIQUES DE TRIZ

Opérateur du Poisson Doré

Un problème est habituellement difficile à résoudre car sa description initiale peut inclure plusieurs sous-problèmes. Bien que ceux-ci soient cachés, le concepteur doit savoir quels types de problèmes sont présents dans cette description.



L'objectif principal de l'opérateur du "Poisson Doré" est de diviser pas-à-pas une situation inconcevable en deux parties – réelle (R) et fantastique (F) jusqu'à ce que celle-ci ne puisse plus être divisée. Cela donne ainsi la possibilité d'éliminer tout ce qui semble incroyable.



- L'opérateur du Poisson Doré donne la possibilité de définir un problème en détail lors de **l'analyse de la situation initiale**.
- D'autre part, l'opérateur du Poisson Doré donne aussi la possibilité de comprendre les sous-problèmes engendrés par les **concepts de solution proposés**

Il paraissait **impossible**...

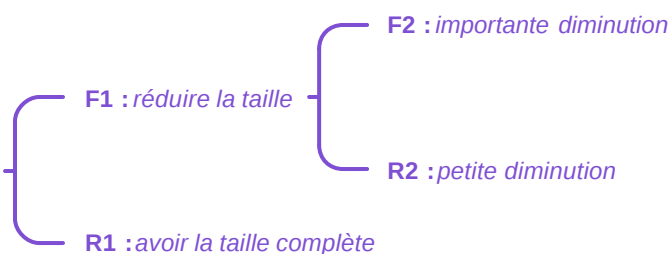
- de voler avec un appareil plus lourd que l'air...
- de naviguer avec un bateau en acier...

... mais c'était **possible** !

Aujourd'hui, il est intéressant d'utiliser des descriptions qui paraissent impossible à première vue pendant la résolution d'un problème :

- Serait-il possible d'avoir une voiture qui disposerait d'un toit rigide pouvant apparaître et disparaître selon nos souhaits ?

Fantastique :
apparaître / disparaître

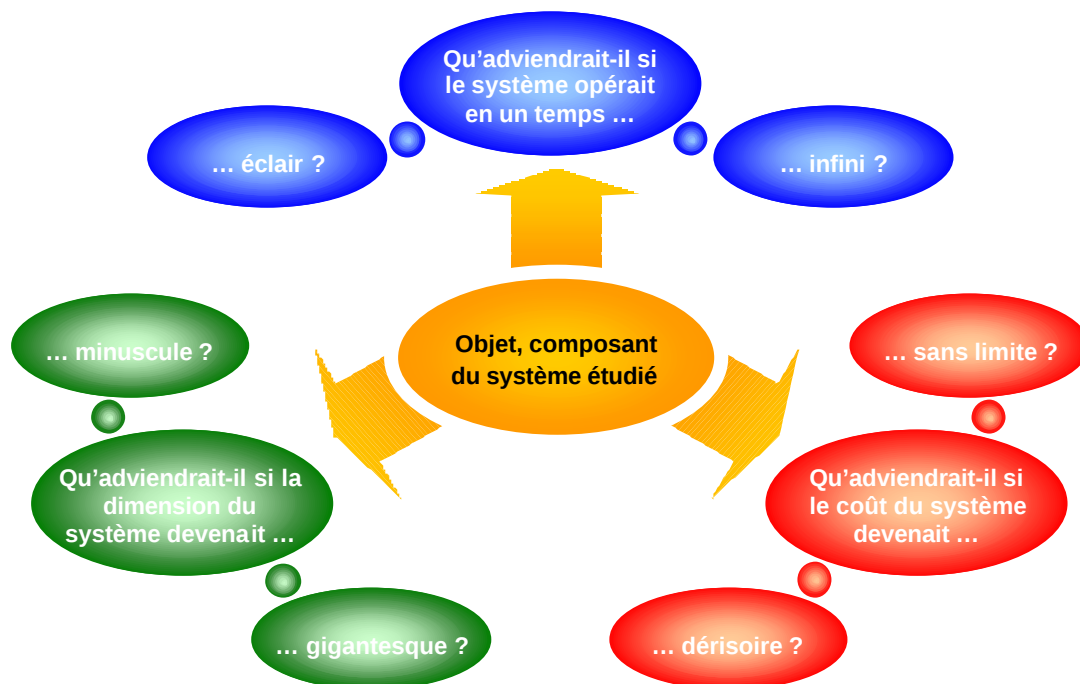


Cela permet de déterminer les lois physiques auxquelles le concepteur doit faire face dans son problème...

▷ **La résistance mécanique des matériaux**

Opérateurs DTC (Dimension Temps Coût)

Cet outil permet de changer la vision du concepteur vis-à-vis de la situation problématique en intensifiant les caractéristiques de celle-ci. Le problème apparaît alors différemment et les contradictions deviennent alors plus évidentes.



Le développement du filtre à particules (FAP) sur des véhicules particuliers se heurtait jusqu'à présent au problème de **la régénération du filtre**. Les Opérateurs DTC permettent, pour un tel système, de bien cerner les difficultés auxquelles les concepteurs ont à faire face.

- Si le FAP pouvait être **gigantesque**, on disposerait alors d'une grande quantité de stockage et le problème viendrait de la masse du système.
- Si le FAP devait être **minuscule**, le problème viendrait des particules qui boucheraient celui-ci. Il serait nécessaire de concevoir un système pour les prendre et les pousser.
- Si on disposait d'un **temps infini** pour filtrer les particules, on devrait juste stocker le gaz quelque part en laissant les particules se déposer (la masse serait alors le paramètre à exploiter).
- Si on dispose d'un **temps minuscule** pour séparer, stocker et éliminer les particules, c'est la longueur du système qui fixe le temps de parcours de celles-ci.
- Si le coût autorisé est infini, on n'a pas de limite...

