



HAL
open science

Théorie de résolution des problèmes inventifs selon TRIZ au sein de l'industrie pharmaceutique

Merwan Baghli

► **To cite this version:**

Merwan Baghli. Théorie de résolution des problèmes inventifs selon TRIZ au sein de l'industrie pharmaceutique. Sciences pharmaceutiques. 2019. hal-03297924

HAL Id: hal-03297924

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03297924>

Submitted on 23 Jul 2021

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

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



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-thesesexercice-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

UNIVERSITE DE LORRAINE
2019

FACULTE DE PHARMACIE

THESE

Présentée et soutenue publiquement

Le, 28/06/2019 sur un sujet dédié à :

**Théorie de résolution des problèmes inventifs selon TRIZ au sein
de l'Industrie Pharmaceutique**

pour obtenir

Le Diplôme d'Etat de Docteur en Pharmacie

par Merwan BAGHLI

né(e) : 19 Mars 1992

Membres du Jury

Président : Philippe Maincent, Professeur des universités

Directrice de thèse : Florence Dumarcay, Maître de conférences

Juge : Pierre Legeard, Docteur en Pharmacie

Juge : Aurore Causse, Docteur en Pharmacie et Ingénieur

UNIVERSITÉ DE LORRAINE
FACULTÉ DE PHARMACIE
Année universitaire 2018-2019

DOYEN

Raphaël DUVAL

Vice-Doyen

Julien PERRIN

Directrice des études

Marie SOCHA

Conseil de la Pédagogie

Présidente, Brigitte LEININGER-MULLER

Vice-Présidente, Alexandrine LAMBERT

Collège d'Enseignement Pharmaceutique Hospitalier

Présidente, Béatrice DEMORE

Commission Prospective Facultaire

Président, Christophe GANTZER

Vice-Président, Jean-Louis MERLIN

Commission de la Recherche

Présidente, Caroline GAUCHER

Chargés de Mission

Innovation pédagogique

Référente ADE

Référent dotation sur projet (DSP)

Alexandrine LAMBERT

Virginie PICHON

Marie-Paule SAUDER

Responsabilités

Filière Officine

Filière Industrie

Filière Hôpital

Pharma Plus ENSIC

Pharma Plus ENSAIA

Pharma Plus ENSGSI

Cellule de Formation Continue et Individuelle

Commission d'agrément des maîtres de stage

ERASMUS

Caroline PERRIN-SARRADO

Julien GRAVOULET

Isabelle LARTAUD,

Jean-Bernard REGNOUF de VAINS

Béatrice DEMORE

Marie SOCHA

Jean-Bernard REGNOUF de VAINS

Xavier BELLANGER

Igor CLAROT

Luc FERRARI

François DUPUIS

Mihayl VARBANOV

DOYENS HONORAIRES

Chantal FINANCE

Francine PAULUS

Claude VIGNERON

PROFESSEURS EMERITES

Jeffrey ATKINSON

Max HENRY

Pierre LEROY

Claude VIGNERON

PROFESSEURS HONORAIRES

Jean-Claude BLOCK

Pierre DIXNEUF

Chantal FINANCE

Marie-Madeleine GALTEAU

Thérèse GIRARD

Michel JACQUE

Pierre LABRUDE

Vincent LOPPINET

Alain NICOLAS

Janine SCHWARTZBROD

Louis SCHWARTZBROD

MAITRES DE CONFERENCES HONORAIRES

Monique ALBERT

Mariette BEAUD

François BONNEAUX

Gérald CATAU

Jean-Claude CHEVIN

Jocelyne COLLOMB

Bernard DANGIEN

Marie-Claude FUZELLIER

Françoise HINZELIN

Marie-Hélène LIVERTOUX

Bernard MIGNOT

ASSISTANTS HONORAIRES

Marie-Catherine BERTHE
Annie PAVIS

Blandine MOREAU
Dominique NOTTER
Francine PAULUS
Christine PERDICAKIS
Marie-France POCHON
Anne ROVEL
Gabriel TROCKLE
Maria WELLMAN-ROUSSEAU
Colette ZINUTTI

ENSEIGNANTS

Section CNU*

Discipline d'enseignement

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - PRATICIENS HOSPITALIERS

Danièle BENSOUSSAN-LEJZEROWICZ	82	Thérapie cellulaire
Béatrice DEMORE	81	Pharmacie clinique
Jean-Louis MERLIN	82	Biologie cellulaire
Jean-Michel SIMON	81	Economie de la santé, Législation pharmaceutique
Nathalie THILLY	81	Santé publique et Epidémiologie

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Christine CAPDEVILLE-ATKINSON	86	Pharmacologie
Igor CLAROT	85	Chimie analytique
Joël DUCOURNEAU	85	Biophysique, Acoustique, Audioprothèse
Raphaël DUVAL	87	Microbiologie clinique
Béatrice FAIVRE	87	Hématologie, Biologie cellulaire
Luc FERRARI	86	Toxicologie
Pascale FRIANT-MICHEL	85	Mathématiques, Physique
Christophe GANTZER	87	Microbiologie
Frédéric JORAND	87	Eau, Santé, Environnement
Isabelle LARTAUD	86	Pharmacologie
Dominique LAURAIN-MATTAR	86	Pharmacognosie
Brigitte LEININGER-MULLER	87	Biochimie
Philippe MAINCENT	85	Pharmacie galénique
Patrick MENU	86	Physiologie
Jean-Bernard REGNOUF de VAINS	86	Chimie thérapeutique
Bertrand RIHN	87	Biochimie, Biologie moléculaire

MAITRES DE CONFÉRENCES DES UNIVERSITÉS - PRATICIENS HOSPITALIERS

Alexandre HARLE	82	Biologie cellulaire oncologique
Julien PERRIN	82	Hématologie biologique
Loïc REPPPEL	82	Biothérapie
Marie SOCHA	81	Pharmacie clinique, thérapeutique et biotechnique

MAITRES DE CONFÉRENCES

Sandrine CAPIZZI BANAS	87	Parasitologie
Xavier BELLANGER	87	Parasitologie, Mycologie médicale
Emmanuelle BENOIT ^H	86	Communication et Santé
Isabelle BERTRAND	87	Microbiologie
Michel BOISBRUN ^H	86	Chimie thérapeutique
Ariane BOUDIER ^H	85	Chimie Physique
Cédric BOURA ^H	86	Physiologie
Joël COULON ^H	87	Biochimie
Sébastien DADE	85	Bio-informatique

Dominique DECOLIN	85	<i>Chimie analytique</i>
Roudayna DIAB	85	<i>Pharmacie galénique</i>
Natacha DREUMONT	87	<i>Biochimie générale, Biochimie clinique</i>
Florence DUMARCAÿ ^H	86	<i>Chimie thérapeutique</i>
François DUPUIS ^H	86	<i>Pharmacologie</i>
Reine EL OMAR	86	<i>Physiologie</i>
Adil FAIZ	85	<i>Biophysique, Acoustique</i>
Anthony GANDIN	87	<i>Mycologie, Botanique</i>
Caroline GAUCHER ^H	86	<i>Chimie physique, Pharmacologie</i>
Stéphane GIBAUD ^H	86	<i>Pharmacie clinique</i>
Thierry HUMBERT	86	<i>Chimie organique</i>
Olivier JOUBERT ^H	86	<i>Toxicologie, Sécurité sanitaire</i>
ENSEIGNANTS (suite)	Section CNU *	Discipline d'enseignement

Alexandrine LAMBERT	85	<i>Informatique, Biostatistiques</i>
Julie LEONHARD	86/01	<i>Droit en Santé</i>
Christophe MERLIN ^H	87	<i>Microbiologie environnementale</i>
Maxime MOURER	86	<i>Chimie organique</i>
Coumba NDIAYE	86	<i>Epidémiologie et Santé publique</i>
Arnaud PALLOTTA	86	<i>Bioanalyse du médicament</i>
Marianne PARENT	85	<i>Pharmacie galénique</i>
Caroline PERRIN-SARRADO	86	<i>Pharmacologie</i>
Virginie PICHON	85	<i>Biophysique</i>
Sophie PINEL ^H	85	<i>Informatique en Santé (e-santé)</i>
Anne SAPIN-MINET ^H	85	<i>Pharmacie galénique</i>
Marie-Paule SAUDER	87	<i>Mycologie, Botanique</i>
Guillaume SAUTREY	85	<i>Chimie analytique</i>
Rosella SPINA	86	<i>Pharmacognosie</i>
Sabrina TOUCHET	86	<i>Pharmacochimie</i>
Mihayl VARBANOV	87	<i>Immuno-Virologie</i>
Marie-Noëlle VAULTIER	87	<i>Mycologie, Botanique</i>
Emilie VELOT ^H	86	<i>Physiologie-Physiopathologie humaines</i>
Mohamed ZAIYOU ^H	87	<i>Biochimie et Biologie moléculaire</i>

PROFESSEUR ASSOCIE

Julien GRAVOULET	86	<i>Pharmacie clinique</i>
------------------	----	---------------------------

PROFESSEUR AGREGÉ

Christophe COCHAUD	11	<i>Anglais</i>
--------------------	----	----------------

^H Maître de conférences titulaire HDR

* *Disciplines du Conseil National des Universités :*

80 : Personnels enseignants et hospitaliers de pharmacie en sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé

81 : Personnels enseignants et hospitaliers de pharmacie en sciences du médicament et des autres produits de santé

82 : Personnels enseignants et hospitaliers de pharmacie en sciences biologiques, fondamentales et cliniques

85 : Personnels enseignants-chercheurs de pharmacie en sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé

86 : Personnels enseignants-chercheurs de pharmacie en sciences du médicament et des autres produits de santé

87 : Personnels enseignants-chercheurs de pharmacie en sciences biologiques, fondamentales et cliniques

11 : Professeur agrégé de lettres et sciences humaines en langues et littératures anglaises et anglo-saxonnes

SERMENT DES APOTHICAIRES



Je jure, en présence des maîtres de la Faculté, des conseillers de l'ordre des pharmaciens et de mes condisciples :

Ɖ'honorer ceux qui m'ont instruit dans les préceptes de mon art et de leur témoigner ma reconnaissance en restant fidèle à leur enseignement.

Ɖ'exercer, dans l'intérêt de la santé publique, ma profession avec conscience et de respecter non seulement la législation en vigueur, mais aussi les règles de l'honneur, de la probité et du désintéressement.

Ɖe ne jamais oublier ma responsabilité et mes devoirs envers le malade et sa dignité humaine ; en aucun cas, je ne consentirai à utiliser mes connaissances et mon état pour corrompre les mœurs et favoriser des actes criminels.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses.

Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque.



« LA FACULTE N'ENTEND DONNER AUCUNE APPROBATION, NI IMPROBATION AUX OPINIONS EMISES DANS LES THESES, CES OPINIONS DOIVENT ETRE CONSIDEREES COMME PROPRES A LEUR AUTEUR ».

Remerciements

- Aux membres du jury :

Au Professeur Philippe Maincent,

Pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de cette thèse
Pour vos enseignements à la Faculté de Pharmacie de Nancy,
Veuillez trouver l'expression de ma profonde gratitude.

A Florence Dumarçay,

Pour avoir accepté de diriger ma thèse et la correction de celle-ci
Pour ton aide et tes explications en travaux pratiques de chimie organique en 2^e et 3^e
années,
Pour ta réactivité, ta disponibilité et ta gentillesse,
Je t'adresse mes remerciements les plus sincères.

A Aurore Causse,

Pour avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse 1 an avant la création de
celle-ci,
Pour m'avoir relancé à plusieurs reprises pour savoir l'état d'avancement de ma thèse,
Pour les bons moments qu'on a passés avec l'équipe projet à Sanofi Pasteur quand
j'étais alternant
Je te remercie pour les conseils que tu m'as donnés, et ta sympathie

A Pierre Legeard,

Pour avoir accepté dès le début de faire parti de mon jury de thèse
Pour ton aide dans l'organisation de la soutenance,
Je te remercie pour tes conseils, ta disponibilité et ta sympathie.

- A la Faculté de Pharmacie de Nancy qui m'a permis d'obtenir une formation de qualité.
- A l'IPIL (Institut de Pharmacie Industrielle de Lyon), pour m'avoir donné l'opportunité de faire ma spécialisation en développement et production pharmaceutique à Lyon.

- A Sanofi Pasteur :

Mes remerciements vont également à,

Sylvain Collomb-Muret et Benjamin Desmaris pour m'avoir recruté en alternance dans l'équipe projet.

Maud Berthieux pour m'avoir donné l'opportunité de réaliser ma 1^{ère} expérience professionnelle en tant que coordinateur production en Milieux & Cellules au vrac de Polio.

L'ensemble de l'équipe production du secteur Milieux & Cellules : Emilie Lintot, Pierre Legeard, Jean-Paul Favre-croix, Joris Achard, Marion Clément, Mélissa Jouans. Je vous remercie pour tous les bons moments passés et pour m'avoir fait évoluer en compétences.

Joris Achard, "The King of Experts !" Merci pour ton aide et tes conseils quand j'étais alternant sous Sylvain, et au vrac de Polio. J'ai beaucoup appris avec toi en production, en qualité, en gestion de projets...et aujourd'hui je n'ai plus la même casquette ! J'ai apprécié ta collaboration dans tous les sujets que nous avons en communs. Mes sincères remerciements.

Jean-Paul Favre-croix alias MacGyver ou la personne la plus persévérante que je connaisse ! Merci pour ton soutien pendant ces 18 mois et partagé ta connaissance technique avec moi à tous moments de la journée grâce au raccourci téléphonique du 890 *Service desk*, Allô JP ? Merci pour tous ces moments sympas.

Ma collègue de bureau Dr. Mélissa Jouans, qui m'a poussé à commencer ma thèse ! Merci pour tous les bons moments qu'on a passé dans ce bureau, à la machine à café, et pour ton aide au travail.

A l'ensemble de l'équipe qualité : Fanny Collard, Virginie Da Costa, Sarah Seznec, Morgane Lorusso et Marielle Maurice.

Spéciale dédicace à Fanny pour ses conseils en qualité et sa rigueur de travail. Et aussi à Virginie, pour ton aide dans les différentes mises à jours documentaires. J'espère que tu ne fais plus de cauchemars sur les 90 pages de consignation d'équipements !

A Pierre Beauchu, pour ton aide en général sur les sujets techniques.

A tous les adjoints d'encadrements et techniciens de production en 5x8.

- A mes proches :

A mes parents,

Pour m'avoir poussé à faire des études supérieures,
Pour votre soutien indéfectible, votre confiance et votre bienveillance,
Je ne vous remercierai jamais assez, je vous dédie ce travail.

A mes frères Adnan, Haris et à ma sœur Mounya,

Pour votre soutien toutes ces années,
Pour votre humour,
Pour être toujours là pour moi.

A mes oncles, tantes et cousins,

Pour votre affection et soutien exprimés.

A William Krai,

Pour toutes ces années d'amitié depuis le CE1,
Pour ton humour, ton attention et ta spontanéité,
Pour ton souhait d'assister à l'aboutissement de mes études.

A Jimmy, Childec, Thibault,

Pour votre sympathie et votre humour.

A Vincent Collot,

Pour tous les moments sympas qu'on a passés en TP (la cyclodextrine sur la blouse bleue...),
Pour ton aide durant toutes ces années à la Faculté de Pharmacie et pour ton soutien.

A Maxime Casteran,

Pour tous les moments marrants et de révision qu'on a passés,
Pour tes conseils en général,
Pour m'avoir fait suivre la filière industrie.

A Kévin Petitcolas,

Pour m'avoir fait rire pendant le SIR à la Faculté des sciences, je suis maintenant adepte du bicol en chimie orga, je n'oublie pas le coton pour le bicol, je nettoie ma verrerie à l'acétone et s'il reste des gouttes après séchage ?! C'est de l'eau et pas de l'acétone, ok ?

Pour avoir rendu le stage à l'Hôpital Mercy à Metz inoubliable, avec notre café quotidien à la crème chantilly (plus de crème que de café) qu'on prenait au rez-de-chaussée qui nous donnait l'air de 2 touristes en vacances !

A Maxime, Vincent, Kévin, Rémy, Elena, Julie, Léa, Maria, Bilal, Marie et Carole,

Pour votre sympathie et votre disponibilité,
Pour avoir rendu ces études inoubliables.

A Carole,

Pour avoir eu la gentillesse et la disponibilité de lire et corriger mon travail.
Pour ton humour, ta sympathie et ton soutien.

A Maxime Maure, Elena, Marie,

Pour les repas agréables à Sanofi le mercredi midi,
Pour s'être mutuellement motivés pour écrire la thèse.

"Si j'avais une heure pour sauver le monde, je passerais cinquante-cinq minutes à définir le problème et cinq minutes à trouver la solution." A. Einstein

Table des matières

1	État de l'art sur la créativité et l'innovation	8
1.1	Qu'est-ce que l'innovation et la créativité ?	8
1.2	Mesure de l'innovation	11
1.2.1	Quels indicateurs pour mesurer l'innovation ?	11
1.2.2	Résultats statistiques pour les entreprises de l'UE	12
1.3	Les méthodes de créativité les plus connues	15
1.3.1	Théories de créativité en tant que succession d'étapes : Le modèle Wallas	16
1.3.2	Le modèle d'Osborn	17
1.3.3	Le modèle Osborn – Parnes ou Résolution Créative des Problèmes (CPS)	17
1.3.4	La créativité en tant qu'art : la vision de Wertheimer et Vinacke	17
1.3.5	La créativité : un domaine maîtrisable	18
1.3.5.1	La pensée latérale	18
1.3.5.2	La systématisation de la créativité : l'approche de la théorie TRIZ	19
1.3.5.3	Les techniques pour diriger la créativité	20
2	TRIZ : l'approche Altshulérienne de la créativité	21
2.1	Histoire et origine de TRIZ (G.Altshuller)	21
2.2	Les concepts fondamentaux de la TRIZ	23
2.2.1	Formulation du problème et RIF : Résultat Idéal Final	23
2.2.2	Contradictions	24
2.2.3	Les Ressources	25
2.2.3.1	Aspects théoriques	25
2.2.3.2	Illustration via la boîte aux lettres intelligente	27
2.2.4	Inertie psychologique	28
2.2.4.1	Aspects théoriques	28
2.2.4.2	Illustration de l'impression couleur par le rouleau en rotation	29
2.2.5	5 niveaux d'inventivité	30
2.2.6	Lois d'évolutions des systèmes techniques	31
2.2.6.1	Les lois statiques	32
2.2.6.2	Les lois cinématiques	33
2.2.6.3	Les lois dynamiques	34
2.3	Les outils :	34
2.3.1	Matrice de résolution des contradictions technologiques	35
2.3.1.1	Les 40 principes d'innovation	35
2.3.1.2	Matrice 39 paramètres de conceptions pour éliminer la contradiction technique	37
2.3.2	11 principes de séparation	39
2.3.2.1	Aspects théoriques	39
2.3.2.2	Illustration par la bonbonne de gaz	40
2.3.3	Vépoles (ou analyses substances champs)	40
2.3.4	Système des 76 standards inventifs	43
2.3.5	Effets PGC (Physiques-Géométriques- Chimiques) et leurs pointeurs	45
2.3.6	Les opérateurs DTC (Dimensions Temps Coûts) et autres méthodes pour vaincre l'inertie psychologique	45
2.3.6.1	Aspects théoriques	45

2.3.6.2	Illustration via le convoyeur de laminoir	46
2.3.7	Analyse Multi écrans.....	47
2.3.7.1	Aspects théoriques	47
2.3.7.2	Illustration par l'évolution du parapluie.....	48
2.3.8	ARIZ : algorithme de TRIZ.....	53
2.3.9	Processus de mise en œuvre de TRIZ	54
3	Partie 3 : Résultat	56
4	Application de TRIZ à la production pharmaceutique	56
4.1	Processus <i>Change Control</i> (CC) ou Maîtrise du Changement.....	56
4.1.1	Définitions selon les textes réglementaires.....	56
4.2	Application de TRIZ au <i>Change Control</i>	57
4.2.1	Exemple de l'achat d'un équipement en production pharmaceutique.....	57
4.3	Méthodologie TRIZ en amont de la création du CC	58
4.3.1	Formulation du besoin.....	58
4.3.2	Définition de la problématique	60
4.3.3	Modélisation	61
4.3.4	Modélisation de problèmes.....	66
4.3.5	Transition vers le modèle de solution	67
4.3.6	Modélisation de solution	68
4.3.7	Interprétation des Modèles de solutions en solutions.....	74
4.3.8	Finalisation	78
4.4	Processus anomalie	79
4.4.1	Définition selon les textes réglementaires	79
4.5	Etat de l'art des outils principaux pour la recherche de la cause racine	80
4.5.1	Les 5 "pourquoi ?"	80
4.5.2	Diagramme cause Ishikawa ou méthode des 5M.....	80
4.6	Méthode RCA+ : <i>Root Conflict Analysis</i>	80
4.7	Proposition de la méthode RCA+s	81
4.7.1	Exemple d'application de la RCA+s	81
4.7.1.1	Description de l'anomalie observée.....	81
4.7.1.2	1 ^{ère} étape de résolution : Loi 1 (intégralité des parties).....	82
4.7.1.3	2 ^{ème} étape de résolution : l'AME	83
4.7.1.4	3 ^{ème} étape de résolution : construction du diagramme RCA+	85
5	Discussion	87
5.1	Innovation et industrie pharmaceutique.....	87
5.2	Apport de TRIZ à l'industrie pharmaceutique	87
6	Conclusion	96

Table des illustrations

Figure 1: Répartition par type d'innovation des entreprises de l'UE entre 2012 et 2014(>10 salariés) (Eurostat, 2017)	13
Figure 2: Répartition en diagramme radar du degré d'innovation selon le score RIS (TROCH, 2016b)	14
Figure 3: Score RIS moyen par catégorie d'innovateurs pour chaque critère d'évaluation de l'innovation (TROCH, 2016b)	14
Figure 4: Score RIS par région géographique.(TROCH, 2016b).....	15
Figure 5: Différentes approches de créativité (Cortes Robles 2006)	16
Figure 6 : Modèle topologique du cerveau créatif (Orloff, 2012).....	18
Figure 7 : Processus générale de TRIZ(Cavallucci, 1999)	20
Figure 8: Sources de la génération d'idées (Zouaoua, 2012)	21
Figure 9 : La solution de la poutre en "I"(Cavallucci, 1999).....	23
Figure 10: Les différents types de ressources de la TRIZ (Savransky, 1999)	26
Figure 11 : L'analyse des ressources fait le lien entre la contradiction et le RIF (Rantanen and Domb, 2008).....	26
Figure 12 : Boîte aux lettres "intelligente"	28
Figure 13: Inertie psychologique suit un processus aléatoire de résolution de problèmes. A l'opposé, l'approche guidée selon TRIZ (Cavallucci, 1999)	29
Figure 14: Mécanisme d'impression couleur par le rouleau en rotation.....	29
Figure 15: La solution par la courroie proposé à l'amélioration du système d'impression couleur (Cavallucci, 1999)	30
Figure 16: Les lois d'évolutions des systèmes techniques (Rantanen and Domb, 2008)	32
Figure 17: Les différents éléments de TRIZ (Cavallucci, 2012)	34
Figure 18 : Extrait de la matrice (39x39) paramètres de résolution des contradictions techniques (Cavallucci, 2012)	38
Figure 19 : Les 11 principes de séparation pour résoudre une contradiction physique (Zouaoua, 2012).....	39
Figure 20 : Représentation des vépoles (Cavallucci, 1999).....	41
Figure 21 : Principales règles de modélisation des vépoles (Cavallucci, 1999)	42
Figure 22 : Les différents types de vépoles (Cavallucci, 1999)	42
Figure 23 : Typologie d'un standard et modélisation vépole (Cavallucci, 2012)	44
Figure 24 : Les 5 classes et sous-classes de vépoles (Cavallucci, 2012).....	45
Figure 25 : Analyse Multi écrans pour analyser l'évolution d'un système	48
Figure 26 : L'ancêtre du parapluie à gauche (l'ombrelle), à droite le parapluie moderne	48
Figure 27 : Les éléments constitutifs d'un parapluie	49
Figure 28 : Systèmes, super-systèmes et sous-systèmes du parapluie de l'époque et d'aujourd'hui	49
Figure 29 : Algorithme ARIZ 85C comportant 40 étapes permettant de résoudre des problèmes complexes et non standards (Cavallucci, 2012)	54
Figure 30 : Représentation de la mise en œuvre de la TRIZ (Cavallucci, 2012).....	55
Figure 31 : Représentation du poste de répartition 2 ^{ème} génération	58

Figure 33 : Analyse Multi-écrans du poste de répartition de 2 ^{ème} génération	59
Figure 34 : Evolution souhaitée (en vert) du poste de répartition actuel (en noir)	61
Figure 35 : Reconception du poste de répartition fluïdique en flacons avec TRIZ	77
Figure 36 : Représentation de la cuve dans son environnement de production	82
Figure 37 : Représentation de l'entrée de gaz bas dans la cuve selon la loi d'intégralité de parties	83
Figure 38 : Daigramme RCA+ de la présence de liquide basique dans le boîtier	85
Figure 39 : Combinaison de TRIZ avec d'autres méthodes (Spreafico and Russo, 2016)	92
Figure 40 : les outils de résolution du problèmes placés selon 2 axes : Abstraction et niveau de maîtrise de l'outil (Samuel and Ohler, 2015)	93
Figure 41 : Classement des outils de la TRIZ selon l'étape du processus de résolution de problème et l'aspect cognitif (Samuel and Ohler, 2015).....	95

Table des tableaux

Tableau 1 : Analyse des ressources techniques systémiques de la boîte aux lettres "intelligente".....	27
Tableau 2 : Analyse des ressources techniques physiques de la boîte aux lettres "intelligente".....	28
Tableau 3: Les 5 niveaux d'inventivité, le nombre d'essais erreurs pour trouver les solutions, et le pourcentage de solutions dans les brevets (Cavallucci, 1999).....	31
Tableau 4 : Les 40 principes d'innovation et leur illustration par des exemples (Rantanen and Domb, 2008).....	35
Tableau 5 : Exemple de réponses aux questions pour des changements innovants du mât (sous-système) du parapluie. (Souchkov and Tuomo, 2014).....	50
Tableau 6 : Formulation des contradictions suite à l'identification des fonctionnalités pour l'exemple du mât (Souchkov and Tuomo, 2014).....	51
Tableau 7 : Les changements du futur super-système et leurs impacts sur le système parapluie (Souchkov and Tuomo, 2014).....	52
Tableau 8 : Analyse du poste de répartition selon les 9 lois d'évolution.....	60
Tableau 9 : Analyse de l'impact des changements innovants entre les 2 générations pour la règle et le plateau de mesure de la balance	62
Tableau 10 : Analyse des changements innovants pour l'afficheur de la balance au sol	63
Tableau 11 : Formulation des changements innovants en contradictions partie 1.....	64
Tableau 12 : Formulation des changements innovants du plateau de mesure en contradictions partie 2.....	65
Tableau 13 : Formulation des changements innovants en contradictions pour l'afficheur.....	66
Tableau 14 : Modélisation de Problèmes.....	67
Tableau 15 : Principes obtenus après application de la matrice des contradictions (Partie 1) .	68
Tableau 16 : Sous-principes retenus partie 1 (Modèle de Solution)	70
Tableau 17 : Sous-principes retenus partie 2 (Modèle de Solution)	71
Tableau 18 : Sous-principes retenus partie 3 (Modèle de Solution)	72
Tableau 19 : Sous-principes retenus partie 4 (Modèle de Solution)	73
Tableau 20 : AME en 11 écrans du système EGB pendant un NEP (en vert les phases activées et les vannes ouvertes).....	84
Tableau 21 : Exemples de champs d'application de TRIZ dans les domaines non-techniques (Zouaoua, 2012).....	88
Tableau 22 : Champs d'applications industrielles de TRIZ (Borgianni and Matt, 2016).....	89
Tableau 23 : Synthèse des logiciels les plus utilisés par les experts intégrant les outils de la TRIZ (Zouaoua, 2012).....	95

Abréviations

AFNOR : Association Française de Normalisation

AME : Analyse Multi Ecrans

AMM : Autorisation de Mise sur le Marché

BPF : Bonnes Pratiques de Fabrication

CC : Change Control

CFR : Code of Federal Regulations

CNUCED : Conférence des Nations Unies sur le Commerce Et le Développement

CPS : Résolution Créative des Problèmes

FDA : Food and Drug Administration

ICH : International Conference on Harmonization

INPI : Institut National de la Propriété Intellectuelle

NEP : Nettoyage En Place

OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economiques

PA : Paramètre d'action

PE : Paramètre d'évaluation

PG : Paramètre Générique

PME : Petite et Moyenne Entreprise

QFD : Quality Function Deployment

RIS : Regional Innovation Scoreboard

OEB : Office Européen des Brevets

UE : Union Européenne

ZAC : Zone à Atmosphère Contrôlée

Introduction générale

L'industrie du médicament est le secteur économique qui consacre, sur ses fonds propres, le budget le plus important à la recherche et au développement, devant l'industrie aéronautique, l'industrie spatiale ou l'industrie automobile. (« Développement, brevets et marques » s. d.) Cela fait-il d'elle, l'industrie la plus innovante et créative ?

Avec la concurrence qui s'intensifie, il est plus important aujourd'hui qu'hier d'innover. En regardant de plus près, les entreprises non pharmaceutiques semblent être très innovantes. C'est le cas notamment de l'usine TOYOTA qui a développé le *Lean Manufacturing* (*Système de production à flux tendus*) pour baisser les coûts de production et concurrencer l'industrie automobile américaine dans les années 1970-1980. Le *Lean Manufacturing* s'est ensuite beaucoup développé, dans d'autres domaines notamment l'industrie pharmaceutique.

Tout entreprise, doit créer de la valeur ajoutée c'est-à-dire ce pourquoi le client est prêt à payer. Cette création de valeur permet sa pérennisation et son développement. Cette création de valeur, plus connue sous le nom d'innovation, est précédée d'une activité de création. La créativité a longtemps été considérée comme étant désorganisée, non maîtrisable comme par exemple la découverte fortuite de la pénicilline (« La pénicilline et son inventeur Alexander Fleming - CareVox » 2011) ou de la quinine (« Histoire de Malaria » 2009)... Certaines entreprises non pharmaceutiques ont totalement changé d'avis à ce sujet et considèrent paradoxalement que la créativité est au contraire un processus, et à ce titre elle peut-être stimulée.

Qu'est ce que la créativité et l'innovation au sein d'une entreprise ? Peut-on considérer la créativité et l'innovation en tant que processus, et par conséquent les mesurer ? Pour qu'une entreprise perdure sur le marché et soit plus concurrente, il est nécessaire d'innover. L'innovation passe par la créativité. TRIZ est une théorie de résolution des problèmes inventifs. Elle est employée dans beaucoup d'entreprises non pharmaceutiques pour résoudre des problèmes techniques.

L'entrée de TRIZ dans ces entreprises est en train de bouleverser notre approche de la créativité et remplacer les méthodes de créativité actuelles. Qu'en est il de son application dans l'industrie pharmaceutique ? Comment utiliser TRIZ dans l'industrie pharmaceutique, à savoir aux anomalies en production, à la gestion des changements ou à la R&D ?

Quels sont les inconvénients et avantages à employer la théorie TRIZ ? Quels sont les bénéfices et intérêts qu'une entreprise peut gagner en l'utilisant ? Comme toutes méthodes, il y a des limites. Quelles sont-elles ? L'industrie pharmaceutique est considérée comme différente, plus innovante que n'importe quel autre domaine industriel. Du point de vue de l'inventeur de TRIZ ce n'est pas le cas, pourquoi ? Autrement dit est-il possible de comparer toutes ces entreprises alors que les produits mis sur le marché sont si différents ?

1 État de l'art sur la créativité et l'innovation

1.1 Qu'est-ce que l'innovation et la créativité ?

Le CNUCED (Conférence des Nations Unies sur le Commerce Et le Développement) définit la créativité comme étant : "un processus de génération d'idées nouvelles impliquant l'imagination, ou la curiosité scientifique qui une fois mise en valeur conduisent à l'innovation".

Dans cette définition, la créativité est perçue comme un processus qui génère des idées ou une combinaison d'idées existantes. La créativité précède l'activité d'innovation. (Létourneau and Pawlak, 2013)

L'innovation est un concept qui a beaucoup évolué par rapport à sa définition originelle :

- Au XVI^e siècle

Adam Smith et D. Ricardo expliquent que l'innovation est liée à la "croissance économique" et est synonyme de "progrès technique".

- Au XX^e siècle

J.A Schumpeter (Giget, 2007) explique que l'innovation revêt deux aspects, l'aspect quantitatif avec l'augmentation de la production, et l'aspect qualitatif. En effet, J.A. Schumpeter définit l'innovation comme un concept qui détruit pour créer au sein de l'entreprise : "*destruction créatrice qui révolutionne incessamment de l'intérieur la structure économique en détruisant continuellement ses éléments vieillis en créant des éléments neufs*". L'innovation permet d'obtenir un monopole temporaire, par lequel "l'entrepreneur innovant" pourra produire cette innovation et avoir un avantage sur le marché.

- A partir de 1960

L'innovation sort du cadre de la technologie, et impacte différentes dimensions de l'entreprise comme l'innovation en marketing, l'innovation organisationnelle...

- A partir des années 1980

L'innovation se distingue de l'invention. L'innovation et l'invention sont souvent confondues, alors qu'elles sont différentes. En effet, l'invention est une avancée en termes techniques et scientifiques aboutissant à un succès. L'innovation permet de répondre à un ou plusieurs besoins du marché. Pour réussir à mettre l'invention sur le marché, il est nécessaire de réussir

l'introduction de l'invention dans la pratique sociale. Pour ce faire, d'autres compétences sont nécessaires, à savoir économique, industrielle, sociale et culturelle.

Il s'agit donc d'un processus complexe, qui nécessite l'implication de plusieurs acteurs :

- La science pour la mise au point de l'invention
- Le marketing pour adapter le produit aux besoins du marché
- La maîtrise de la technique pour développer le produit
- L'ingénierie pour industrialiser le produit
- La commercialisation pour vendre le produit
- La logistique pour le distribuer

Ce processus comporte de nombreuses améliorations nécessaires pour réussir l'introduction sur le marché. De la R&D à la mise sur le marché, ce processus n'est pas linéaire. De nombreuses étapes se recouvrent et des retours en arrière existent. Pour qu'une invention soit mise sur le marché, il y a eu au préalable beaucoup d'autres inventions qui ne se sont pas concrétisées par une mise sur le marché. Par exemple, plus de 50 brevets ont été déposés sur le rasoir de base Gillette Mach 3[®], 151 sur la montre Swatch[®], 500 à 1000 brevets sur une nouvelle génération de téléphones portables.

L'invention peut encore être parfois le fruit d'un travail individuel. Ce qui n'est pas le cas pour l'innovation. Elle résulte généralement de la collaboration d'individus dont l'objectif est la mise sur le marché de l'invention : 800 personnes ont collaboré pour mettre sur le marché le rasoir mach 3 de Gillette. De nombreux inventeurs ont permis une avancée de la technique, sans pour autant réussir l'introduction sur le marché. C'est après plusieurs échecs que le succès survient. Généralement, ce sont les entreprises qui permettent, du point de vue économique et industriel, d'apporter des modifications sur le produit, grâce à d'autres compétences permettant la concrétisation sur le marché (Giget, 2007). De plus, une même invention, dans deux localisations différentes, peut dans un cas demeurer stérile, et dans l'autre se concrétiser par une innovation réussie. Le problème réside dans la capacité de l'entreprise à surmonter les étapes du processus pour aboutir à une réussite commerciale et industrielle. Par ailleurs, peu d'idées aboutiront à des inventions, et encore moins à des innovations. C'est le rôle de l'entreprise de transformer l'invention en innovation.

L'exemple du principe du laser découvert par Townes et Schawlow en 1958 illustre cette observation. Suite à la découverte de ce principe, de nombreuses entreprises optoélectronique reproduisent le phénomène découvert en laboratoire. Peu d'applications sont envisagées. Très rapidement, un désintéressement a lieu, faute d'applications. Le laser devient un "intéressant phénomène de laboratoire", ne servant à rien "Laser à quoi ? Laser à rien !". (Giget, 2007). Il faudra plusieurs années pour que cette technologie se développe et soit utilisée partout. A partir de 1990, ses applications se multiplient dans la découpe laser, l'usinage laser, l'impression de documents laser... Cette technologie s'est transformée, simplifiée et fiabilisée pour notamment être utilisée en chirurgie. Pour ce faire, il a fallu comprendre les besoins et les contraintes à résoudre pour aboutir à une technologie adaptée à la réalisation d'actes chirurgicaux. Peu d'entreprises spécialistes de l'instrumentation de laboratoire, expert du laser figurent parmi les leaders du marché du laser. Ce sont les entreprises non spécialistes du laser,

qui se sont appropriées la technologie et l'ont adaptée à leur domaine d'application car il est plus difficile à une entreprise spécialiste de la technologie du laser de connaître et maîtriser tous les domaines d'applications du laser.