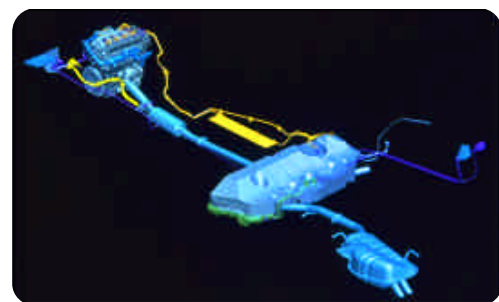
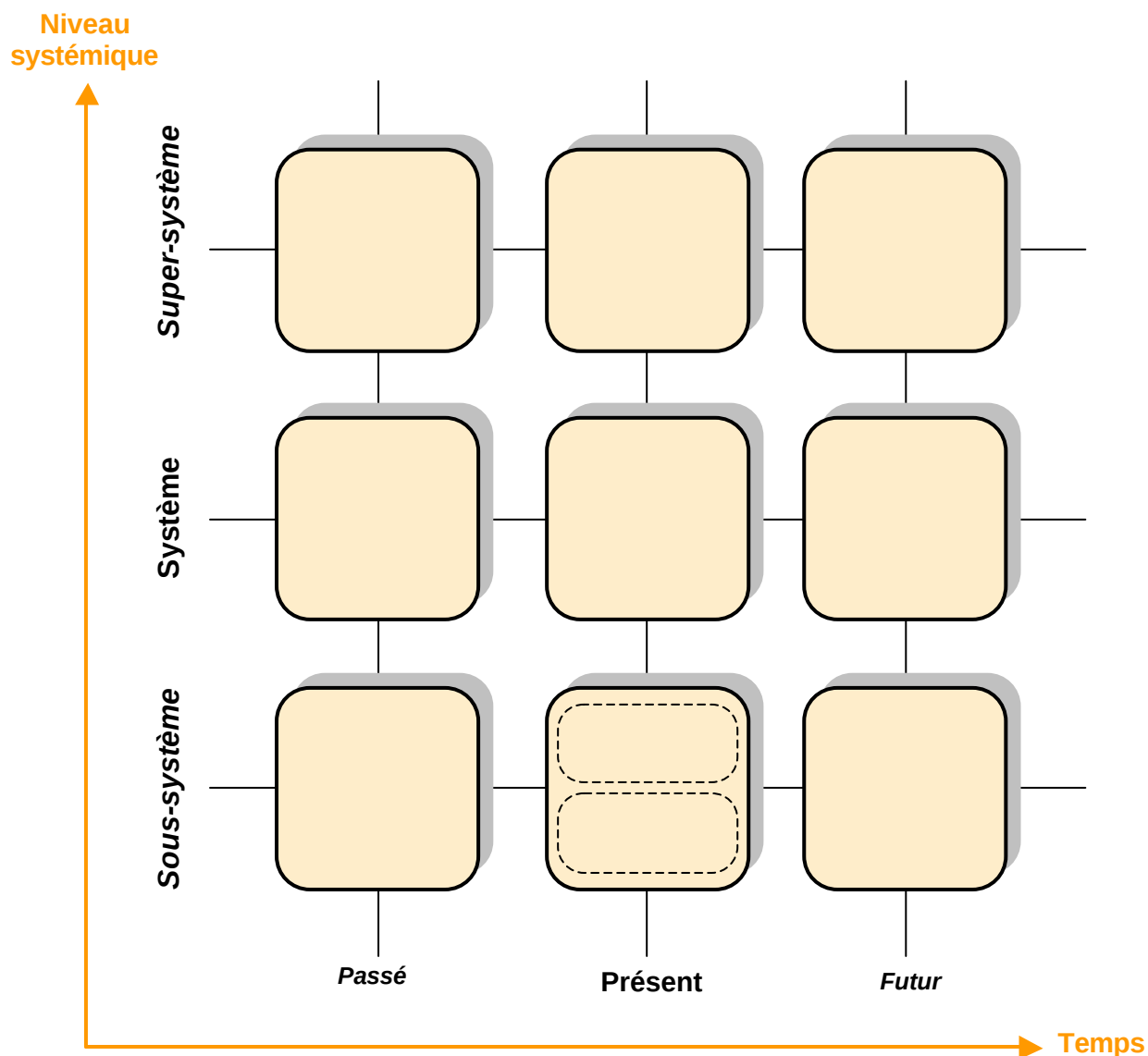
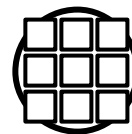