Cette période entre l'invention et l'innovation, constatée pour le laser, peut-être plus ou moins longue. Elle ne peut être réduite en deçà d'un certain seuil. En effet, pour qu'une entreprise utilise une technologie nouvelle, une période est nécessaire pour améliorer et adapter cette technologie. Si une promotion trop intensive est réalisée, elle peut avoir l'effet inverse, c'est-à-dire le refus durable de la technologie par le marché. C'est le cas notamment de la technologie des voitures électriques proposées précocement aux français à partir de 1970, alors que les batteries de l'époque ne permettaient pas des performances satisfaisantes. C'est aussi le cas de la découverte par IBM dans les années 1980 de la technologie de supraconductivité haute température a connu un engouement puis un désintéressement, de même que les nanotechnologies. (Giget, 2007)

L'innovation est souvent réduite au domaine de la R&D. La R&D pour beaucoup d'entreprises est très importante pour introduire des nouvelles connaissances et mener à bien le projet d'innovation. Mais il existe des entreprises qui n'ont pas besoin de R&D pour faire de l'innovation. C'est le cas de Ryan Air par exemple, qui a innové dans son modèle économique et d'organisation permettant de proposer des vols à des prix très concurrentiels.

C'est dans le manuel d'OSLO de l'OCDE que la première définition officielle de l'innovation apparaît, en distinguant les types d'innovations. On distingue 4 types d'innovations :

- L'innovation de produit : elle se définit comme étant " l'introduction sur le marché d'un produit (bien ou service) nouveau ou nettement modifié au regard de ses caractéristiques fondamentales, ses spécificités techniques, des logiciels incorporés ou de tout autre composant matériel ou immatériel incorporé".
- L'innovation de procédé : elle concerne la mise en place dans une entreprise d'un nouveau procédé, ou de livraison de produits nouveaux, ou méthode de prestation de services permettant d'améliorer significativement la qualité des produits, le niveau de production ou les coûts de production.
- L'innovation organisationnelle : elle peut porter sur la structure de l'entreprise, l'organisation du travail, la gestion des connaissances, la relation avec les collaborateurs extérieurs...
- L'innovation de commercialisation : elle correspond à l'utilisation de nouvelles méthodes ou concepts pour améliorer la qualité d'appel des produits, ou améliorer les ventes afin d'acquérir de nouveaux marchés.

Le comité des normes AFNOR ainsi que le GIS innovation de l'AFNOR (2007) ont retenu comme définition officielle de l'innovation : « *L'innovation est un processus qui conduit à la*

mise en œuvre d'un ou plusieurs produits, procédés, ou services, nouveaux ou améliorés, susceptibles de répondre à des attentes implicites ou explicites et de générer une valeur économique, environnementale ou sociétale pour leur créateur (l'innovateur) leur maître d'œuvre (par exemple l'entreprise) ou leur utilisateur (par exemple le client)». Dans cette définition, l'innovation apparaît clairement comme un processus que l'entreprise doit maîtriser (Devalan, 2012). L'aspect processus n'apparaît pas dans le manuel d'OSLO.

Plus précisément, le processus de management de l'innovation comporte deux aspects :

- Stratégique : le management stratégique établit le portefeuille projets
- Opérationnel: le management opérationnel consiste à gérer un projet, de l'idée à la réalisation de l'objet constituant la création de valeur de l'entreprise (Devalan, 2012)

Autrement dit, le point de départ est une idée et l'objet créé doit répondre aux besoins du marché. Pour ce faire, l'entreprise doit transformer l'objet ou l'invention pour en faire un produit commercialisable répondant aux besoins du marché.

Il est à remarquer qu'une invention n'existe pas dans la nature. C'est un objet artificiel, créé à partir de modèles antérieurs. Par exemple, l'ancêtre de la bicyclette est le cheval de bois à deux roues. Ce modèle de base s'est amélioré avec la draisienne, puis la transmission de la force par les pédales permettant le mouvement... (Devalan, 2012)

Au cours des 150 dernières années, un régime juridique du droit de propriété intellectuelle s'est développé un peu partout dans le monde. L'inventeur peut protéger sa nouvelle connaissance ou expression créatrice en déposant un brevet. Ce qui permet d'exploiter la valeur commerciale de l'invention (Kalanje, 2005).

La création et l'innovation étant des concepts assez abstraits, l'histoire de l'innovation montre qu'il a fallu plusieurs siècles pour clarifier ces concepts, et mettre du sens. Aujourd'hui, il est possible de mesurer quantitativement l'innovation.

1.2 Mesure de l'innovation

1.2.1 Quels indicateurs pour mesurer l'innovation ?

De par sa composante multifactorielle, il n'est pas possible de mesurer le degré d'innovation simplement en mesurant le nombre de brevets. En effet, certaines avancées technologiques peuvent être des innovations pour l'entreprise, mais pas pour le marché. Il faut donc déterminer les critères pertinents reflétant l'innovation.

Les critères ont été déterminés par le Regional Innovation Scoreboard (RIS) de la Commission Européenne. La méthode de détermination des données et du choix des critères sont expliqués dans le rapport 2017 du RIS. Ci-dessous la liste de critères retenus par la commission européenne pour déterminer le degré d'innovation :

- Co-publications scientifiques internationales
- Publications scientifiques les plus citées
- Formation continue d'une population ayant terminé ses études supérieures
- Co-publications public-privé
- Applications de la marque
- PME avec des innovations de produit ou de procédé
- PME avec innovations marketing ou organisationnelles
- PME innovantes collaborant avec d'autres Petites et Moyennes Entreprises (PME) innovantes en interne
- Exportations de produits manufacturés à forte intensité de technologie
- Dépenses en R&D dans le secteur public
- Dépenses de R&D dans le secteur des entreprises
- Demandes de brevet auprès de l'agence OEB
- Employés des secteurs de la fabrication de moyenne à haute technologie et des services à forte intensité de connaissances
- Applications de conception
- Dépenses d'innovation non-R&D dans les PME
- Ventes d'innovations nouvelles ou novatrices sur le marché et dans les PME (TROCH, 2016a) (TROCH, 2016b)

1.2.2 Résultats statistiques pour les entreprises de l'UE

49,1% des entreprises de l'Union Européenne (UE) ont mené une activité d'innovation entre 2012 et 2014. Le pourcentage d'entreprises innovantes est stable depuis 2010. La Figure 1 montre la répartition de l'innovation à travers l'UE en fonction de la taille de l'entreprise :

- 27,3% des entreprises ont investi dans l'innovation organisationnelle
- 23,9% ont investi dans l'innovation de produit
- 22,8% dans l'innovation de commercialisation
- 21,6% dans l'innovation de procédé

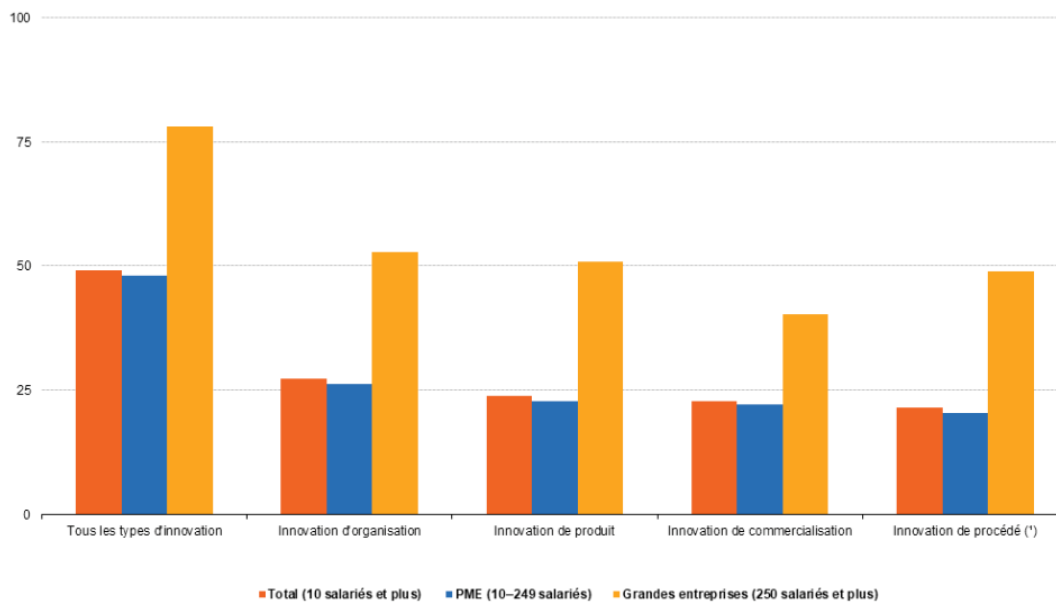


Figure 1: Répartition par type d'innovation des entreprises de l'UE entre 2012 et 2014(>10 salariés) (Eurostat, 2017)

La majorité des entreprises sont des PME et non de grandes entreprises. Parmi les grandes entreprises :

- 78,1% ont mené des activités d'innovations.
- 52,9% ont investi dans l'innovation d'organisation.
- 50,9 % ont investi dans l'innovation de produit.
- 48,2% ont investi dans l'innovation de commercialisation
- 40,2% ont investi dans l'innovation de procédé

Les grandes entreprises sont donc plus innovantes que les PME. (Eurostat, 2017)

Certaines entreprises peuvent investir dans différents types d'innovation. Les entreprises les plus innovantes sont en Allemagne (67,0 %), au Luxembourg (65,1%) et en Belgique (64,2%). L'Irlande et le Royaume Uni arrivent juste après. C'est en Europe de l'Est que l'on retrouve les entreprises les moins innovantes.

Le score RIS permet de prendre en considération plusieurs paramètres intervenant dans le processus d'innovation. Ce score rend compte du niveau nécessaire sur chaque paramètre pour être dans telle ou telle catégorie (Figure 2). Globalement, pour passer de la catégorie des innovateurs faibles à innovateurs forts, il ne suffit pas d'augmenter les dépenses en R&D, car l'innovation est un processus multidisciplinaire (Figure 3).

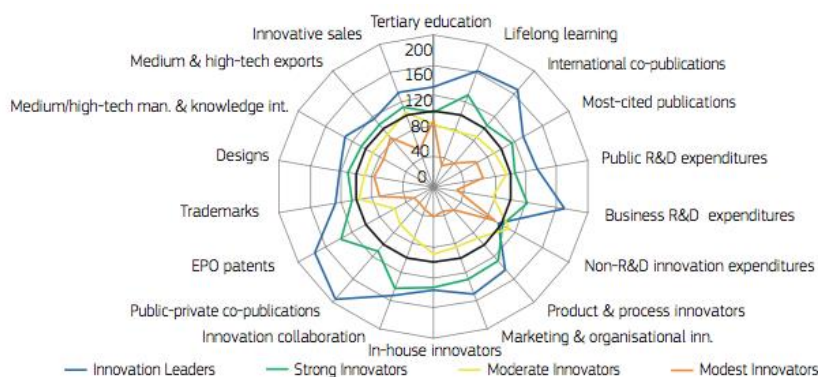


Figure 2: Répartition en diagramme radar du degré d'innovation selon le score RIS (TROCH, 2016b)

	Innovation Leaders	Strong Innovators	Moderate Innovators	Modest Innovators
Population having completed tertiary education	132	98	83	87
Lifelong learning	163	129	78	30
International scientific co-publications	167	106	86	41
Most-cited scientific publications	131	115	90	64
R&D expenditures in the public sector	135	105	96	64
R&D expenditures in the business sector	172	121	78	30
Non-R&D innovation expenditures	96	102	112	91
SMEs with product or process innovations	143	128	88	41
SMEs with marketing or organisational innovations	151	130	84	34
SMEs innovating in-house	138	133	89	40
Innovative SMEs collaborating with others	154	141	72	33
Public-private co-publications	194	111	67	28
EPO patent applications	166	131	64	39
Trademark applications	113	96	103	88
Design applications	114	105	87	94
Employment in medium-high/high tech manufacturing and knowledge-intensive services	131	106	90	73
Exports of medium-high/high technology-intensive manufacturing	118	106	92	85
Sales of new-to-market and new-to-firm innovations in SMEs	132	112	104	52

Average scores for each performance group relative to the EU average (=100). Scores calculated excluding countries for which regions do not exist and regional data are not available (Cyprus, Estonia, Latvia, Lithuania, Luxembourg, and Malta). Scores have been corrected as the average of the unweighted group averages is either above or below 100 for all indicators. The correction makes sure that this average is equal to the EU average of 100, full details are provided in the RIS 2017 Methodology Report.

Figure 3: Score RIS moyen par catégorie d'innovateurs pour chaque critère d'évaluation de l'innovation (TROCH, 2016b)

4 catégories se distinguent en fonction du score RIS :

- Les leaders d'innovation ou les *Innovation leaders* (en bleu sur la figure 4)
- Les innovateurs forts ou les *Strong innovators* (en vert sur la figure 4)
- Les innovateurs modérés ou les *Moderate innovators* (en jaune sur la figure 4)
- Les innovateurs faibles ou les *Modest Innovators* (en rouge sur la figure 4)

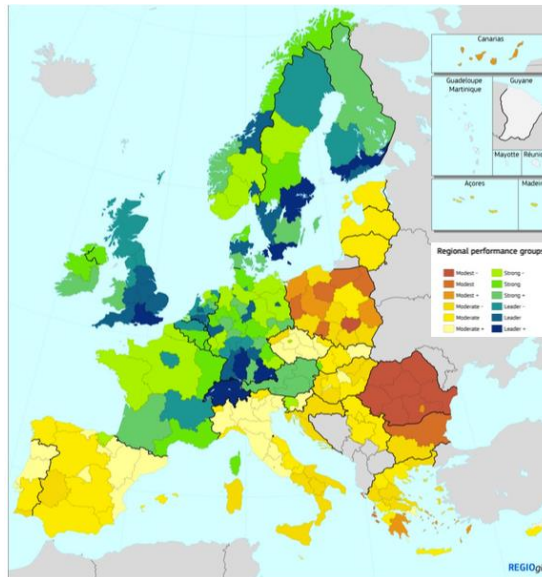


Figure 4: Score RIS par région géographique.(TROCH, 2016b)

Le degré d'innovation est corrélé à la localisation géographique. Deux gradient sont observés, à savoir un gradient nord-sud (innovateurs forts au nord, faibles au sud), et ouest-est (innovateurs forts à l'ouest, faibles à l'est).

40 % des entreprises françaises ont investi dans l'innovation de produit et de procédé. Toutes les entreprises innovantes ont en communs les points suivants :

- 50% des entreprises appartiennent à des groupes
- Elles investissent majoritairement dans l'innovation de produit et de procédé
- 10% du chiffre d'affaires (CA) est constitué de nouveaux produits pour les PME de l'industrie
- 5% du CA constitue l'innovation de procédé pour les PME de l'industrie
- Moins de 5% du personnel est impliqué dans l'activité de R&D
- 20% sous-traitent l'activité de R&D
- l'appartenance à un groupe stimule l'innovation (Eurostat, 2017)

1.3 Les méthodes de créativité les plus connues

Il existe plusieurs méthodes permettant la génération d'idées. Les plus importantes méthodes historiques sont représentées dans la figure 5 selon trois caractéristiques, à savoir : la créativité en tant que processus cognitif maîtrisable et systématique (TRIZ), la créativité en tant qu'art et la créativité en tant que succession d'étapes (Modèle Osborn, Rossman...).

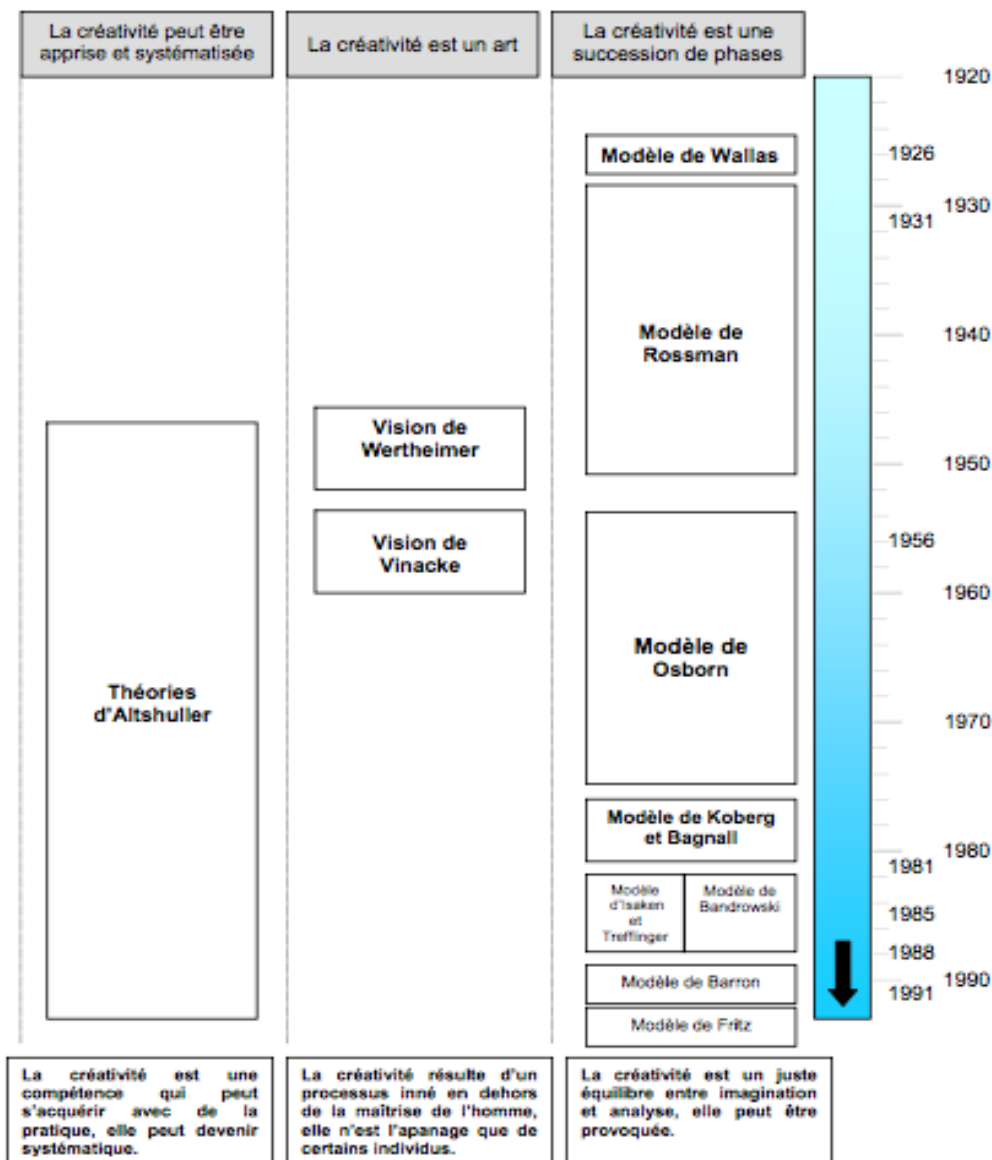


Figure 5: Différentes approches de créativité (Cortes Robles 2006)

1.3.1 Théories de créativité en tant que succession d'étapes : Le modèle Wallas

Chaque invention a pour origine un ensemble de nouvelles idées. Le premier modèle de créativité a été développé par Graham Wallas en 1926. Dans son modèle de création, 4 étapes sont distinguées :

- La préparation : C'est la phase de formulation du problème, de recherche des données et d'analyse approfondie du problème
- L'incubation : C'est la phase inconsciente du processus qui se déroule dans le sommeil, elle consiste à mettre de côté le problème pendant une période
- L'illumination : Dans cette phase, la solution apparaît de façon inattendue dans un contexte banal (en voiture, au cours d'une promenade...)
- La vérification : Cette dernière phase correspond à la réalisation de l'idée, à sa confrontation avec le réel (Cortes Robles 2006)

Dans cette approche, la créativité est subconsciente. Autrement dit, la créativité n'est pas maîtrisée par l'inventeur. Elle nécessite de la chance pour générer une idée. Le moteur est essentiellement psychologique.

1.3.2 Le modèle d'Osborn

Alex Osborn est le créateur du "Brainstorming", littéralement *remue méninge* en 1953. Cette approche de la créativité comporte 7 étapes distinctes :

- L'orientation : c'est la phase de définition du problème
- La préparation : c'est la phase de récupération des données pertinentes en lien avec le problème
- L'analyse : Les données récupérées dans l'étape précédente, sont analysées
- La conception : c'est la phase de génération de nouvelles idées alternatives permettant de résoudre le problème
- L'incubation : c'est la phase inconsciente du processus qui se déroule dans le sommeil.
- La synthèse : cette phase permet de rassembler tous les éléments pertinents pour décrire le problème et les solutions trouvées
- L'évaluation : c'est la phase de vérification de la ou les solutions trouvées sur le plan qualitatif

Dans cette approche, la recherche des solutions par le subconscient est moins présente que dans le modèle de Wallas. Il y a un équilibre entre l'analyse et l'imagination. (Cortes Robles 2006)

1.3.3 Le modèle Osborn – Parnes ou Résolution Créative des Problèmes (CPS)

Ce modèle a été proposé par J.Parnes. Il est le fruit de la synthèse des travaux de Parnes, Osborn, Isaksen et Trefflinger dans les années 1950. Ce modèle comporte 6 étapes distinctes :

- La définition de l'objectif
- Le rassemblement des données
- La formulation du problème
- L'exploration des idées
- La formulation des solutions
- L'implémentation de la solution trouvée (Cortes Robles 2006)

La méthode peut être découpée en 2 grandes phases :

- Divergente : relais des événements, des faits avec émission d'idées, recherche des données, clarification
- Convergente : sélection des idées pertinentes, recherche de solutions, implémentation de la solution la plus optimale

1.3.4 La créativité en tant qu'art : la vision de Wertheimer et Vinacke

Pour Wertheimer et Vinacke, la créativité ne peut pas être modélisée, ni segmentée en étapes. Il y a "des processus qui agissent simultanément durant la création." Wertheimer est un psychologue du courant "gestalt" (*shape* en anglais) c'est-à-dire de la perception organisée. La théorie "gestalt" est développée dans son livre *Productive Thinking*. Selon sa théorie, la créativité naît d'un système incomplet (situation S1) entraînant des tensions nécessitant une réorganisation du système (Situation S2) pour remplacer l'ancien système. Le passage de cette situation S1 en S2 est un processus artistique qui n'est pas modélisable. Il relève de compétences abstraites.

1.3.5 La créativité : un domaine maîtrisable

Dans cette approche, la créativité peut être apprise, maîtrisée et devient un processus contrôlable.

1.3.5.1 La pensée latérale

Ce principe est résumé dans la Figure 6. L'hémisphère gauche est responsable de la pensée analytique logique (convergent). L'hémisphère droit de la pensée créative (divergent). Cette asymétrie s'appelle l'asymétrie fonctionnelle cérébrale. Autrement dit, la fonction créative, ou la fonction logique, n'est pas présente à la fois dans le cerveau gauche et dans le cerveau droit.

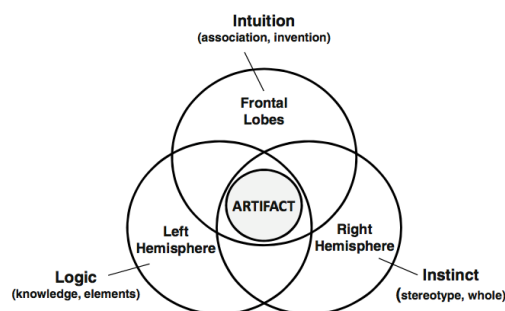


Figure 6 : Modèle topologique du cerveau créatif (Orloff, 2012)

Les deux processus lors de la résolution d'un problème se chevauchent. En effet, le processus divergent considère la globalité du problème et élargit le champ des solutions. A l'inverse, le processus convergent réduit le champ des solutions. Cette asymétrie fonctionnelle se voit dans la théorie de De Bono. En effet, il considère que le processus de créativité est le chevauchement de la pensée verticale (logique) et latérale (créatif).

De Bono ne suit pas le courant de pensée de Wertheimer et Vinacke. Il s'inscrit dans la lignée des scientifiques qui pensent que la créativité peut être apprise comme d'autres domaines. Il est possible de se faire former à la créativité, et faire bénéficier de l'apprentissage de la créativité à l'entreprise pour améliorer l'innovation de celle-ci. De Bono identifie deux types de pensées : d'une part la pensée verticale, c'est-à-dire la pensée rigide et logique, et d'autre part la pensée latérale. La pensée latérale représente ce qui peut bouleverser la pensée, le trait

de génie. Cette pensée latérale n'est pas le fruit du hasard, mais la résultante d'une démarche de *challenge*, d'*alternative*, de *provocation*, de *focalisation*... (Bono, 2013)

1.3.5.2 La systématisation de la créativité : l'approche de la théorie TRIZ

Genrich Saulovich Altshuller, scientifique russe, met au point dans les années 1940 la théorie TRIZ. Altshuller n'acceptait pas l'approche de la créativité telle qu'elle était expliquée, c'est-à-dire non maîtrisable, le fruit du hasard ou de l'illumination. La théorie TRIZ se base sur l'observation de la technologie contrairement à toutes les méthodes de créativité précédentes. Par l'observation, elle s'appuie sur plusieurs domaines différents pour établir des liens entre des idées, des concepts et des évolutions. Par exemple, par cette approche, un procédé trouvé dans l'agro-alimentaire peut servir à déterminer des solutions dans l'industrie du diamant (Cortes Robles 2006).

Altshuller décide d'observer les brevets d'inventions qui représentent l'expression de la créativité des inventeurs. Il découvre une tendance présente dans tous les brevets, un problème identique résolu dans un domaine spécifique a été résolu plusieurs fois par d'autres inventions. Autrement dit, le problème de base est présent dans plusieurs disciplines, et à différentes périodes de l'histoire de l'innovation. Par exemple, "*le processus qui consiste en une augmentation graduelle de la pression suivie d'une diminution très rapide ; est utilisé pour enlever les grains à l'intérieur des fruits et légumes, afin que ceux-ci puissent être mis en conserve. Ce processus a été présenté dans un brevet de 1968 et étrangement, le même processus mais appliqué pour enlever la coquille de certaines noix a été breveté 18 ans après*" (Cortes Robles 2006).

Des connaissances peuvent être extraites de ces brevets. Elles peuvent être classées et diffuser à des inventeurs de tout horizon. Ces connaissances sont stockées dans des bases de connaissances permettant de diriger le processus de créativité vers des solutions qui ont fait leurs preuves dans d'autres domaines (Figure 7). Ainsi TRIZ permet à l'inventeur d'être plus créatif en lui permettant de produire des idées à un niveau supérieur (Cavallucci, 1999). TRIZ sera approfondie dans la partie 2.

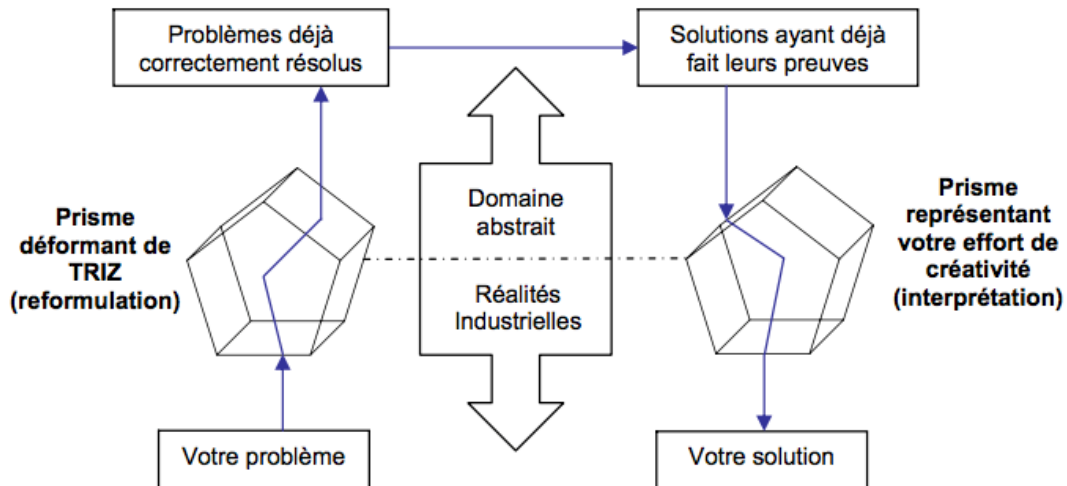


Figure 7 : Processus générale de TRIZ(Cavallucci, 1999)

1.3.5.3 Les techniques pour diriger la créativité

Plus de 200 techniques ont été développées pour stimuler la créativité. Zusman a fait une classification de ces méthodes selon 7 familles :

- Le conditionnement/ la motivation/ les techniques organisationnelles : intégration dans un environnement stimulant la créativité, comme par exemple lorsque l'on écoute de la musique instrumentale. En effet, celle-ci stimule la mémorisation (Gagnepain et al., 2017), la créativité et la concentration (Lesiuk, 2010).
- La randomisation : utiliser des méthodes pour chercher aléatoirement des solutions, comme l'utilisation du remue méninge, méthode essaie-erreur pour éviter l'inertie psychologique.
- Les techniques de focalisation : ces techniques permettent de diriger l'attention sur un un point, puis un autre... c'est le cas avec l'utilisation de la liste d'attributs.
- La systématique : sémantiquement, ce terme signifie appartenir à un système. Ce qui implique un processus qui est cadré et rigoureux comme le Quality Function Deployment (QFD)
- Les techniques ponctuelles : techniques dirigeant l'inventeur et comportant plusieurs étapes. Cette direction peut être basée sur la connaissance documentée, l'intuition ou l'expérience, c'est l'exemple d'ARIZ, abordé dans la partie 2.3.8.
- Les techniques dirigées par l'évolution : les directions varient en fonction du modèle c'est le cas notamment des lois d'évolution des systèmes techniques de TRIZ, abordées dans la partie 2.2.6.
- Techniques d'innovation selon le savoir : ces techniques utilisent la capitalisation des connaissances pratiques et structurées rencontrées au cours de l'histoire de l'innovation. C'est le cas notamment avec la matrice de résolution des contradictions techniques, les 40 principes inventifs. Ces outils sont décrits dans la partie 2.3 de la thèse

Les cinq premières familles ci-dessus ont été développées sous l'aspect psychologique.

Mis à part la théorie TRIZ, toutes les approches décrites dans cette partie sont des approches psychologiques de la créativité. La créativité n'est pas toujours considérée comme un processus que l'on peut maîtriser et contrôler. Il y a des points communs entre toutes ces méthodes : la phase d'analyse du problème, la recherche d'idées pour résoudre le problème, et la sélection de la solution à implémenter la plus appropriée. Les entreprises et les départements R&D utilisent encore beaucoup les méthodes créatives sous l'angle psychologique, même lorsque le problème est complexe, nécessitant alors une analyse plus poussée du problème. TRIZ permet de générer plus d'idées et de diminuer les périodes de conception. Plus globalement, on peut générer des idées à partir de 4 sources (Figure 8).

- Des clients
- Du produit
- Des salariés
- De la créativité

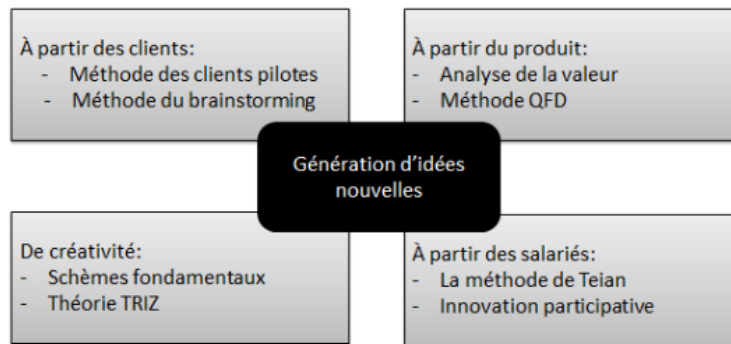


Figure 8: Sources de la génération d'idées (Zouaoua, 2012)

2 TRIZ : l'approche Altshulérienne de la créativité

2.1 Histoire et origine de TRIZ (G.Altshuller)

Genrich Altshuller est né en 1926 à Tachkent (Ouzbékistan). A 15 ans, il dépose son premier brevet pour l'évolution d'un sous-marin à partir du carbure. Il est alors recruté dans la marine soviétique en tant qu'expert en brevet d'invention. Altshuller est intéressé par les mécanismes ayant amené l'inventeur à créer un produit original et brevetable. En effet, Genrich Altshuller constate deux traits caractéristiques chez les inventeurs :

- Les inventeurs ont les mêmes réflexes méthodologiques et cognitifs lorsqu'ils résolvent des problèmes. Un chimiste, un mathématicien, des mécaniciens créatifs par exemple, partagent des traits communs et récurrents, même si leurs domaines n'ont en apparence pas de similitudes.
- La rupture technologique de l'invention est d'autant plus importante que la distance entre le domaine de compétences de l'inventeur et le domaine dans lequel il est venu puiser les ressources pour résoudre le problème initial est grande (Cavallucci, 2012).

Son objectif est de mettre en place une science permettant de systématiser le processus de création. C'est en 1946, que le nom TRIZ (Teorija Reshenija Izobretateliskih Zadatch) apparait. Cinq ans plus tard, il crée la première université TRIZ à Bacou, en Azerbaïdjan, avec l'aide de son équipe de chercheurs. Beaucoup d'autres universités se sont alors développées en URSS sur le modèle de l'Université de Bacou.

La diffusion de l'approche TRIZ est restée longtemps cloisonnée en URSS. Après la chute de l'URSS et du mur de Berlin, des dizaines d'élèves de ces universités ont émigré notamment aux Etats Unis, en Finlande, en Hollande et en Israël. Des sociétés ont informatisé TRIZ. C'est le cas de la société Invention Machine avec les logiciels TechOptimizer et Phenomenon.

Une étude du MIT (Massachusetts Institute of Technology) montre que les utilisateurs sont 70% plus créatifs qu'en l'absence de TRIZ. L'ASI (American Supplier Institute) perçoit TRIZ comme allant bouleverser l'industrie du XXI siècle. En termes de diffusion de TRIZ dans les entreprises actuelles, 500 d'entre elles utilisent cette approche aux Etats-Unis et en Europe, et 1500 à travers le monde. Cette approche de la créativité fait l'objet de recherches plus poussées à l'heure actuelle. (Cavallucci, 1999)

En France, deux personnes sont à l'origine de la diffusion de TRIZ. Dans un premier temps, Avraam Seredinski, d'origine russe, réalise la première publication sur TRIZ en 1993. Il est à l'origine, avec d'autres collaborateurs partageant cette théorie, de la création de l'Association Nationale TRIZ-France ((Zouaoua, 2012). Cette association regroupe des scientifiques, des écoles et des entreprises. Il est à l'origine de la traduction française des livres de Genrich Altshuller, à savoir "Et soudain apparut l'inventeur", et "40 principes d'innovations, TRIZ". Dans un second temps, Denis Cavallucci, diplômé de l'école de l'ENSAIS (Ecole Supérieur des Arts et Industrie de Strasbourg) en 1996, publie la première thèse sur TRIZ en 1999. Il est aujourd'hui à l'origine de plusieurs publications sur TRIZ (Zouaoua, 2012). Par la suite, le groupe AKWEL (anciennement MGI Coutier), l'équipementier automobile, implémente à l'échelle industrielle l'approche TRIZ. En 1998, ce dernier dépose le premier brevet suite à cette implémentation. De plus en plus d'entreprises utilisent cette approche, comme EDF, PSA peugeot, Renault de façon systématique.(Cavallucci, 2012)

La démarche TRIZ offre deux bénéfices :

- Elle ne tient pas compte du domaine d'origine du brevet. Par conséquent, le processus de créativité est transverse, et associé à une augmentation de la capacité à trouver des solutions.
- La disponibilité dans la littérature des principes simples, des effets géométriques, chimiques ou physiques. Par exemple, l'application de l'effet Seebeck et la réutilisation de la perte énergétique d'un fourneau domestique. (Cavallucci, 2012)

Genrich Altshuller a établi des connaissances et des règles à suivre afin d'éviter les pièges liés à des problèmes complexes, ou d'aller droit au but en éliminant les éléments freinant la détermination de vraies solutions, c'est-à-dire celles qui ne sont pas faites de compromis(Cavallucci, 1999). Ces connaissances sont des éléments directeurs de la réflexion.

Il est nécessaire de toujours avoir à l'esprit ces connaissances lors de la résolution du cas d'étude. Cela permet d'accélérer le processus de résolution, d'augmenter le niveau de créativité des solutions proposées et d'en extraire la plus efficace.

2.2 Les concepts fondamentaux de la TRIZ

2.2.1 Formulation du problème et RIF : Résultat Idéal Final

Généralement, les solutions proposées par les ingénieurs ne sont pas de vraies solutions mais des compromis, c'est-à-dire un équilibre entre deux paramètres évoluant en sens opposés. En effet, l'amélioration d'un paramètre dégrade l'autre paramètre du système. Dans ces conditions, il faut trouver le niveau optimal permettant d'atteindre l'objectif. Par exemple, considérons un objet posé sur deux appuis devant résister en flexion à un effort. Si l'objectif est d'augmenter la résistance à la flexion, la solution intuitive serait d'augmenter la section, et par conséquent, le poids. Ceci est un compromis entre le poids et la résistance à la flexion (Cavallucci, 1999). La solution la plus efficace serait de transformer la poutre en I (Figure 9). Pour Altshuller, le système idéal est un système qui n'a pas de poids, peu de volume et qui utilise les champs pour contrôler l'air, la lumière, les molécules.