Image d'un moteur équipé du système FAP

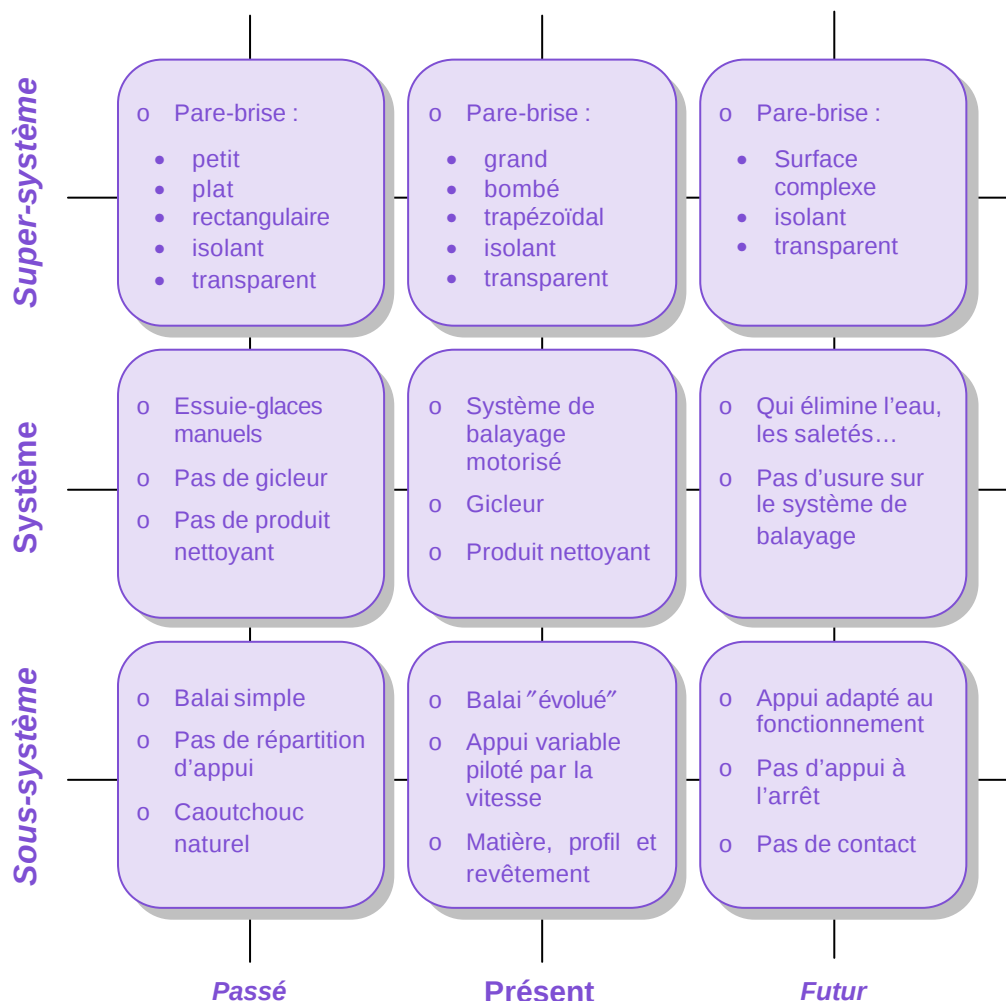
Vision Multi-Ecrans

Cet outil permet d'observer le système technique étudié dans le contexte de son développement. En plaçant celui-ci sur une échelle temporelle et de niveau systémique, il permet de déterminer les sous-systèmes du système étudié, et le super-système auquel il appartient. Les liens ainsi mis en évidence soulignent les tendances d'évolution du système et offre une trame afin d'étudier ses transformations futures.



Remarque : La détermination des sous-systèmes peut être réalisée en appliquant la première loi d'évolution permettant de mettre en évidence les parties fondamentales du système technique étudié. On détermine ainsi les sous-systèmes suivants : *moteur – transmission – outil – organe de commande*.

Les **essuie-glaces** dans une automobile sont un exemple de systèmes composés de différents éléments ou *sous-systèmes* (le moteur électrique, les bras, la timonerie, la lame et les palonniers), et faisant partie d'un *super-système* pouvant être défini par la zone du pare-brise. Le schéma suivant représente les résultats obtenus lors de l'analyse d'un tel système :



On peut constater une évolution au niveau du pare-brise : le matériau le constituant n'est plus un frein et on peut obtenir des formes très galbées. Ainsi, les tendances du design présentent des géométries de pare-brise difficilement essuyables avec le système actuel. Le frein à de nouvelles évolutions réside dans la capacité à garder le pare-brise propre. La limite vient donc des essuie-glaces.

On peut aussi souligner une évolution en ce qui concerne la répartition de pression entre le pare-brise et la lame. Il y a eu une augmentation du nombre de palonniers pour obtenir une pression toujours plus uniforme. Une direction de recherche pourrait donc être explorée dans ce sens.

Systèmes Alternatifs

Cet outil permet d'éliminer les composants ou les caractéristiques d'un système en n'affectant pas ou en améliorant ses fonctions utiles. Pour cela, il convient de trouver deux systèmes présentant des complémentarités au niveau de leurs caractéristiques. Les ² plus² seront additionnés ou combinés dans le nouveau système, et les ² moins² (ou les inconvénients) seront supprimés ou ² neutralisés².



	Caractéristique a	Caractéristique b
Système A (système de base)	+	-
Système B (système opposé)	-	+
Système alternatif	+	+

La mise en œuvre des Systèmes Alternatifs suit le schéma suivant :

1. Choisir le système de base (le système de base est le plus en lien avec la fonction principale du système).
2. Identifier l'élément du système de base qui assure la caractéristique positive.
3. Identifier l'élément du système opposé qui assure la caractéristique positive.
4. Identifier le paramètre qui est responsable de la caractéristique positive indiquée en 3.
5. Identifier l'élément du système de base responsable de la caractéristique indiquée en 3.
6. Formuler la direction à suivre pour le système alternatif.

Comment transférer la bonne caractéristique du système opposé au système de base ?



En transférant le paramètre spécifié en 4 à l'élément spécifié en 5.

L'idée la plus simple pour qu'un véhicule pollue moins est de moins consommer. L'impact de la diminution de la consommation, qui est constante depuis les années 1970, n'est pas du tout négligeable et sera appréciable dans le futur. Malheureusement, il y a de plus en plus de véhicules sur les routes, ce qui tend à enrayer les effets de ce progrès. Néanmoins, on peut encore optimiser le fonctionnement des moteurs dans certaines conditions sévères : circulation urbaine, fonctionnement à froid ou encore à haute vitesse pour réduire la consommation.

Le véhicule à moteur électrique résout le problème de pollution mais outre de nombreux avantages (coût, rendement du moteur élevé), il présente des inconvénients rédhibitoires. L'autonomie d'un véhicule électrique n'est que d'une centaine de kilomètres.

1. On peut ainsi définir le système de base et le système opposé comme le montre le tableau suivant :

	Pollution en ville	Autonomie
Véhicule à moteur électrique (système de base)	+	-
Véhicule à moteur thermique (système opposé)	-	+
Système alternatif	+	+

2. Le moteur électrique.
3. Le moteur thermique.
4. La combustion du carburant.
5. La charge de la batterie.



6. On formule ainsi la direction à suivre :

Comment transférer la bonne caractéristique du système opposé au système de base ?



En transférant la combustion du carburant pour la charge de la batterie.

Le système alternatif obtenu est appelé "véhicule hybride". Celui-ci est équipé d'un double système de propulsion, thermique-électrique en général. L'objectif de l'hybridation est de tirer profit de chaque système avec de moindres inconvénients.

En ville, le véhicule hybride prend son énergie dans les batteries (aucune émission de polluant). Sur route, le moteur thermique permet de recharger et/ou d'alimenter le moteur électrique. En cas de besoin (lors du dépassement d'un véhicule par exemple) le moteur électrique peut puiser son énergie à la fois des batteries et du moteur thermique pour offrir une puissance très confortable.