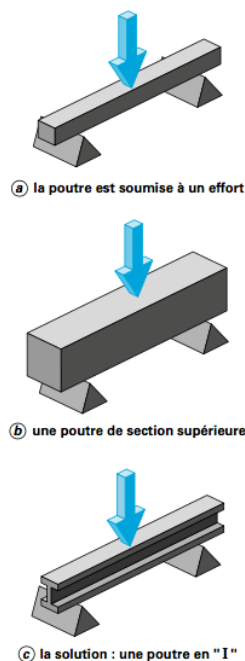


Figure 9 : La solution de la poutre en "I" (Cavallucci, 1999)

Les systèmes complexes évoluent vers le système idéal, c'est-à-dire lorsqu'une action est réalisée sans aucun système. La réflexion en direction du Résultat Idéal Final (RIF) est également un outil de déblocage psychologique qui permet d'éviter les compromis. Le RIF n'existe pas en tant que tel mais la fonction principale est réalisée sans aucun système. C'est un concept, qui permet à l'inventeur de penser l'invention sans limite technologiques et de

diriger l'innovation dans la bonne direction. Par exemple, pour un stylo, le RIF serait "la fonction écrire est réalisée sans objet, par le prolongement du mouvement de la main et de la pensée" (Cavallucci, 1999). La modélisation mathématique décrivant le RIF est la suivante :

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

Avec :

- D : niveau d'idéalité
- $\sum F_u$: la somme des fonctions utiles. Dans le cas du stylo, c'est la fonction écrire
- $\sum F_n$: la somme des fonctions néfastes
- $\sum F_c$: la somme des coûts

Le raisonnement par le RIF étudie l'objet d'intérêt selon trois aspects fondamentaux : les fonctions utiles, les fonctions néfastes et les coûts. Le but final étant de maximiser les fonctions utiles tout en minimisant les fonctions néfastes et les coûts, bien que leurs optimisations maximales soient impossibles (Cavallucci, 1999).

Les objectifs du RIF sont multiples :

- Améliorer la créativité en repoussant les barrières psychologiques et générer des idées plus innovantes qui "sortent du cadre".
- Diriger la génération d'idées et la canaliser vers l'idéal : l'inventeur sait vers quoi l'objet ou l'invention doit évoluer.
- fixer un cadre d'étude rapidement
- Utiliser les outils de la TRIZ, parce que ces derniers s'inscrivent dans la continuité de la pensée par le RIF (Cavallucci, 1999).
- Simplifier le système : retirer les éléments non nécessaires et donc économiser. Le client n'étant pas prêt à payer pour des éléments qui ne permettent pas la réalisation de la fonction principale utile.

2.2.2 Contradictions

Dans l'approche de TRIZ résoudre un problème signifie éliminer la contradiction. La contradiction est partout. De ce point de vue, TRIZ peut être comparé à un arbre, dont la graine est la contradiction. Une contradiction est un conflit entre deux composants, à savoir : l'outil et l'objet sur lequel l'outil agit (Rantanen and Domb, 2008).

Les problèmes d'innovation paraissent insurmontables. D'après Altshuller, tout système technique présente une contradiction. Cette dernière peut s'avérer cachée. Les contradictions se découpent en trois catégories :

- La contradiction opérationnelle : elle se rencontre avec la formulation initiale du problème. Elle nécessite une reformulation du problème.
- La contradiction technique : elle apparaît lorsqu'une amélioration d'un paramètre génère une détérioration d'un autre paramètre. Par exemple, l'amélioration de la portée d'une balance (>100kg) diminue la sensibilité de cette dernière.

- La contradiction physique : elle se présente dans le système. Il y a contradiction physique quand un paramètre doit avoir simultanément deux valeurs opposées. Par exemple dans le cas d'une balance, la contradiction physique pour une balance pourrait être : la balance industrielle doit être grande pour peser des charges volumineuses lourdes mais également compacte pour ne pas encombrer l'environnement (Cavallucci, 1999).

2.2.3 Les Ressources

2.2.3.1 Aspects théoriques

Les ressources sont des éléments disponibles dans l'environnement du système. Les ressources peuvent-être des énergies gratuites, des objets qui se trouvent dans l'environnement (=la zone opératoire) (Cavallucci, 1999). Ces objets peuvent être consommés à un moment donné (= temps opératoire) . Les différents types de ressources sont disponibles dans la **Error! Reference source not found..**

L'analyse des ressources aide à trouver des pistes de résolution de la contradiction. Les ressources sont des éléments de différentes natures. En effet, une ressource peut-être de l'information, de l'énergie, des propriétés des matériaux qui sont présents dans l'environnement du problème. Si les ressources sont utilisées directement, ou utilisées après modification, le problème sera résolu de lui-même. Les ressources peuvent être assimilées à des réserves. Elles sont invisibles de prime à bord, mais elles sont mobilisables. Elles forment un pont entre la contradiction et le RIF (Figure 11). Cet outil peut aussi être utilisé indépendamment d'un processus TRIZ, pour résoudre un problème. Les bénéfices d'une analyse des ressources sont :

- L'augmentation du nombre d'idées
- La résolution des contradictions
- La prévision de l'évolution des systèmes (Rantanen and Domb, 2008)

Substance Resources	Waste, additives, air Raw materials and products System elements, excluding elements Inexpensive substance Substance flow; model or copy substance properties and modifications
Energy Resources	Energy in the system or from the environment Earth gravitation or magnetic fields' energy Build upon possible energy platforms Systems waste becomes system energy
Space Resources	Empty space, Voids Another dimension, Nesting Vertical arrangement
Field Resources	Field transformation Field intensification Generating an informational field
Time Resources	Pre-work, Partial preliminary action Scheduling, Parallel operations Post-work
Informational Resources	Inherent properties Moving or Transient information Change of state information
Functional Resources	Resource space within primary function Using harmful effects Using secondary generated functions Ready-available resources Derivative resources

Figure 10: Les différents types de ressources de la TRIZ (Savransky, 1999)

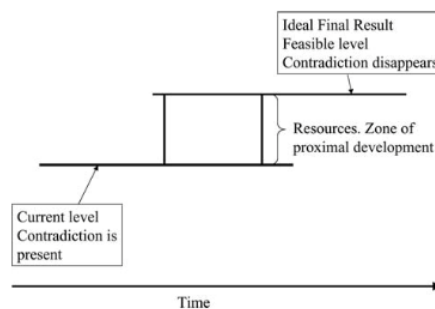


Figure 11 : L'analyse des ressources fait le lien entre la contradiction et le RIF (Rantanen and Domb, 2008)

Les ressources peuvent être des ressources techniques systémiques et techniques physiques. Les ressources techniques systémiques peuvent être d'origine :

- Systémique : relative aux propriétés du système, à savoir son efficacité, sa productivité, sa fiabilité, sa sécurité, sa durabilité.
- Informationnelle : relative à l'intégrité des données, précision, validité, protection contre les interférences, méthodes et efficacité de mesure, management, encodage...
- Fonctionnelle : relative à la fonction principale utile du système, ses fonctions auxiliaires, ses fonctions néfastes.

- Structurelle : relative à la composition du système, à savoir la liste des relations des composants du système et de ses inter-composants, le type de structure (linéaire, branchement parallèle, fermé, ouvert...)

Les ressources techniques physiques peuvent-être d'origine :

- Spatiale : relative aux propriétés géométriques, à savoir la forme, les dimensions de l'objet, longueur, largeur, hauteur, diamètre, présence de cavités, caractéristiques de formes, projections.
- Temporelle : relative à l'évaluation temporelle, c'est-à-dire la fréquence de l'événement, la durée des intervalles de temps, la durée des retards/décalages-le temps opératoire qui est l'intervalle de temps pendant lequel se déroule la situation problématique.
- Matériaux : relative aux propriétés de la matière à savoir, la composition chimique, les propriétés physiques, les propriétés d'ingénierie.
- Énergétique : relative aux propriétés de l'énergie et de ses manifestations, c'est-à-dire les types d'énergies appliqués et mesurés, incluant les forces mécaniques, gravitationnelles, thermiques, électromagnétiques et les autres forces. Est incluse dans cette catégorie les méthodes d'utilisation de l'énergie.

Les ressources ont différentes propriétés. Tout d'abord, elles ont une valeur. Elles peuvent-être gratuites comme elles peuvent-être chères voire très chères. Deuxièmement, elles peuvent-être utiles, inutiles (ou neutres) ou néfastes. Troisièmement, les ressources peuvent-être disponibles en quantité infinie, en quantité suffisante ou en quantité insuffisante. Enfin, les ressources peuvent-être immédiatement disponibles, nécessiter des modifications pour être disponibles, ou nécessiter d'être créées pour être disponibles. (Orloff, 2012)

2.2.3.2 Illustration via la boîte aux lettres intelligente

L'exemple de la boîte aux lettres intelligente illustre l'importance de l'analyse des ressources. Lorsqu'un facteur dépose du courrier dans la boîte aux lettres, aucun système ne permet de savoir que du courrier vient d'arriver. L'idée est de trouver un système permettant d'être au courant à réception d'un courrier. L'analyse est mise sous-forme de tableaux pour plus de clarté (Tableau 1 et 2).

Tableau 1 : Analyse des ressources techniques systémiques de la boîte aux lettres "intelligente"

Ressources techniques du système	Systémiques	Objectif du système : recevoir une notification à distance pour l'utilisateur dès réception de courriers
	Informationnelles	La boîte aux lettres a 2 états : "absence de courriers" et "présence de courriers". C'est dans l'état "présence de courriers" que l'utilisateur doit être mis au courant.
	Fonctionnelles	Transmission d'un signal à l'utilisateur. C'est la boîte aux lettres qui doit envoyer un signal à l'utilisateur quand elle est dans l'état "présence de courriers".
	Structurelles	Une communication doit être mise en place entre l'utilisateur (récepteur) et la boîte aux lettres (émetteur).

Tableau 2 : Analyse des ressources techniques physiques de la boîte aux lettres "intelligente"

Ressources physiques du système	Spatiales	1. La distance entre l'émetteur et le récepteur (utilisateur) est grande 2. Il est possible de modifier la forme et la position de la boîte aux lettres
	Temporelles	Temps opératoire : intervalle de temps entre l'insertion par le facteur du courrier dans la boîte aux lettres jusqu'à sa découverte par l'utilisateur.
	Matières/matériaux	La matière peut être changée.
	Energétiques	Pour produire le signal, une source d'énergie est nécessaire.

Trois ressources sont importantes ici :

- La ressource fonctionnelle : il est nécessaire de créer et de transmettre un signal.
- La ressource énergétique est nécessaire pour émettre un signal.
- La ressource spatiale permet de modifier la forme de la boîte aux lettres. Cette modification permet l'implémentation du signal.

La solution proposée, à partir des ressources, est un petit levier en bois de la forme d'un drapeau qui se lève quand il y a du courrier dans la boîte aux lettres. Le facteur insère le courrier dans la boîte aux lettres, et lève le drapeau. La source d'énergie est l'homme. L'utilisateur remarque que du courrier est présent, le retire de la boîte aux lettres et abaisse le drapeau.



Figure 12 : Boîte aux lettres "intelligente"

2.2.4 Inertie psychologique

2.2.4.1 Aspects théoriques

L'inertie psychologique a lieu lorsque l'on n'arrive pas à trouver de solutions au problème, et lorsqu'on pense que la solution se trouve dans notre propre domaine de compétences. Ceci est lié à l'assurance que procure son propre savoir d'expert dans son domaine. Les solutions, que ce type d'expert peut trouver, se basent sur sa propre expérience. Cette perception entraîne une rigidité dans la manière de penser. En effet, cette pensée ignore les solutions technologiques existantes dans d'autres domaines.

L'approche par la TRIZ est différente. Altshuller observe que la plupart des problèmes auxquels les industriels font face ont déjà été résolus ailleurs. TRIZ permet de sortir de son domaine d'expertise, et d'aller au-delà des frontières de son propre savoir grâce à une

approche systématique et guidée vers le RIF. Cependant, tout problème n'exige pas forcément TRIZ. Si le problème qui se pose à l'ingénieur est insoluble en utilisant les compétences et savoirs acquis, alors il est nécessaire de changer d'approche et d'aller consulter d'autres domaines, la chimie, l'électronique par exemple. C'est ce qu'on appelle un problème d'innovation. (Cavallucci, 1999)

C'est l'inertie psychologique qui ralentit le plus les chercheurs, inventeurs et ingénieurs. Les éléments entraînant l'inertie psychologique sont liés au langage technique de l'expert, aux habitudes, et aux compétences hyper spécifiques. L'inertie psychologique est semblable à un processus aléatoire permettant de résoudre le problème, tel que montré dans la Figure 13.

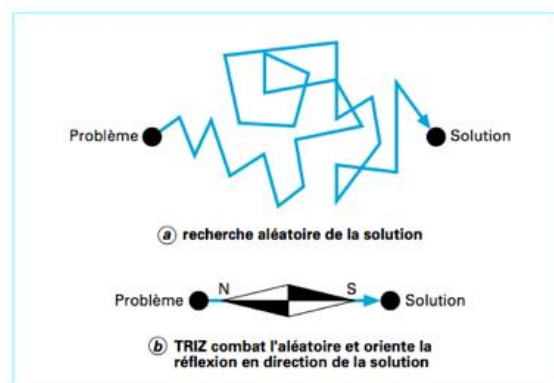


Figure 13: Inertie psychologique suit un processus aléatoire de résolution de problèmes. A l'opposé, l'approche guidée selon TRIZ (Cavallucci, 1999)

2.2.4.2 Illustration de l'impression couleur par le rouleau en rotation

Pour illustrer le concept d'inertie psychologique, un mécanisme d'impression couleur, donné par Denis Cavallucci, est considéré : "Un rouleau a pour fonction, lors de sa mise en rotation en opposition au défilement du film photoélectrique, d'expulser par répulsion les surplus de liquides chargés eux aussi positivement." (Figure 14)

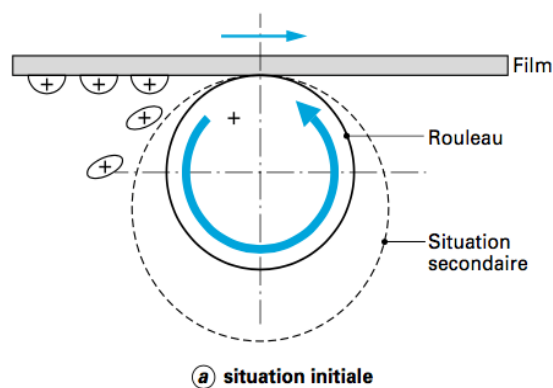


Figure 14: Mécanisme d'impression couleur par le rouleau en rotation (Cavallucci, 1999)

Les quelques règles données par Altshuller pour éviter l'inertie psychologique sont les suivantes :

1. Ne pas s'isoler dans son domaine de compétences. Dans un problème d'innovation, la solution peut se trouver en-dehors de son domaine de compétences.
2. Constituer une équipe aux compétences multiples.
3. Universaliser les termes du problème posé. Les termes d'un problème tel que posé sont vecteurs de l'inertie psychologique. Il est nécessaire de remplacer les termes spécifiques des spécialistes par des termes non spécifiques.
4. Ne pas porter de jugements sur les idées, même celles qui semblent extravagantes.

L'objectif de l'exemple, en Figure 14, est d'améliorer l'efficacité du système (=le rouleau). L'étude démontre que l'augmentation du diamètre du rouleau augmente l'expulsion d'encre. Les ingénieurs décident alors d'augmenter le diamètre au maximum sans nuire à l'encombrement. (*On retrouve la notion de compromis ici*). En suivant la règle n°3 ci-dessus, c'est-à-dire identifier les termes vecteurs d'inertie psychologique, plusieurs vecteurs sont déterminés, à savoir, le "rouleau". Ce dernier comporte déjà une solution en soi, une forme cylindrique. Ce terme est à remplacer par *objet*. La formulation du RIF de l'objet donne le plan. L'objet recherché est à la fois plan et en rotation. C'est donc une courroie (Figure 15).

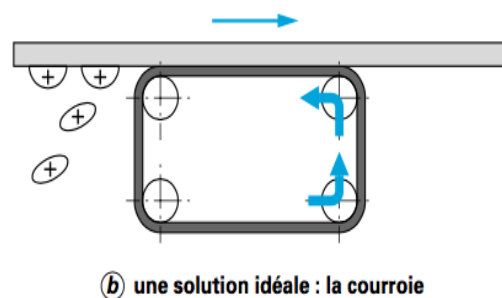


Figure 15: La solution par la courroie proposé à l'amélioration du système d'impression couleur (Cavallucci, 1999)

2.2.5 5 niveaux d'inventivité

TRIZ se base sur l'analyse de milliers de brevets. Altshuller remarque que la plupart des brevets ne sont pas des découvertes mais simplement de petites améliorations de technologies existantes. Par conséquent, il est simple d'en trouver les solutions. La recherche de solutions est classiquement la méthode des essais erreurs. Certains problèmes nécessitent 10, 100 essais, et certains nécessitent plus de 1000 essais. Altshuller et son équipe de chercheurs ont analysés plusieurs milliers de brevets, et ont déterminé 5 niveaux d'inventivité :

- Niveau 1 : le problème et les moyens de le résoudre se trouvent dans le domaine de compétences du professionnel (un domaine spécifique).
- Niveau 2 : le problème et les moyens de le résoudre ne se trouvent pas dans le domaine spécifique du professionnel, mais dans l'industrie dans laquelle il travaille, dans d'autres départements.

- Niveau 3 : Le problème et les moyens de le résoudre se trouvent dans le même domaine scientifique dans lequel le problème est décrit. Par exemple, un problème mécanique sera résolu par des moyens mécaniques.
- Niveau 4 : Le problème et les solutions existent en-dehors du domaine scientifique dans lequel se pose le problème. Par exemple, un problème mécanique résolu par la chimie.
- Niveau 5 : Le problème et les solutions n'existent pas dans la science actuelle. Il est alors nécessaire de faire une découverte (Altshuller, 1973).

Pour Altshuller, il est inconcevable d'utiliser une méthode heuristique traditionnelle pour résoudre des problèmes de niveau 5 (Altshuller, 1973). Plus le problème est complexe, plus il est nécessaire d'explorer des pistes de solutions. Ceci est illustré dans le Tableau 3. Ce tableau montre que l'innovation réelle ne concerne que 23% des solutions de tous les brevets déposés. Pour simplifier la recherche de solutions, il est important de rétrograder le problème vers des niveaux faibles en degré d'inventivité, c'est-à-dire vers le niveau 1.

Tableau 3: Les 5 niveaux d'inventivité, le nombre d'essais erreurs pour trouver les solutions, et le pourcentage de solutions dans les brevets (Cavallucci, 1999)

Niveau	Degré d'inventivité	Pourcentage de solutions	Origine des connaissances	Nombre d'essais	Exemple
1	Solution apparente	32 %	Connaissance d'un individu	10	Isolation thermique d'un tuyau pour éviter les pertes par évacuation (brevet n° 317 707)
2	Amélioration mineure	45 %	Connaissance de l'entreprise	100	Conception d'un capot de protection pour la soudure à l'arc (brevet n° 252 549)
3	Amélioration majeure	18 %	Connaissance de l'industrie	1 000	Système vis-écrou avec un jeu relatif et guidé en liaison pivot hélicoïdale par un champ magnétique (brevet n° 154 459)
4	Nouveau concept	4 %	Connaissances toutes industries confondues	100 000	Méthode d'inspection de l'usure des moteurs par l'introduction d'une substance luminescente dans l'huile et en analysant la quantité de lumière produite en sortie (brevet n° 260 249)
5	Découverte	< 1 %	Ensemble des savoirs	1 000 000	Toutes les applications résultant de la découverte des monocristaux d'alliage cuivre-aluminium-nickel et de leurs propriétés de corps solides transformant de la chaleur en énergie mécanique par la modification de leur résilience

2.2.6 Lois d'évolutions des systèmes techniques

Les travaux reposent sur l'analyse de 2 500 000 brevets innovants (Cavallucci, 1999). Les lois d'évolution se sont formées suite à l'extraction des informations de ces brevets. Ces lois d'évolution décrivent des tendances générales d'évolution de tout système technique. Dans la démarche TRIZ, ces lois d'évolution sont primordiales car elles permettent de guider le professionnel dans sa démarche de résolution de problèmes. Il y a trois grands types d'évolutions des systèmes techniques : les lois statiques, les lois dynamiques et les lois cinématiques.

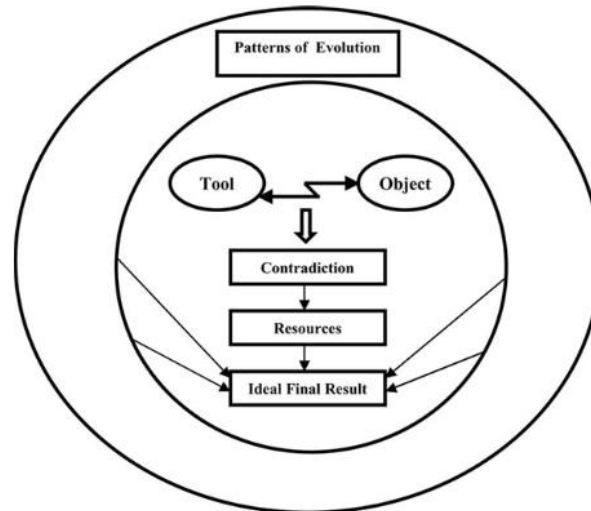


Figure 16: Les lois d'évolutions des systèmes techniques (Rantanen and Domb, 2008)

2.2.6.1 Les lois statiques

Pour qu'un système technique forme un tout opérationnel, il est nécessaire qu'il remplisse les conditions suivantes :

- Loi 1 : Loi d'intégralité des parties d'un système technique

Tout système technique opérationnel comporte 4 parties : un bloc moteur, un bloc transmission, un bloc travail et un bloc contrôle.

Pour qu'une voiture se déplace, il est nécessaire que le véhicule comporte un moteur, une transmission de l'énergie, des roues (organe de travail), un chauffeur (bloc contrôle). Dans les voitures qui sont de plus en plus autonomes, le chauffeur tend à être remplacé par des systèmes intelligents. Chaque partie doit avoir une fonction minimale, sinon si une partie est considérée comme insuffisante par rapport aux parties performantes, alors le système technique ne sera pas opérationnel. Il est important de remarquer que pour qu'un système soit contrôlable, il est nécessaire qu'au moins une partie soit contrôlable.

- Loi 2 : Conductibilité de l'énergie dans le système

Pour qu'un système technique soit opérationnel, il faut que l'énergie puisse se déplacer dans toutes les parties du système. Cette transmission d'énergie peut être mécanique (transmission d'énergie par un levier), magnétique etc. (Cavallucci, 1999)

Dans l'exemple de la voiture, l'énergie produite à partir de l'essence est transmise depuis le moteur jusqu'aux organes de travail (les roues). Un autre exemple est celui d'une centrifugeuse. L'énergie électrique qui provient du secteur se transmet à l'organe de contrôle et au moteur qui la transforme en une énergie mécanique par la rotation du rotor. Cette énergie se transmet jusqu' à l'échantillon à centrifuger.

- Loi 3 : loi de coordination des rythmes des parties

Toutes les parties d'un système technique doivent être coordonnées en termes de fréquence, de vibrations, et de périodicité (Cavallucci, 1999).

Par exemple, un orchestre de musique instrumentale nécessite une coordination de tous les instruments, une coordination des rythmes réalisée par le chef d'orchestre (l'organe de contrôle principal). De ce point de vue-là, un orchestre est un système technique. En cas d'absence de coordination des rythmes et des instruments, l'harmonie musicale s'en trouve détériorée.

2.2.6.2 Les lois cinématiques

Ces lois décrivent le développement du système technique indépendamment des considérations physiques et/ou techniques.

- Loi 4 : Augmentation du niveau d'idéalité

Le développement d'un système technique permet son amélioration au fur et à mesure des générations pour tendre vers le système idéal, comme vu précédemment (c'est-à-dire qui n'existe pas).

- Loi 5 : loi du développement inégal des parties d'un ST.

Le développement inégal des sous-systèmes du système technique conduit à l'apparition de contradictions physiques et techniques.

Par exemple, les chaussures de randonnées ont des semelles renforcées pour que la durée de vie totale de la chaussure augmente. Ici c'est la semelle qui s'est le plus développée. La performance de toutes les sous-parties du système technique doit être assurée à *minima*, sinon le produit ne pourrait être viable. Par exemple, concevoir une voiture avec le plus beau design, confortable, technologiquement en avance mais qui roulerait au maximum à 20 km/h comme à l'origine de sa création, n'est pas viable.

Loi 6 : Transition vers le super-système.

Quand tous les éléments d'un système ont été développés au maximum, alors le système technique devient un sous-système du super-système. Le développement aura lieu sur le super-système. C'est le cycle de vie d'un produit. Par exemple, le chauffage est intégré dans le sol.

2.2.6.3 Les lois dynamiques

Ces lois sont liées aux facteurs techniques et physiques. Alors que les lois statiques et cinématiques sont des lois vraies pour tout système (biologique, mécanique...) et indépendant du temps.

- Loi 7 : Transition d'un macro-niveau vers un micro- niveau.

Le développement des systèmes techniques commence du macro-niveau pour évoluer vers le micro-niveau. Quand le système s'est développé au maximum sur l'aspect macro, les évolutions vont alors être réalisées au niveau des molécules, des atomes etc... Les structures monoblocs se segmentent en éléments plus dynamiques. Les substances évoluent vers plus de fluidité (Rantanen and Domb, 2008). C'est le cas de certaines poêles qui ont en leur centre un capteur thermique permettant de contrôler la montée en température.

- Loi 8 : Augmentation de la dynamisation et du niveau de contrôlabilité.

Les systèmes techniques évoluent avec toujours plus de système de contrôle pour tendre vers l'autocontrôle. C'est le cas notamment des réveils intelligents qui adaptent l'heure du réveil en fonction des cycles de sommeil de la personne. C'est aussi le cas par exemple, des voitures de plus en plus autonomes.

2.3 Les outils :

Ces outils ont été développés par l'analyse des brevets et représentent l'aspect concret de l'approche par la TRIZ (Figure 17).

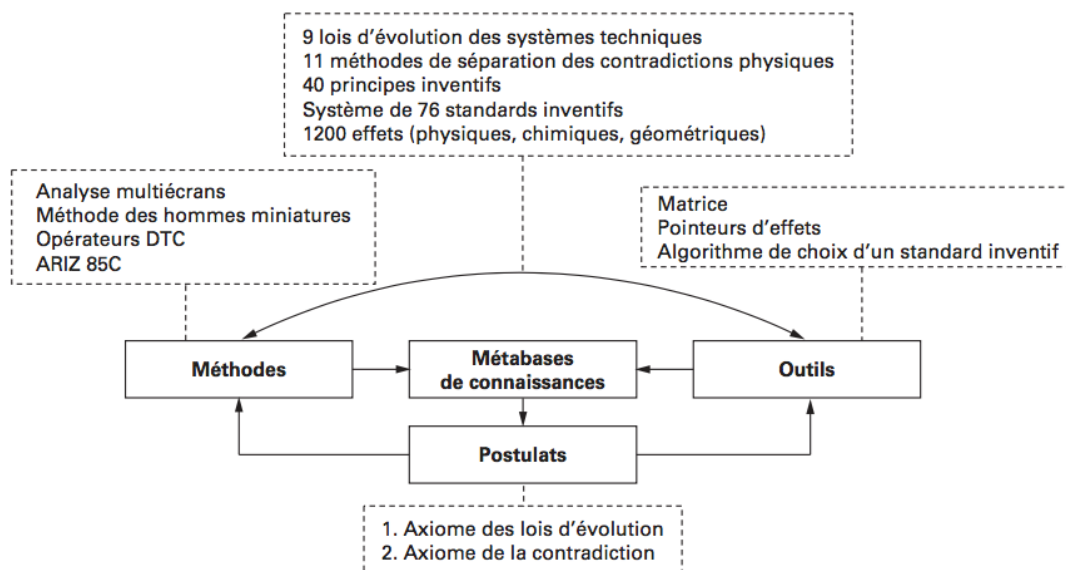


Figure 17: Les différents éléments de TRIZ (Cavallucci, 2012)

2.3.1 Matrice de résolution des contradictions technologiques

2.3.1.1 Les 40 principes d'innovation

TRIZ propose 40 principes d'innovation permettant la résolution des problèmes. La matrice des contradictions techniques définit le ou les principes d'innovation à appliquer. Les principes et exemples sont regroupés dans le Tableau 4 (Rantanen and Domb, 2008)

Tableau 4 : Les 40 principes d'innovation et leur illustration par des exemples (Rantanen and Domb, 2008)

Nu mé ro	Nom du principe	Exemples de solutions
1	Segmentation	Rendre un meuble démontable. Remplacer un gros ordinateur par plusieurs petits ordinateurs Diviser un projet en sous-projets
2	Extraction	Extraction de principe actif de plantes: digitaline de la <i>Digitalis purpurea</i> (Universalis, n.d.) Placer un compresseur bruyant à l'extérieur
3	Qualité locale	Plateau repas avec compartiments Un stylo 4 couleurs
4	Asymétrie	Bols mixers comportant des lames asymétriques favorisant le brassage
5	Combinaison/ consolidation/ groupement	PCs en réseau Cuves industrielles permettant le mélange de produits, et son nettoyage en place.
6	Universalité	Couteau suisse
7	Poupées russes ou placement interne	Volets d'une fenêtre Longue vue
8	Contrepoids	Ballon d'hélium pour supporter un panneau publicitaire
9	Anti-action préliminaire	Barres pré-contraintes pour le béton armé
10	Action préliminaire	Timbres pré-collés Enveloppes pré-timbrées
11	Compensation/ Protection préalable	Port des éléments de protection individuelle pour les opérations à risques Parachute de secours
12	Équi- potentialité	Ecluse
13	Inversion	Appareils de gym dans les salles de sport Télétravail

14	Sphéricité	Stylo à billes Le curseur d'une souris d'un ordinateur utilise la rotation de la boule
15	Degré de dynamisme/La mobilité	Volant fixe rendu mobile et réglable Camion et remorque
16	Actions partielles ou excessives	Utilisation d'un pochoir. Peindre largement, puis retirer les excès par le pochoir.
17	Changement de dimension	Films en IMAX Comprimés bi couches, tri couches...
18	Vibration mécanique	Bain ultrasons pour nettoyer verrerie de laboratoire Vibration mécanique pour tamiser une poudre en galénique ("Tamisage Classification Poudre," n.d.)
19	Action périodique	Prise répétée d'un médicament (Posologie) Utiliser une lumière qui clignote comme alarme plutôt qu'une lumière continue
20	Continuité de l'action utile	Technologie PAT (Process Analytical Technology) permet la production et le contrôle en continu (Kirshner and Cooley, 2010)
21	Changement de vitesse	La pasteurisation du lait se fait traditionnellement à 72°C pendant 15 secondes. Elle peut se faire à 138° pendant 2 secondes permettant de plus longues durées de stockage.
22	Transformation d'un moins en plus	L'extraction de la caféine, génère des grains décaféinés (déchets). La caféine est vendue en tant que matière première à l'industrie pharmaceutique, cosmétique. etc. Les grains décaféinés servent à produire le café décaféiné. (Carvalho, 2010)
23	Rétroaction	Une baisse du pH au cours d'un lot de production, est automatiquement compensée par l'introduction d'un volume de soude.
24	Intermédiaire	Utilisation d'une manique pour sortir un plat chaud du four
25	Self-service	Utilisation de dispositif électronique de mesure de glycémie capillaire par le patient
26	Copie	Utilisation de prototype moins coûteux, bon marché pour identifier les dysfonctionnements
27	Éphémère économique	Utilisation du "jetable" : isolateurs jetables, blouses jetables, gants jetables. etc.
28	Reconception/remplacement du système mécanique	Utilisation de substances odorantes dans les gaz pour alerter d'une fuite plutôt qu'un dispositif d'alerte. Le train japonais à sustentation magnétique JR-Maglev atteignant 603 km/h en avril 2015.
29	Système hydraulique et pneumatique	Chaussures confortables contenant du gel au niveau du talon.

30	Membrane flexible et les films minces	Utilisation de matelas gonflables.
31	Matériau poreux	Technologie microfibre permettant de retenir l'eau, poussière, microorganismes et facilite l'évaporation de l'eau.
32	Changement de couleur	Utiliser des effets de lumières pour changer l'ambiance d'une pièce
33	Homogénéité	Vis et écrous dans le même matériau qu'une cuve de mélange pour éviter les interactions chimiques.
34	Rejet et la régénération	Capsule de médicament qui se dissout. Régénération d'une colonne de chromatographie après utilisation.
35	Modification des paramètres	Utiliser un savon liquide plutôt que solide, permettant un meilleur dosage.
36	Utilisation des changements de phase	Utilisation du CO ₂ en phase supercritique pour diminuer sa polarité et augmenter l'extraction de principes actifs apolaires. (Carvalho, 2010)
37	Expansion thermique	Purgeur vapeur (Maes, 2015)
38	Oxydation	Remplacer l'air par de l'ozone pour stériliser l'eau (Moles, 2007)
39	Environnement inerte	Ajout de diluant dans un comprimé pour augmenter le volume de celui-ci facilitant son dosage. Gaz inerte dans les ampoules à filaments tungstène
40	Matériaux composites	Béton armé Fibre de carbone tissée

2.3.1.2 Matrice 39 paramètres de conceptions pour éliminer la contradiction technique

L'outil le plus connu de TRIZ est la matrice (39x39) paramètres permettant de résoudre les contradictions techniques. Elle est le résultat de la synthèse statistique des brevets. Deux aspects sont considérés dans l'établissement de cette matrice :

- L'opposition de paramètres techniques dans le problème posé du brevet. C'est cette opposition de paramètres présents dans les brevets qui donne la matrice 39 paramètres
- Les méthodes et solutions brevetées qui génèrent les 40 principes inventifs divisés en 120 sous-principes plus précis, ainsi que leurs récurrences

Cette matrice permet au professionnel, de chercher des solutions dans un éventail limité de principes les plus utilisés suite à la détermination des paramètres en contradiction dans le problème posé Figure 18.

		Paramètres génériques de 1 à 39					
		PG1	PG2	PG3	PG4	...	PG39
Paramètre à améliorer	Paramètre à ne pas dégrader	Masse d'un objet mobile	Masse d'un objet immobile	Longueur d'un objet mobile	Longueur d'un objet immobile	...	Productivité
	PG1	Masse d'un objet mobile		-	15, 8, 29, 34	-	...
PG2	Masse d'un objet immobile	-		-	10, 1, 29, 35	...	1, 28, 15, 35
PG3	Longueur d'un objet mobile	8, 15, 29, 34	-		-	...	14, 4, 28, 29
PG4	Longueur d'un objet immobile		35, 28, 40, 29	-		...	30, 14, 7, 26
...
PG39	Productivité	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	18, 4, 28, 38	30, 7, 14, 26	...	

Principes inventifs les plus fréquemment utilisés (de 1 à 40 dans le cadre de la contradiction PG1/PG39).

Figure 18 : Extrait de la matrice (39x39) paramètres de résolution des contradictions techniques (Cavallucci, 2012)

La matrice comporte 39 lignes représentant les paramètres génériques (PG) à conserver, et 39 colonnes représentant les paramètres génériques à améliorer. Une liste de numéros se trouve à l'intersection des lignes et des colonnes. Ces numéros correspondent aux numéros des 40 principes inventifs. Ces numéros sont classés dans les cases selon leur fréquence d'utilisation. En effet, les numéros en haut et à gauche de la case ont été plus fréquemment utilisés par les inventeurs que les numéros en bas à droite. Par exemple, dans un problème où le paramètre à conserver est la longueur d'un objet mobile (PG3), et le paramètre à améliorer la masse d'un objet mobile (PG1), alors la matrice suggère d'utiliser dans l'ordre suivant les principes n° 15, 8, 29 et le 34. Le principe n°15 étant le principe le plus utilisé par les inventeurs lorsqu'ils font face à ce type de contradictions.

Deux bénéfices découlent de l'utilisation de la matrice (39x39) paramètres :

- Utilisation de principes de solutions résultants des expériences de plusieurs milliers d'inventeurs face à des problèmes similaires.
- Trouver des solutions qui ne sont pas des compromis entre des paramètres.

Au départ, il y a la formulation de la contradiction. Cette contradiction est composée d'un paramètre d'action, ce sur quoi l'inventeur agit et deux paramètres d'évaluation. Les paramètres d'action peuvent évoluer dans deux sens opposés. Les deux sens sont souhaitables. Un paramètre d'évaluation peut aussi évoluer dans deux sens opposés, mais un seul sens est souhaitable (Cavallucci, 2012).

Après avoir déterminé les paramètres techniques du problème, il est nécessaire de chercher l'équivalence avec les paramètres génériques de la matrice. Trois possibilités peuvent avoir lieu :

- Les paramètres d'évaluation correspondent aux paramètres génériques de la matrice. C'est la situation idéale

- Les paramètres d'évaluation sont des synonymes des paramètres génériques. Ils sont donc équivalents
- Les paramètres d'évaluation n'ont pas d'équivalents. Il faut alors en déterminer le paramètre physique de ce paramètre d'évaluation (Cavallucci, 2012).