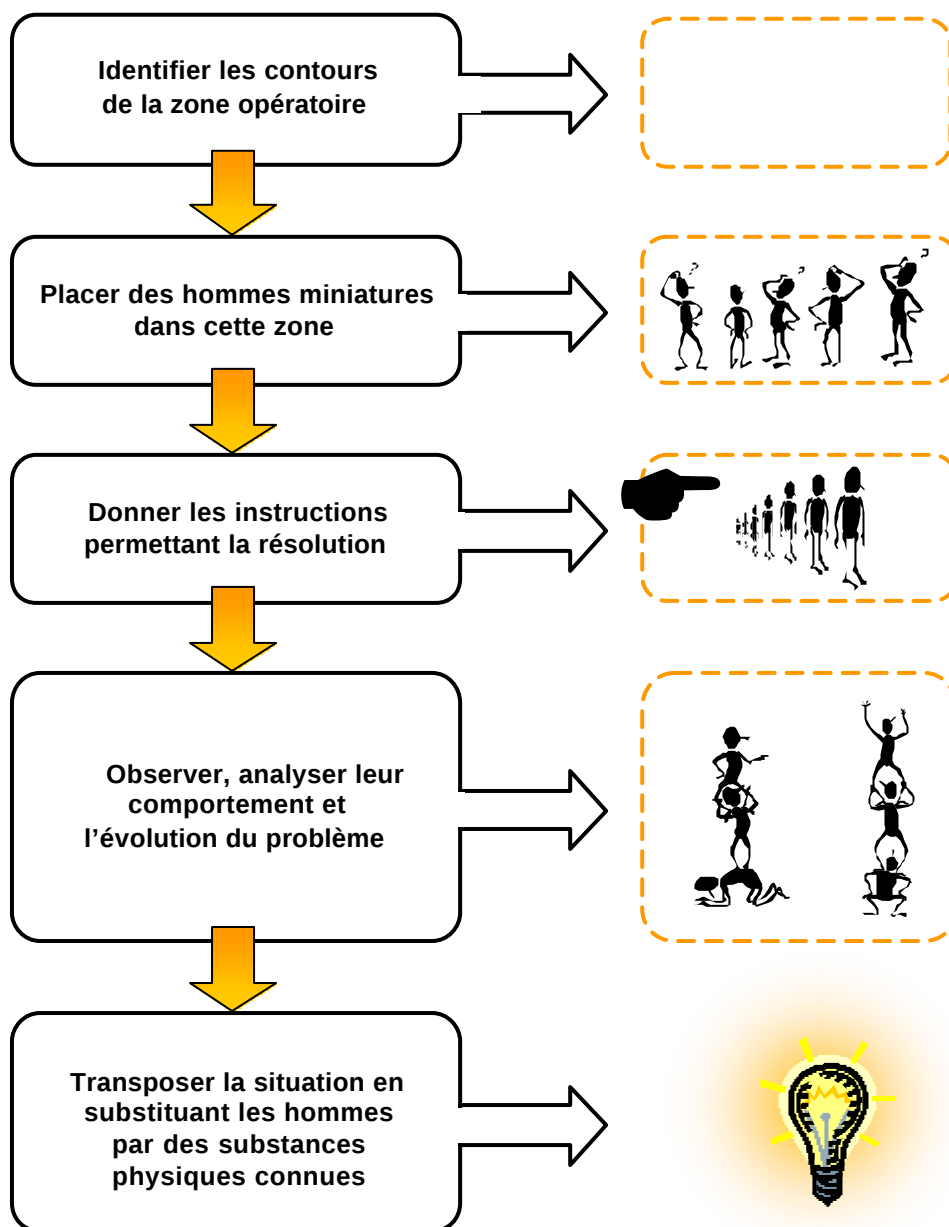
Méthode des Hommes Miniatures

Cette méthode offre un modèle graphique permettant de visualiser le conflit à l'origine de la situation problématique, ou les états opposés exprimés dans une contradiction physique. Cela permet ainsi de clarifier l'action idéale nécessaire afin de résoudre la difficulté. D'autre part, cette simulation diminue l'inertie psychologique du concepteur et développe son imagination.



Pour obtenir ce modèle, le principe est de faire appel à une foule ou à plusieurs groupes ²d'Hommes Miniatures² permettant au concepteur de faire partie du problème. Ces créatures représentent des particules modifiables et possédant certaines propriétés nécessaires afin de lever le conflit mis ainsi en évidence par ce nouveau point de vue.

La mise en œuvre des Hommes Miniatures suit le schéma suivant :



Afin de tester la résistance des peintures sur les carrosseries automobiles, des tests de projection de gravillons sont réalisés. On cherche alors à éviter l'écaillage des différentes couches présentes sur le métal et plus généralement on désire améliorer la résistance de la peinture aux petits chocs.

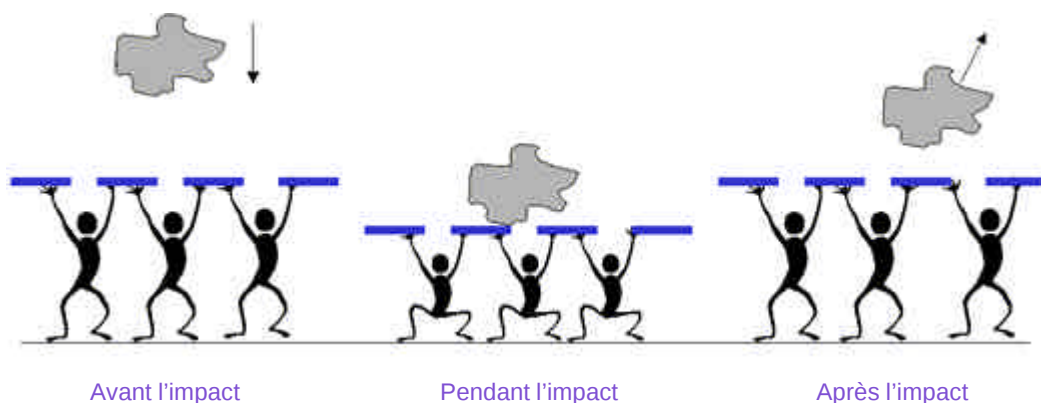
Dans un premier temps, il convient de **porter notre attention sur la zone du conflit**, c'est-à-dire le lieu du choc entre la peinture et un gravillon. Bien qu'étant utile, cette vue ne va pas nous apporter un grand intérêt pour développer une solution efficace à notre problème. Néanmoins elle permet de prendre conscience de la Zone Opérationnelle. Une solution pourrait être alors de protéger la couche de peinture par une couche de vernis plus épaisse et plus résistante. Des tests ultérieurs ont montré que d'autres problèmes apparaissaient : coût, séchage...