2.3.2 11 principes de séparation

2.3.2.1 Aspects théoriques

Pour éliminer les contradictions physiques, onze principes ont été déterminés par l'équipe d'Altshuller. Ces onze principes de séparation sont disponibles sur la Figure 19. Ils peuvent être déclinés en quatre grandes familles :

- Séparation spatiale et temporelle. La séparation dans l'espace pour un objet signifie qu'il aura la propriété A à un endroit de l'espace et la propriété non-A à un autre endroit. La séparation dans le temps signifie qu'à un instant donné, l'objet aura la propriété A et à un autre instant la propriété non-A.
- Séparation systémique : séparation en poly-systèmes, antisystèmes, sous-systèmes. La notion de poly-système propose de dupliquer une caractéristique, un élément afin d'attribuer une propriété antagoniste à la copie (antisystème), ou aux parties par rapport à l'ensemble.
- Segmentation : transition vers le micro-niveau
- Changement de phase (Choulier and Bachelet, 2017)

Séparation des propriétés contradictoires	
1	Séparation dans l'espace
2	Séparation dans le temps
Transition de système 1	
3	Combinaison de plusieurs systèmes en un « super système »
4	Combinaison d'un système et de son opposé : « antisystème »
5	Séparation entre un système et ses sous-systèmes (le système a la propriété A alors que les sous-systèmes ont la propriété non A)
Transition de systèmes 2	
6	Transition vers le « micro niveau » (changement d'échelle par l'utilisation de substances à un état physique plus « dissocié » : poudre, liquide, gaz...)
Transition de phase	
7	Changement de phase d'une partie du système, ou de son environnement (changement de phase dans l'espace en fait)
8	Changement de phase « dynamique » dépendant des conditions de travail (changement de phase dans le temps)
9	Utilisation des phénomènes associés aux changements de phase
10	Remplacement d'une substance monophasée par une substance bi ou polyphasée
Transition Physicochimique	
11	Création/élimination de substances par combinaison ou décomposition physico-chimique.

Figure 19 : Les 11 principes de séparation pour résoudre une contradiction physique (Zouaoua, 2012)

2.3.2.2 Illustration par la bonbonne de gaz

L'exemple de la bonbonne de gaz permet d'illustrer le processus de contradictions techniques et physiques (Cavallucci, 1999). Les bonbonnes de gaz vendues actuellement ne permettent pas de prévenir l'utilisateur lorsque celles-ci ne contiennent plus beaucoup de gaz. L'utilisateur se retrouve donc dans une situation indélicate car ce dernier se rend compte de l'épuisement de la bonbonne au dernier moment. L'idée est de déterminer un système qui permettrait d'être mis au courant quelques temps avant l'épuisement total de la bonbonne. Les premières solutions venant à l'esprit, consisteraient à rajouter un système de mesure de la pression. Ou encore à ajouter une balance en-dessous de la bonbonne pour déterminer la masse de gaz résiduelle. Toutes ces solutions sont des compromis.

La première étape est de déterminer la contradiction opérationnelle : "J'aimerais savoir la quantité de gaz à l'instant t, sans augmenter la complexité du système, avec un coût identique".

La deuxième étape consiste à formuler la contradiction technique : "Si j'améliore le système de détection de la mesure, j'augmente sa complexité". La contradiction physique est : "Le système devrait être simple pour avoir un coût faible, et complexe pour intégrer le système de mesure de la quantité résiduelle de gaz". L'application de la matrice des contradictions techniques donnent les principes dans l'ordre suivant : 10 (Action préalable), 15 (dynamisation), 28 (Substitution mécanique) et 37 (Expansion thermique). Les ressources du système sont : la pression, la masse, le temps.

La combinaison du principe suggéré n°10 par la matrice avec le temps, donne l'élaboration d'un planning, pour estimer la durée d'utilisation approximative de la bonbonne. La combinaison de la pression avec le principe n°10, donne l'utilisation d'un système de mesurage de la pression et donc complexifie la solution. La combinaison du principe n°10 avec la masse suggère une action préalable sur la masse, d'un contrepoids. Pour élaborer une solution un peu plus précise, l'application des 11 principes de séparation donne une séparation en fonction du temps et de l'espace. En combinant tous ces éléments : Action préalable (principe 10) + masse (ressource) + séparation dans l'espace + séparation dans le temps, la solution est l'ajout (action préalable) d'un contrepoids (ressource) sur le fond de la bonbonne de façon asymétrique (séparation dans l'espace). Au fur et à mesure de la consommation de cette bonbonne, la masse va déplacer le centre de gravité (séparation dans l'espace) de la bonbonne pour la faire basculer d'un côté avant l'utilisation complète de celle-ci (séparation dans le temps) (Cavallucci, 1999).

2.3.3 Vépoles (ou analyses substances champs)

Les difficultés de l'utilisation de la matrice résident dans :

- L'association des paramètres techniques des problèmes avec les paramètres génériques de la matrice (phase de modélisation du problème)
- Le passage du concept de solution (par les 40 principes inventifs), aux solutions spécifiques au problème posé.

Altshuller constata que la résolution des problèmes inventifs, passée par l'utilisation des principes inventifs associés à leurs effets physiques. En 1976, les travaux sur la matrice s'arrêtent. A ce moment-là, les recherches se sont orientées vers les standards inventifs. Un standard est une combinaison de principes et d'effets physiques. Une classification des standards est née. Il existe 76 standards inventifs développés par Altshuller. Le modèle de base est le vépole. La notion de vépole est la combinaison de deux mots russes: "Vechestvo" qui signifie substance (solide, liquide, gaz) et "pole" qui signifie champ (Interaction entre deux substances). Un vépole est la combinaison d'au moins deux substances liées par un champ (Cavallucci, 2012). Il existe 5 types de champs physiques formant le sigle MATHEM:

- Mécanique (M)
- Acoustique (A)
- Thermique (T)
- Chimique (H)
- Electrique (E)
- Magnétique (M)

La combinaison de ces champs donne par exemple l'électrochimie, l'électromagnétisme... L'ordre proposé par Alshuller est lié à la contrôlabilité.

La description du vépole est en opposition aux règles de l'analyse fonctionnelle, dont l'objectif est de décrire de façon exhaustive toutes les caractéristiques, fonctions, sous fonctions d'un système. Le vépole ne permet de modéliser que les composants en conflit. Elle se base sur une reformulation claire et précise du problème. Pour détecter une fuite dans un système de réfrigération à base de fréon, est ajouté une substance luminescente dans le pétrole. Lors d'une fuite, une exposition aux rayons UV permet l'identification de la fuite (Cavallucci, 1999). Dans cet exemple, deux substances interagissent (le fréon et la substance luminescente) dans un champ créé (rayons UV). La représentation graphique des vépoles est proposée dans la **Error! Reference source not found.**

$S_1 \xrightarrow{C_1} S_2$: vépole (vue générale) ;
\rightarrow	: action ou interaction (vue générale) ;
\leftrightarrow	: interaction mutuelle ;
$--\rightarrow$: action (ou interaction) devant être introduite selon les spécifications du problème ;
\rightsquigarrow	: action (ou interaction) insatisfaisante et qui selon les spécifications du problème doit être remplacée ;
$F \rightarrow$: champ en entrée : « le champ agit » ;
$\rightarrow F$: champ en sortie : « le champ répond bien à l'action » ;
F'	: état du champ en entrée ;
F''	: état du même champ en sortie (les paramètres changent, mais pas la nature du champ) ;
S'	: état de la substance en entrée ;
S''	: état de la substance en sortie ;
$S'-S''$: transition de substance se trouvant dans l'état S' ou l'état S'' (par exemple, sous l'effet d'un champ en transition) ;
\bar{F}	: champ en transition.

Figure 20 : Représentation des vépoles (Cavallucci, 1999)

La procédure de modélisation du vépole, commence par l'identification de l'objet, de l'outil et des éléments en conflit pendant le temps opératoire dans la zone opératoire. Les principales règles de représentation des vépoles sont données en **Error! Reference source not found.**

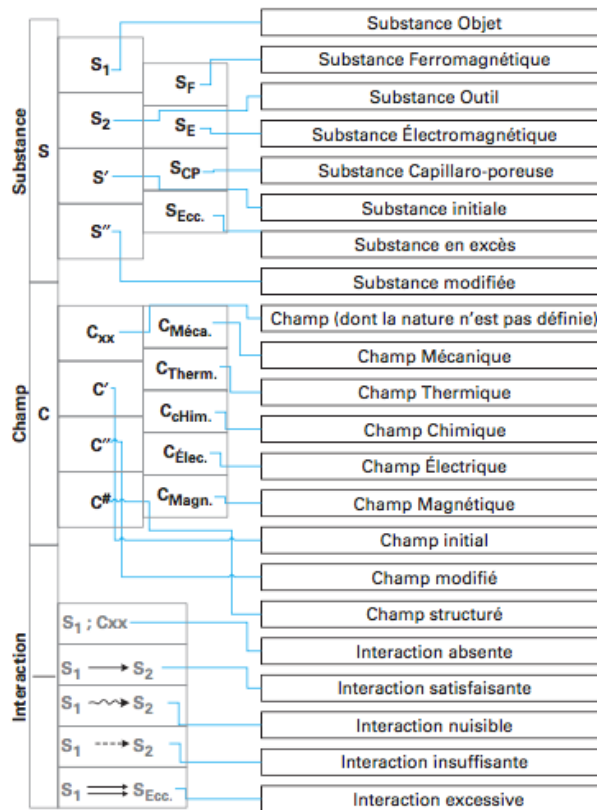


Figure 21 : Principales règles de modélisation des vépoles (Cavallucci, 1999)

Il y a cinq types de vépoles. La Figure 22 en fait une représentation graphique. Une fois le vépole du problème modélisé, le processus doit orienter vers les standards (§ 2.3.4). La combinaison du vépole standard et du vépole du problème donne la résolution du problème. (Cavallucci, 2012)

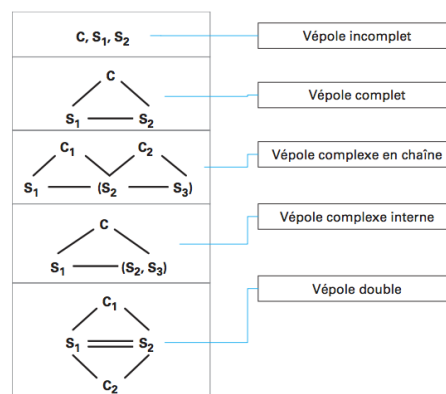


Figure 22 : Les différents types de vépoles (Cavallucci, 1999)

2.3.4 Système des 76 standards inventifs

Les standards offrent plus de possibilités que de solutions. Les standards sont des phrases avec une construction particulière (Figure 23). Ces standards sont catégorisés en classes correspondant au type de problème à résoudre. Ces classes permettent aussi de faire le lien avec les effets physiques. Contrairement aux principes, le choix du standard est plus facile. Chaque classe comporte plusieurs sous classes.

- La classe 1 : La construction et destruction des vépoles

Cette classe comporte deux sous-classes. La première sous-classe comporte les standards permettant l'élimination d'un ou des éléments nuisibles du vépole. La deuxième sous-classe comporte les standards permettant la création de vépoles.

- La classe 2 : Le développement des vépoles

Cette classe regroupe les standards permettant d'améliorer en termes de performance le système.

- La classe 3 : Evolution des vépoles

Dans cette classe, les standards permettent de générer un nouveau produit en rupture technologique avec le précédent. Ils concernent les systèmes qui nécessitent une transition vers le micro-niveau ou vers le super-système.

- La classe 4 : Mesures et détection

Lorsqu'un problème technique est lié au mesurage et à la détection, il bénéficie de standards systématiques et d'effets physiques permettant sa résolution.

- La classe 5 : Classe d'aide

Cette classe ne fait pas parti d'un type de problème identifié. Cette classe permet d'approfondir les modèles de solutions obtenus à partir des quatre autres classes de standards. (Cavallucci, 2012)

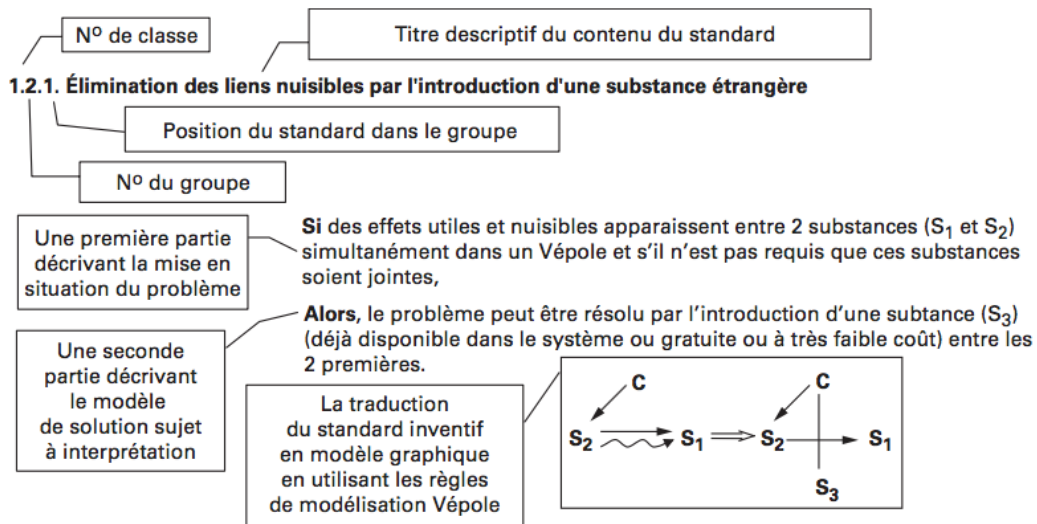


Figure 23 : Typologie d'un standard et modélisation vépole (Cavallucci, 2012)

La Figure 24 synthétise l'ensemble des méthodes des inventeurs pour résoudre un problème. Autant le processus de choix du standard est plus simple que pour le choix du principe à appliquer, autant il demeure une difficulté dans la transformation du modèle en solution spécifique. L'utilisation de ces standards est généralement fait dans la logique d'ARIZ (§2.3.8).

Le choix de standards peut se faire de 3 façons différentes :

- La première façon est une approche basée sur l'expertise de l'inventeur. Celui-ci, de par son expérience avec les standards et son expertise dans le domaine concerné, sait quels standards choisir. Cette approche ne respecte pas l'esprit de l'utilisation des standards.
- La deuxième façon est basée sur l'élimination au fur et à mesure de l'analyse des caractéristiques du problème, les standards ne correspondant pas au modèle. Le point de départ est un éventail large de standards. L'analyse permet de réduire de plus en plus cet éventail, complétée *in fine* par l'utilisation de la classe 5 qui permet de déterminer un schéma de solution.
- La troisième façon, est l'approche algorithmique. Cette approche se base sur l'établissement d'un algorithme qui détermine automatiquement, à partir du vépole, le choix des standards. Cette approche est très cadrée et limite l'aspect inventif (Cavallucci, 2012).

Classe 1	Construction et destruction des Vépoles	1.1	Synthèse des Vépoles	(8)
		1.2	Destruction des Vépoles	(5)
Classe 2	Développement des Vépoles	2.1	Transition aux Vépoles composés	(2)
		2.2	Renforcement des Vépoles	(6)
		2.3	Renforcement par concordance de rythmes	(3)
		2.4	Transition aux Vépoles	(12)
Classe 3	Transition vers le super système et le microniveau	3.1	Transition vers les bi/polysystèmes	(5)
		3.2	Tansition vers le sous-système	(1)
Classe 4	Mesures et détection	4.1	Détours	(3)
		4.2	Synthèse des systèmes de mesure	(4)
		4.3	Renforcement des Vépoles de mesure	(3)
		4.4	Transition aux Vépoles	(5)
		4.5	Développement des systèmes de mesure	(2)
Classe 5	Aide à la mise en application des standards	5.1	Introduction de substances	(4)
		5.2	Introduction de champs	(3)
		5.3	Transitions de phases	(5)
		5.4	Application des effets physiques	(2)
		5.5	Standards expérimentaux	(3)

Figure 24 : Les 5 classes et sous-classes de vépoles (Cavallucci, 2012)

2.3.5 Effets PGC (Physiques-Géométriques- Chimiques) et leurs pointeurs

Ces effets sont une synthèse des principes fondamentaux de la physique, de la chimie et de la géométrie. Ils représentent un modèle de solution pour des problèmes et viennent en complément de l'analyse substance-champ. Ils sont regroupés dans des bases de données associées à de nombreux brevets. La concrétisation de cette analyse, se poursuit par l'interprétation par l'inventeur de ces standards, de ces effets physiques et ces brevets.

2.3.6 Les opérateurs DTC (Dimensions Temps Coûts) et autres méthodes pour vaincre l'inertie psychologique

2.3.6.1 Aspects théoriques

Les opérateurs Dimensions Temps Coûts permettent de lutter contre l'inertie psychologique. Les opérateurs DTC consistent à poser une série de questions permettant de reformuler le problème. L'idée est de répondre à chaque question, c'est-à-dire que se passerait-il si :

- Le système était microscopique ?
- Le système était gigantesque ?
- Le système réalisait l'action en quelques secondes ?
- Le système réalisait l'action en un temps infini ?
- Le système coûtait très cher ?

- Le système ne coûtait rien ?

2.3.6.2 Illustration via le convoyeur de laminoir

Un rouleau de verre est chauffé à haute température puis déposé sur un convoyeur composé de rouleaux. Ce rouleau de verre doit être poli tant qu'il est chaud. En se déplaçant sur le convoyeur, le rouleau de verre refroidi et se déforme à cause des rouleaux du convoyeur (Cavallucci, 1999). Les experts proposent de diminuer le diamètre des rouleaux du convoyeur de façon à ce que les plaques de verre soient moins déformées.

Contradiction technique : Plus les rouleaux du convoyeur sont petits, plus il est difficile d'assembler les rouleaux et plus il faut de rouleaux.

En utilisant les opérateurs DTC :

- Si les rouleaux du convoyeur étaient aussi petits que des allumettes ? La difficulté serait de placer des milliers de rouleaux aussi fins que des allumettes sur plusieurs mètres de convoyeur. Le coût s'en trouverait augmenté.
- Si les rouleaux du convoyeur étaient aussi petits qu'un fil, une protéine, une molécule, ou encore un atome ? Il faudrait prendre chaque atome et l'étirer le plus possible pour faire une surface plane. L'idée de l'exercice est de ne pas se mettre de barrières mentales. Le verre chauffé se déplacerait sur un atome plat et étiré. Donc le convoyeur idéal est plat. Il faut donc par conséquent mettre des atomes sous la plaque de verre, permettant d'avoir une surface plane. On peut penser à des atomes de gaz, mais ce dernier s'évaporerait. On peut penser à des atomes de solide mais dans ce cas, ils ne pourraient pas se déplacer. La dernière possibilité, serait des atomes de liquide. Le convoyeur idéal est celui-ci sur lequel les plaques de verres se déplacent sur un liquide. Le choix du liquide est important. Le liquide doit avoir les propriétés suivantes :
 - Fondre facilement (une température de fusion entre 200°C et 300°C)
 - Avoir une haute masse volumique pour que le verre ($M/V = 11,3 \times 1000 \text{ kg/m}^3$) flotte à sa surface
 - Un point d'ébullition haut (>1500°C) pour ne pas risquer que le liquide rentre en ébullition et déforme la surface du verre.

Le liquide recherché est un métal. En rejetant les métaux rares il reste le bismuth, le plomb et l'étain. Le bismuth est cher, les vapeurs de plomb sont toxiques. Le convoyeur à rouleaux de petits diamètres est remplacé par un bac rempli d'étain. (Cavallucci, 1999)

Il existe d'autres méthodes complémentaires pour vaincre l'inertie psychologique mais ne faisant pas parti de la théorie d'Altshuller. C'est le cas de la méthode des hommes miniatures développée par l'américain William Gordon.