La Méthode des Hommes Miniatures nous encourage ensuite à **nous placer à l'intérieur du problème et à prendre part à celui-ci**. Dans le cas présent, nous devenons un groupe d'hommes miniatures placés entre la carrosserie et la surface extérieure de la peinture et voyant arriver sur eux un énorme gravillon à une vitesse élevée.

Devant cette situation, quelle pourrait être notre réaction ?

- o Disposer d'un bouclier pour nous protéger.
- o Avoir d'autres personnes autour de nous pour pouvoir nous aider.
- o Nous pourrions tous ensemble nous arc-bouter, et ensuite essayer d'absorber ou de dévier l'énergie du projectile.

En nous situant ainsi au centre du problème, nous pouvons imaginer la situation telle qu'elle est décrite par les schémas suivants :



Il convient enfin de **transposer cette situation dans la réalité**, on peut imaginer devoir utiliser plutôt une couche de peinture fine mais disposant d'une certaine élasticité permettant ainsi de placer une véritable « peau » sur la carrosserie de l'automobile.

Vépole : modélisation de type « Substances-Champ »

L'analyse Vépole est une méthode analytique permettant de construire un modèle du conflit dans la Zone Opérationnelle durant le Temps Opérationnel suivant la contradiction (physique ou technique) formulée.



♦ Des Substances et des Champs :

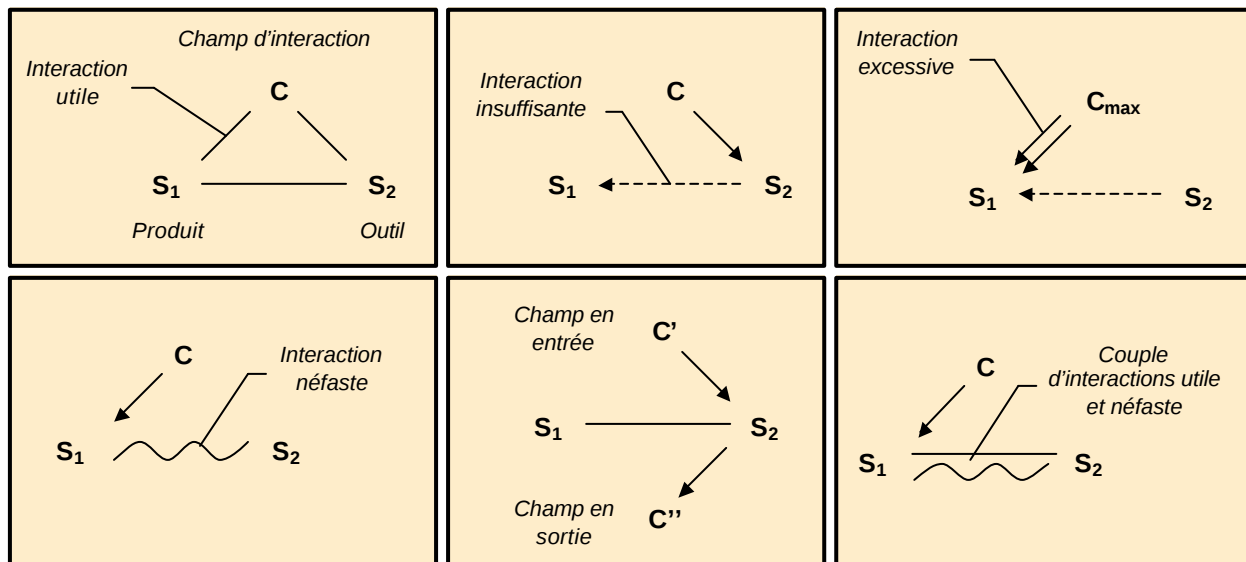
Le terme Vépole est tiré du russe et vient de la contraction de deux mots : *Véchestvo* (substance), et *Pole* (Champ).

La Substance peut être constituée par n'importe quel objet, sans rapport avec sa complexité.

Le Champ (dans la modélisation Vépole) est une interaction, et non pas le sens physique du terme.

♦ Le modèle Vépole :

Ce modèle est construit grâce à un langage graphique spécifique permettant de décrire les raisons du problème sans utiliser de mot.



♦ Des modèles complets ou incomplets :

Un modèle Vépole complet doit inclure :

- o Un **produit** S_1 , qui est nécessaire pour être transformé (produit, déplacé, modifié, amélioré, détecté, mesuré, protégé d'un effet néfaste)
- o Un **outil** S_2 , qui fournit l'action requise.
- o Un **champ** C , qui fournit l'énergie nécessaire aux interactions.
- o Des **liens** entre les différents éléments du modèle (au moins deux).

Un **modèle Vépole incomplet** est un modèle auquel il manque au moins un des éléments précédents.

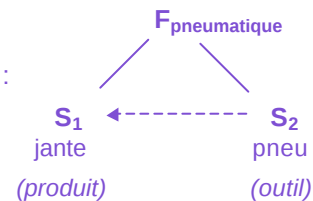
Après une crevaison, la pression dans le pneu n'est plus suffisante pour que celui ci assure un soutien mécanique de la jante. L'un des objectifs d'amélioration du système **PAX[®]** est d'offrir la possibilité de pouvoir continuer à rouler après une crevaison sans détériorer l'ensemble jante-pneumatique, ni compromettre la sécurité des automobilistes. L'analyse de cette situation problématique < après une crevaison > permet de formuler la contradiction suivante :

< Le pneu > **doit** < soutenir la jante > **afin de** < supporter la masse de l'automobile >

MAIS < Le pneu > **ne peut pas** < soutenir la jante > **car** < la pression d'air dans le pneu est insuffisante >

Cette contradiction technique permet de mettre en évidence le conflit entre les deux éléments : < le pneu > et < la jante >.

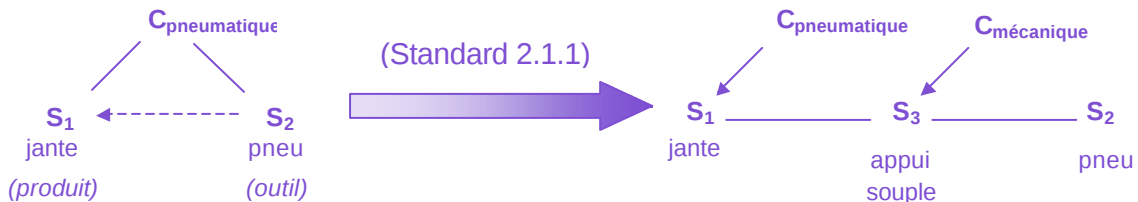
Le modèle Vépole permet de construire un modèle de ce conflit :



On utilise ensuite les Standards afin de trouver un modèle de la solution correspondant à notre modèle de problème :



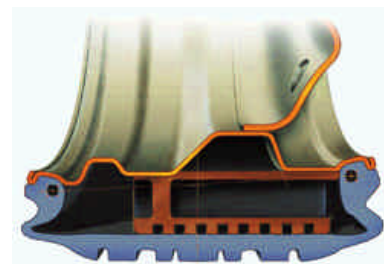
On transpose ensuite ce modèle de solution à notre situation problématique en prenant en compte les contraintes spécifiques de celle-ci.



Le nouveau système d'accrochage du pneu (S_2) sur la jante (S_1) et la présence d'un appui souple placé à l'intérieur du pneu offrent entre autres la possibilité de pouvoir continuer à rouler après une crevaison sans détérioration de la jante et tout en garantissant la sécurité des automobilistes. L'appui (S_3) vient en effet remplir la fonction assurée auparavant par l'air (C_1) en assurant un soutien mécanique (C_2) comme le montre les illustrations suivantes :



Système PAX[®] avant la crevaison



Système PAX[®] après la crevaison

La Matrice de résolution des Contradictions Techniques

Cet outil permet d'aider le concepteur à trouver les principes d'innovation les plus probables pour résoudre notre problème, et permettant d'aboutir à une solution innovante et non pas à un compromis.



Cette matrice est le résultat d'études visant à mettre en évidence des configurations de problèmes types et à les exprimer sous la forme de conflits entre des paramètres de conception. Ces principales familles de paramètres en conflit lors d'une recherche de contradiction sont au nombre de 39. La matrice de résolution des contradictions techniques présente ces 39 paramètres sur ses deux axes comme le montre l'extrait suivant :

Paramètre qui se dégrade Paramètre à améliorer		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		Masse d'un objet mobile	Masse d'un objet immobile	Longueur d'un objet mobile	Longueur d'un objet immobile	Surface d'un objet mobile	Surface d'un objet immobile	Volume d'un objet mobile	Volume d'un objet immobile	Vitesse
1	Masse d'un objet mobile		-	15, 8, 29, 34	-	29, 17, 38, 34	-	29, 2, 40, 28	-	2, 8, 15, 38
2	Masse d'un objet immobile	-		-	10, 1, 29, 35	-	35, 30, 13, 2	-	5, 35, 14, 2	-
3	Longueur d'un objet mobile	8, 15, 29, 34	-		-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-	13, 4, 8
4	Longueur d'un objet immobile		35, 28, 40, 29	-		-	17, 7, 10, 40	-	35, 8, 2, 14	-
5	Surface d'un objet mobile	2, 17, 29, 4	-	14, 15, 18, 4	-		-	7, 14, 17, 4		29, 30, 4, 34
6	Surface d'un objet immobile	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-		-		-
7	Volume d'un objet mobile	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 4, 35	-	1, 7, 4, 17	-		-	29, 4, 38, 34
8	Volume d'un objet immobile	-	35, 10, 19, 14	19, 14	35, 8, 2, 14	-		-		-
9	Vitesse	2, 28, 13, 38	-	13, 14, 8	-	29, 30, 34	-	7, 29, 34	-	

Il suffit de sélectionner le **paramètre à améliorer** sur l'axe vertical, et **celui qui se dégrade suite à l'amélioration** sur l'axe horizontal (on cherche à avoir les paramètres qui se rapprochent le plus de ceux présents dans la contradiction technique). Les intersections des paramètres sélectionnés contiennent les références des **principes d'innovation conseillés**.

Remarque : la matrice donnée dans ce guide est la matrice d'Altshuller traduite par le L.R.P.S.

Liste des quarante Principes d'Invention

Les quarante principes d'invention donnés ci-dessous sont la traduction par le L.R.P.S. de la version russe de G. Altshuller.

1. La segmentation

- a. Diviser un objet en parties indépendantes.
- b. Réaliser un objet démontable.
- c. Accroître le degré de segmentation de l'objet.

2. L'extraction

- a. Extraire (enlever ou séparer) de l'objet une partie ou propriété inutile.
- b. Extraire seulement la partie ou la propriété nécessaire.

3. La qualité locale

- a. Passer d'une structure homogène d'un objet (ou de l'environnement ou d'une action extérieure) vers une structure hétérogène.
- b. Faire en sorte que différentes parties de l'objet aient (réalisent) différentes fonctions.
- c. Placer chaque partie de l'objet sous les conditions les plus favorables pour l'opération qu'elle effectue.

4. L'asymétrie

- a. Remplacer une forme symétrique par une forme asymétrique.
- b. Si l'objet est déjà asymétrique, accroître le degré d'asymétrie.

5. La combinaison

- a. Combiner des objets homogènes ou des objets destinés à des opérations contiguës.
- b. Combiner dans le temps des opérations homogènes ou contiguës.

6. L'universalité

- a. Faire en sorte que l'objet remplisse plusieurs fonctions, de façon à éliminer la nécessité d'autres objets.

7. Le placement interne

- a. Placer un objet dans un autre qui, à son tour, sera placé dans un autre et ainsi de suite.
- b. Faire passer un objet au travers d'un autre par ses cavités.

8. Le contrepoids

- a. Compenser le poids de l'objet en le joignant avec un autre possédant une force de levage.
- b. Compenser le poids d'un objet par l'interaction avec un environnement (au moyen des forces aérodynamiques ou hydrodynamiques).

9. L'action inverse préalable

- a. Si l'objet est (ou sera) sous tension non admissible ou indésirable, lui fournir une tension inverse à l'avance.
- b. Si selon les données du problème il faut effectuer une action quelconque, il faut exécuter une action inverse à l'avance.

10. L'action préalable

- a. Accomplir l'action requise à l'avance (entièrement ou au moins partiellement).
- b. Prépositionner idéalement les objets de façon à ce qu'ils entrent en action de l'endroit le plus accessible et sans dépenser de temps pour le déplacement.

11. La prévention

- a. Compenser le manque relatif de fiabilité de l'objet par des mesures préventives.

12. L'équipotentialité

- a. Changer les conditions de travail de manière à ce que l'objet n'ait besoin d'être ni levé ni baissé.

13. L'inversion

- a. *Au lieu d'obtenir une action dictée par les spécifications du problème, effectuer une action opposée.*
- b. *Rendre la partie mobile de l'objet ou de l'environnement immobile et la partie fixe, mobile.*
- c. *Mettre l'objet à l'envers ou le retourner.*

14. La sphéricité

- a. *Remplacer des parties linéaires par des parties courbes, des surfaces planes par des surfaces sphériques ; remplacer des formes cubiques et parallélépipédiques par des formes sphériques.*
- b. *Utiliser des rouleaux, des sphères, des spirales.*
- c. *Remplacer un mouvement de translation par un mouvement de rotation ; utiliser la force centrifuge.*

15. Le dynamisme

- a. *Rendre un objet (ou son environnement) automatiquement ajusté pour une performance optimale à chaque phase de l'opération.*
- b. *Séparer un objet en éléments pouvant se déplacer les uns par rapport aux autres.*
- c. *Si un objet est immobile, le rendre mobile, déplaçable.*

16. L'action partielle ou excessive

- a. *S'il est difficile d'obtenir 100 % de l'effet requis, il faut en obtenir un peu plus ou un peu moins, cela simplifiera considérablement le problème.*

17. Le changement de dimension

- a. *Lever les difficultés liées au mouvement (ou à la disposition) d'un objet le long d'une ligne en le déplaçant dans deux dimensions (c'est-à-dire sur une surface). De la même façon, lever les problèmes liés au mouvement (ou à la disposition) d'un objet sur une surface par la transition vers trois dimensions.*
- b. *Utiliser un assemblage multicouches d'objets au lieu d'un monocouche.*
- c. *Incliner l'objet (ou le poser sur un de ses côtés).*
- d. *Utiliser la face inverse de la surface donnée.*
- e. *Utiliser des flux optiques dirigés sur une surface voisine ou sur la face inverse de la surface donnée.*

18. La vibration mécanique

- a. *Faire osciller un objet.*
- b. *Si l'oscillation existe, accroître sa fréquence, même aussi loin que l'ultrason.*
- c. *Utiliser la fréquence résonnante.*
- d. *Au lieu des vibrations mécaniques, utiliser la piézovibration.*
- e. *Utiliser les vibrations ultrasoniques en conjonction avec un champ électromagnétique.*

19. L'action périodique

- a. *Remplacer une action continue par une action périodique par impulsion.*
- b. *Si l'action est déjà périodique, modifier sa fréquence.*
- c. *Utiliser des pauses entre les impulsions pour des actions supplémentaires.*

20. La continuité d'une action utile

- a. *Effectuer une action en continu (toutes les parties d'un objet doivent fonctionner constamment à plein régime).*
- b. *Enlever les mouvements morts et les mouvements intermédiaires.*

21. L'accélération

- a. *Réaliser le processus ou certaines de ses étapes (par exemple, nuisibles ou dangereuses) à haute cadence.*

22. La transformation d'un moins en plus

- a. *Utiliser des facteurs nuisibles, notamment des effets néfastes de l'environnement, pour obtenir un effet positif.*
- b. *Éliminer un facteur nuisible en le combinant avec d'autres facteurs nuisibles.*
- c. *Accroître la nuisance d'un facteur néfaste jusqu'à ce qu'il cesse d'être néfaste.*

23. L'asservissement

- a. *Introduire un asservissement.*
- b. *Si l'asservissement existe, le modifier.*

24. L'intermédiaire

- a. *Utiliser un objet intermédiaire pour transmettre ou transférer une action.*
- b. *Joindre temporairement à l'objet un autre objet plus facile à éliminer.*

25. Le self service

- a. *Faire en sorte que l'objet assure son auto-entretien en réalisant des opérations de réparation et supplémentaires.*
- b. *Utiliser les restes énergétiques et matériels.*

26. La copie

- a. *Utiliser des copies simplifiées et bon marché au lieu d'un objet complexe, coûteux, fragile ou inconmode.*
- b. *Remplacer l'objet ou un système d'objets par leurs copies optiques (par des images), modifier l'échelle (augmenter ou diminuer les copies).*
- c. *Si l'on utilise des copies optiques visibles, passer aux copies infrarouges ou ultraviolettes.*

27. L'éphémère bon marché au lieu de la longévité coûteuse

- a. *Remplacer un objet cher par un ensemble d'autres bon marché, en renonçant à certaines de ses propriétés (comme la longévité).*

28. La reconception

- a. *Remplacer un système mécanique par un système optique, acoustique ou olfactif.*
- b. *Utiliser un champ électrique, magnétique ou électromagnétique pour provoquer une interaction avec l'objet.*
- c. *Remplacer les champs :*
 - 1. *immobiles par des champs mobiles,*
 - 2. *fixes par ceux qui changent dans le temps,*
 - 3. *non structurés par des champs structurés.*
- d. *Utiliser des champs en combinaison avec des particules ferromagnétiques.*

29. Le système hydraulique ou pneumatique

- a. *Remplacer les parties solides d'un objet par du gaz ou du liquide, notamment par des parties gonflables, pouvant être remplies d'eau, hydrostatiques et hydroréactives, coussin d'air.*

30. La membrane flexible et le film de faible épaisseur

- a. *Remplacer les conceptions par des membranes flexibles et des films de faible épaisseur.*
- b. *Isoler un objet de son environnement en utilisant des membranes flexibles et des films de faible épaisseur.*

31. Le matériau poreux

- a. *Réaliser un objet poreux ou lui adjoindre des éléments poreux (inserts, revêtements, etc.).*
- b. *Si l'objet est déjà poreux, remplir les pores avec une autre substance.*

32. Le changement de couleur

- a. *Modifier la couleur d'un objet ou de son environnement.*
- b. *Modifier le degré de transparence d'un objet ou de l'environnement.*
- c. *Utiliser des colorants (additifs) pour observer des objets (ou procédés) difficiles à voir.*
- d. *Si de tels additifs sont déjà employés, utiliser des atomes repérables.*

33. L'homogénéité

- a. *Fabriquer les objets interagissant avec l'objet donné en un matériau identique ou proche de ce dernier du point de vue de ses caractéristiques.*

34. Le rejet et la régénération des parties

- a. *Après avoir rempli sa fonction ou être devenu inutile, la partie de l'objet doit être rejetée (dissolue, évaporée...) ou bien modifiée directement au cours de l'opération.*
- b. *Restaurer les parties consommées de l'objet directement au cours de l'opération.*

35. Le changement de paramètres physiques et chimiques d'un objet

- a. *Modifier l'état de phase d'un objet.*
- b. *Modifier sa concentration ou sa consistance.*
- c. *Modifier le degré de flexibilité.*
- d. *Modifier la température.*

36. Transitions de phases

- a. *Utiliser des phénomènes se produisant lors des transitions de phase, par exemple le changement de volume, la libération ou l'absorption de chaleur, etc.*

37. L'expansion thermique

- a. *Utiliser l'expansion thermique (ou la contraction) de matériaux.*
- b. *Utiliser des matériaux divers avec des coefficients d'expansion thermique différents.*

38. L'oxydation

- a. *Remplacer de l'air normal par de l'air enrichi.*
- b. *Remplacer de l'air enrichi par de l'oxygène.*
- c. *Agir sur l'air ou sur l'oxygène par des radiations ionisantes.*
- d. *Utiliser de l'oxygène ozonisé.*
- e. *Remplacer l'oxygène ozonisé (ou ionisé) par de l'ozone.*

39. L'environnement inerte

- a. *Remplacer un environnement normal par un autre inerte.*
- b. *Effectuer le processus sous vide.*

40. Les matériaux composites

- a. *Remplacer des matériaux homogènes par des composites.*

Liste des trente-neuf Paramètres de Conception

Les trente-neuf paramètres de conception donnés ci-dessous sont la traduction par le L.R.P.S. de la version russe de G. Altshuller.

1. *Masse d'un objet mobile*
2. *Masse d'un objet immobile*
3. *Longueur d'un objet mobile*
4. *Longueur d'un objet immobile*
5. *Surface d'un objet mobile*
6. *Surface d'un objet immobile*
7. *Volume d'un objet mobile*
8. *Volume d'un objet immobile*
9. *Vitesse*
10. *Force*
11. *Tension, pression*
12. *Forme*
13. *Stabilité de la structure de l'objet*
14. *Tenue mécanique*
15. *Durée d'action d'un objet mobile*
16. *Durée d'action d'un objet immobile*
17. *Température*
18. *Eclairement*
19. *Energie dépensée par l'objet mobile*
20. *Energie dépensée par l'objet immobile*
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 fabrication*
30. *Facteurs nuisibles agissant sur l'objet*
31. *Facteurs nuisibles de l'objet lui-même*
32. *Commodité de production*
33. *Commodité d'utilisation*
34. *Commodité de réparation*
35. *Polyfonctionnalité, adaptabilité*
36. *Complexité de l'appareil*
37. *Complexité de contrôle*
38. *Degré d'automatisation*
39. *Productivité*

Principes de résolution des Contradictions Physiques

Sur la base de ses analyses de brevets, Altshuller a formalisé onze principes permettant de résoudre une contradiction physique. Ceux-ci sont utilisés pour séparer des propriétés opposées dans l'espace, dans le temps, et entre le système et ses composants.



1. **Division des propriétés contradictoires dans l'espace** : une zone géographique de la pièce possède la propriété A et une autre zone la propriété – A.
2. **Division des propriétés contradictoires dans le temps** : la propriété A n'est assurée que dans le laps de temps où elle est nécessaire, et dans le reste du temps elle demeure à la valeur – A. (*standard 2.3.3*)
3. **Transition des systèmes 1a** : assemblage des systèmes homogènes ou hétérogènes en un super-système. (*standard 3.1.1*)
4. **Transition des systèmes 1b** : transition d'un système à un anti-système ou à une combinaison de systèmes avec un anti-système. (*standard 3.1.3*)
5. **Transition des systèmes 1c** : tout le système est doté d'une propriété A et toutes les parties du système sont dotées d'un propriété – A. (*standard 3.1.5*)
6. **Transition des systèmes 2** : passage à n systèmes fonctionnant au micro-niveau. (*standard 3.2.1*)
7. **Transition de phase 1** : remplacement de l'état de phase d'une partie du système ou de l'environnement. (*standard 5.3.1*)
8. **Transition de phase 2** : état de phase "dualiste" d'une partie du système (passage de cette partie d'un état à l'autre en fonction des conditions de travail). (*standard 5.3.2*)
9. **Transition de phase 3** : utilisation des phénomènes accompagnant la transition de phase. (*standard 5.3.3*)
10. **Transition de phase 4** : remplacement d'une substance à une phase par une substance à deux phases. (*standards 5.3.4 et 5.3.5*)
11. **Transition physico-chimique** : apparition / disparition de la substance suite à une décomposition / combinaison, ionisation / recombinaison. (*standards 5.5.1 et 5.5.2*)