2.3.7 Analyse Multi écrans

2.3.7.1 Aspects théoriques

L'analyse Multi écrans (AME) (ou analyse 9 écrans) permet d'étudier un système dans sa globalité, c'est-à-dire passé, présent et futur. Cette analyse est liée aux lois d'évolution (cf. §2.2.6). En effet, les lois d'évolution permettent de diriger l'évolution d'un produit, et donc d'anticiper son évolution. Mais de façon rétrospective, ces lois permettent de comprendre cette évolution. La compréhension rétrospective est importante pour savoir quelle évolution le système a suivi. L'objectif de l'analyse des 9 écrans est d'obtenir en 9 écrans la vie du système, ses sous-systèmes, ses supers-systèmes (Figure 25). L'analyse multi-écrans, consiste à se poser une série de questions, divisées en 4 catégories regroupant les informations suivantes :

- Les changements innovants du sous-système
- Les sous-systèmes ajoutés
- Les sous-systèmes arrêtant d'exister lors de la transition d'un produit à un autre
- L'impact du futur super-système (Souchkov and Tuomo, 2014)

La première catégorie de questions concerne les changements qui se déroulent dans le système en lien avec ses sous-systèmes. Dans l'AME, seuls les changements innovants sont considérés. Une série de questions est posée pour chaque sous-système qui subit un changement significatif afin de collecter des informations sur les sujets suivants :

- Est-ce qu'un changement spécifique élimine une (ou des) fonction(s) utile(s) ?
- Comment un changement spécifique affecte négativement la qualité, la robustesse, la performance, la facilité d'utilisation et le cycle de vie d'un sous-système ou du système dans sa globalité ? (Souchkov and Tuomo, 2014)

Après la réalisation de l'étude, les informations similaires sont rassemblées par rapport aux effets résultants de l'ajout de nouveaux sous-systèmes et de l'élimination de sous-systèmes du système. Les réponses obtenues aux questions précédentes permettent de formuler les conclusions suivantes :

1. Les paramètres de qualité, performance et facilité d'utilisation nécessitant une amélioration
2. Les fonctions qui ne sont pas remplies avec le degré de performance du système.
3. Les fonctions qui sont absentes du système.
4. Les contradictions toujours présentes dans le système.
5. Les contradictions qui ont été créées lors de la transition d'une génération précédente du système à la dernière génération.

Les trois premières catégories de réponses utilisent des informations facilement disponibles. Ce n'est pas le cas de la 4^{ème} catégorie (l'impact du futur super-système). En effet, cette catégorie nécessite d'imaginer comment le super-système va changer dans la période prévisionnelle. A ce moment-là, il est nécessaire de lister tous les changements possibles du super-système. Après cette étape, les questions suivantes sont à poser :

- Est-ce qu'un changement du super-système nécessite une nouvelle fonctionnalité ? Si oui, laquelle ?
- Est-ce que les futurs changements du super-système nécessitent la suppression de sous-systèmes existants ? Si oui, lesquels ?
- Est-ce que les changements du super-système éliminent des contradictions existantes ? Si oui, lesquelles ?
- Est-ce que les changements du super-système créent des nouvelles contradictions ? Si oui, lesquelles ?

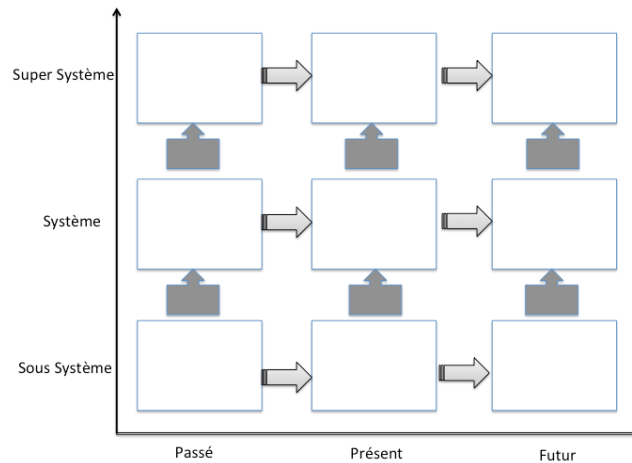


Figure 25 : Analyse Multi écrans pour analyser l'évolution d'un système

2.3.7.2 Illustration par l'évolution du parapluie

L'exemple détaillé est celui de l'évolution du parapluie d'hier à aujourd'hui (Figure 26 et Figure 27)



Figure 26 : L'ancêtre du parapluie à gauche (l'ombrelle), à droite le parapluie moderne

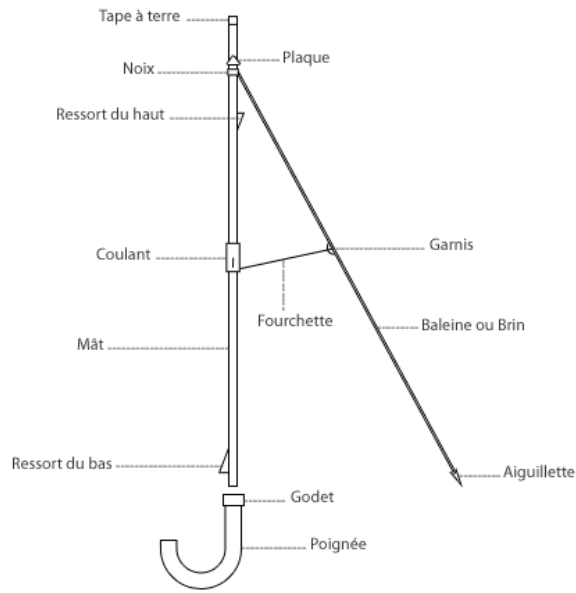


Figure 27 : Les éléments constitutifs d'un parapluie

La première étape consiste à analyser les sous-systèmes, systèmes, et super-systèmes du parapluie (Figure 28).

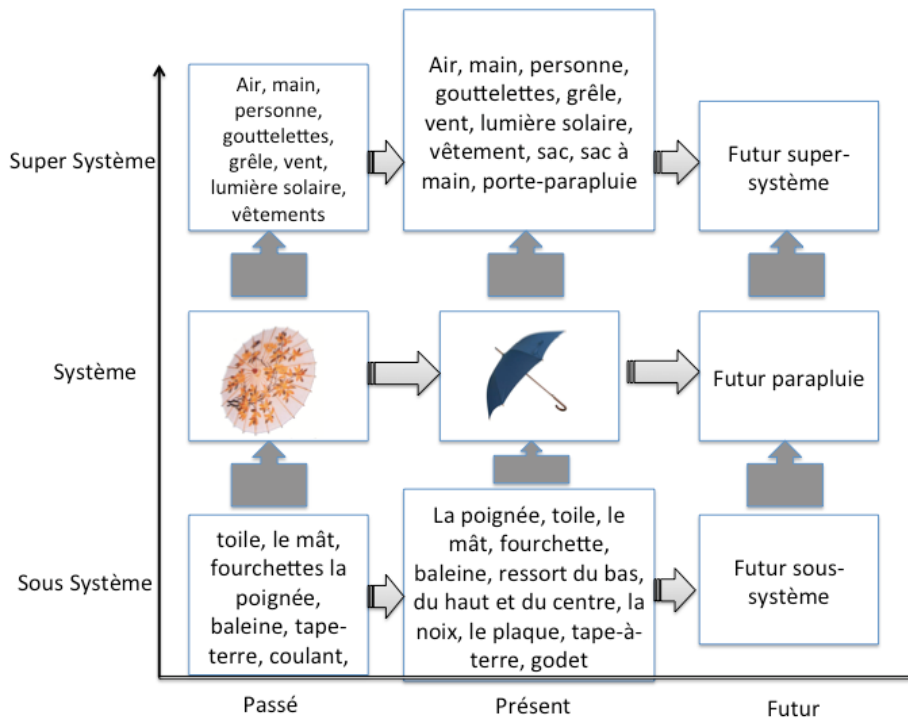


Figure 28 : Systèmes, super-systèmes et sous-systèmes du parapluie de l'époque et d'aujourd'hui

L'étape suivante est de choisir chaque sous-système qui a changé et décrire quelle innovation a été réalisée en lien avec l'évolution du sous-système. Pour chaque innovation, les questions posées plus haut doivent-être résolues. Un exemple de réponses aux questions est donné pour le sous-système *mât* (Tableau 5). Ces réponses sont ensuite transformées en contradictions (Tableau 6). La transition vers le mât télescopique résout partiellement les contradictions. En effet, cette solution résout le problème de la longueur mais génère de nouveaux problèmes à résoudre.

L'étape suivante est en lien avec la 4^{ème} catégorie de questions sur l'impact du futur super-système, c'est-à-dire lister les changements du futur super-système, puis évaluer leur impact sur le futur système (Tableau 7).

Tableau 5 : Exemple de réponses aux questions pour des changements innovants du mât (sous-système) du parapluie. (Souchkov and Tuomo, 2014)

Le mât	Changements innovants		
	Télescopique	Creux	Multiples ouvertures
Élimination d'une fonctionnalité	NA	NA	NA
Ajout d'une fonctionnalité	Le mât peut se déplier et se replier	- Fournit la place pour les ressorts -Fournit la place pour les tubes du manche télescopique	- Fournit la place pour les boutons du mât
Affectant une fonctionnalité existante	Plus difficile à ouvrir	NA	NA
Affectant la qualité existante	Plus facile à casser	Plus déformable	- L'eau peut s'infiltrer - Les boutons peuvent se coincer
Affectant la performance actuelle	Plus de temps pour ouvrir le mât	NA	NA
Affectant le cycle de vie	- Plus difficile à assembler - Plus difficile à produire - Plus difficile à utiliser	- Plus difficile à produire	- Plus difficile à produire

Tableau 6 : Formulation des contradictions suite à l'identification des fonctionnalités pour l'exemple du mât (Souchkov and Tuomo, 2014)

Le mât	Changements innovants		
	Télescopique	Creux	Comporte des ouvertures
Affectant une contradiction existante	Le mât devrait être long pour utiliser le parapluie de façon confortable et court pour faciliter le transport de celui-ci	Le mât devrait être lourd pour résister au vent, à la pluie, à la grêle et léger pour faciliter son utilisation	NA
Création de nouvelles contradictions	Le mât devrait être composé d'une pièce pour faciliter son assemblage et de plusieurs pièces pour produire l'effet télescopique	Le mât devrait être creux pour l'effet télescopique, et plein pour résister à la déformation	Le mât devrait être scellé pour ne pas que l'eau s'infiltrer, et ouvert pour laisser les boutons se déplacer.
	Le mât devrait être complexe pour l'effet télescopique et simple pour éviter qu'il ne se casse facilement		Les ouvertures devraient être étroites pour empêcher l'eau de s'infiltrer, et larges pour éviter que les boutons ne se coincent à l'intérieur
	Le mât devrait être complexe pour l'effet télescopique et simple pour faciliter sa production et son assemblage		Le mât devrait contenir des ouvertures permettant le déplacement des boutons, et ne pas contenir d'ouvertures pour une facilité de production
	Le mât devrait être composé d'un certain nombre d'éléments pour l'effet télescopique et d'une seule pièce pour éviter de faire un effort supplémentaire pour ouvrir le parapluie		

Tableau 7 : Les changements du futur super-système et leurs impacts sur le système parapluie (Souchkov and Tuomo, 2014)

Futurs changements	Impacts			
	System	Sous-systèmes	Nouvelle fonction	Contradictions
Vêtements imperméables	Le parapluie disparaît. Sa fonction est transférée aux vêtements	La toile ne devrait pas protéger de la pluie mais seulement de la lumière du soleil.	Fonction de protection contre la pluie/la grêle disparaît	Le parapluie devrait être grand pour protéger de la pluie/grêle, et petit pour être facilement transportable
Le centre-ville en-dessous d'une couverture protectrice	Aucun parapluie n'est requis			
De plus petits sacs à main	Le parapluie devrait être plus petit (le plus petit possible pour tenir dans une poche)	La toile, le mât		
Contrôle du climat/ élimination de la pluie dans les zones habitées	Utilisation de parapluie seulement dans les zones extra-urbaines		Protection de la pluie en-dehors des villes	Le parapluie n'existe pas dans la ville, mais existe en-dehors de celle-ci
Trajets à l'air libre plus court	Aucun impact	Aucun impact		

En résumé, l'AME permet :

- L'observation et la cartographie des problèmes/changements qui se sont déroulés dans le système entre une génération de système et une autre
- La compréhension des facteurs négatifs influençant le développement du système à partir des sous-systèmes et super-systèmes
- L'identification de ce qu'il y a à changer et à améliorer afin de créer un système avec le plus haut degré d'idéalité
- La formulation de problèmes à résoudre pour concevoir une nouvelle génération de système (Souchkov and Tuomo, 2014)

2.3.8 ARIZ : algorithme de TRIZ

L'algorithme ARIZ permet d'appliquer de façon structurée l'ensemble des concepts et outils de la TRIZ. Il y a eu plusieurs versions correspondant à l'année de publication de cet algorithme (76, 81, 85). Le dernier algorithme de TRIZ développé par Altshuller est le 85C. Le but avec cet algorithme est de résoudre un problème compliqué et qui ne peut pas être résolu par des outils standard de TRIZ. ARIZ est un processus qui accompagne le professionnel depuis la formulation du problème jusqu'à l'implémentation de la ou les solutions validées retenues.

Altshuller et son équipe ont développé cet algorithme pour en faire un processus clair et efficace. Celui-ci comporte 40 étapes, et repose sur 3 phases :

- Formulation claire du problème et identification des contradictions physiques

Cette phase comporte 3 parties contenant au total 16 étapes. Cette phase est importante car elle permet d'aboutir à la contradiction physique. C'est cette contradiction physique qui permet de résoudre le problème. Cette première phase utilise tous les éléments nécessaires pour résoudre le problème (Ex : ressources, temps opératoire...). Au cours de cette phase, il est possible d'appliquer à deux reprises les standards ; une fois avant l'énoncé de la contradiction physique, puis après l'énoncé de la contradiction physique. Si la solution est validée techniquement, alors elle pourra être implémentée. L'utilisateur s'affranchira des étapes suivantes de l'ARIZ.

- Utilisation guidée des outils de TRIZ

Cette phase permet la résolution de la contradiction physique en utilisant, l'un après l'autre, les différents outils. Cette phase vise à éclaircir la situation (au niveau des ressources), pour atteindre une solution satisfaisante.

- Sélection de la solution technique, aide à son implémentation et capitalisation de la valeur ajoutée pour l'entreprise

Dans cette dernière phase, la ou les solutions vont être évaluées, vérifiées. La plus pertinente sera implémentée. Cette phase comporte 3 parties pour aboutir à la "solution finale" (Figure 29) (Cavallucci, 2012).

Le processus ARIZ ne sera pas plus approfondi. Plusieurs ouvrages traitant en détails ce processus, expliquent la méthodologie. Le plus connu étant celui publié par Genrich Altshuller: *The innovation Algorithm*.

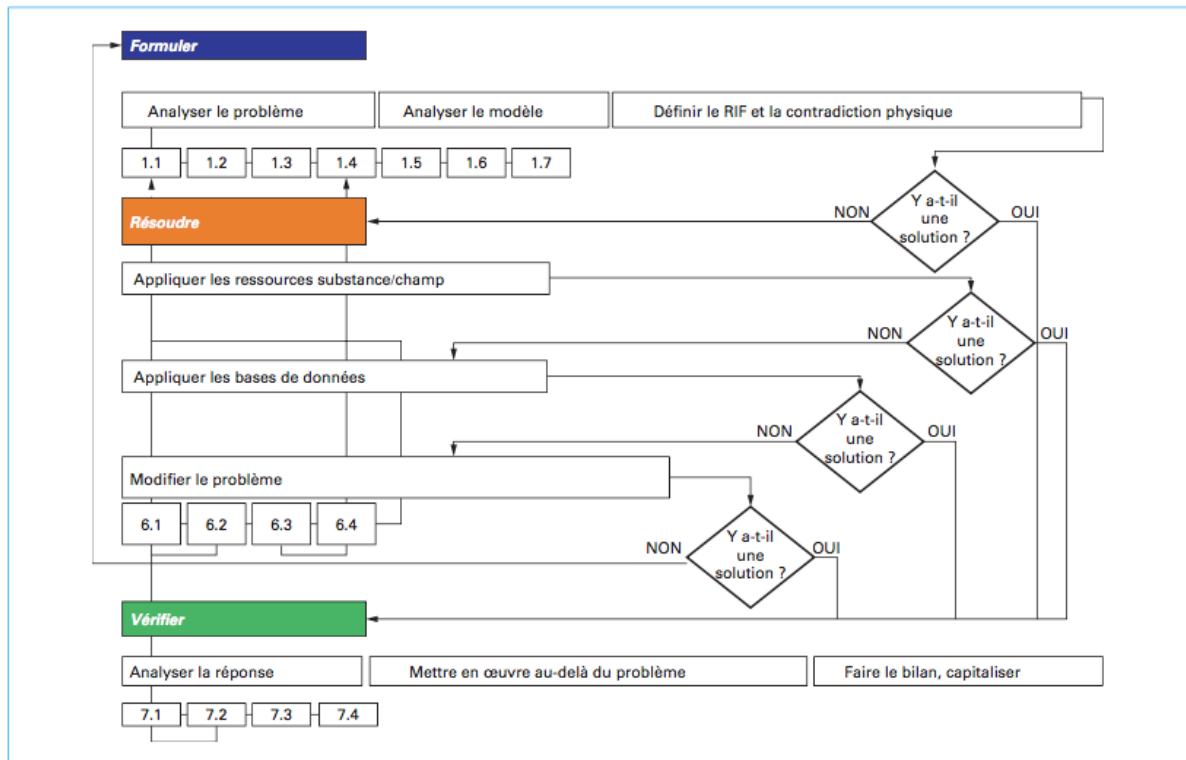


Figure 29 : Algorithme ARIZ 85C comportant 40 étapes permettant de résoudre des problèmes complexes et non standards (Cavallucci, 2012)

2.3.9 Processus de mise en œuvre de TRIZ

Le processus général de mise en œuvre de TRIZ est représenté sur la Figure 30. Il commence par la situation initiale. Cette phase consiste à décrire le contexte du problème, les éléments nécessaires à sa compréhension. C'est la première confrontation vis-à-vis de la situation problématique. A ce moment-là, certains outils sont utilisés, à savoir l'AME (avec les ressources), les lois d'évolutions (afin d'aboutir à un problème défini) et le RIF. Une fois le ou les problèmes définis, il est nécessaire d'en déterminer les contradictions. TRIZ ne peut pas interpréter des contradictions qui n'ont pas la forme adéquate. Il faut donc modéliser les contradictions en paramètres génériques. C'est la transition vers le domaine de l'abstraction. A ce stade, la confrontation avec les 39 paramètres génériques de la matrice d'Altshuller ou encore la modélisation vépoles peuvent être utilisés afin d'aboutir à un modèle de problème. A partir de ce modèle de problème, les outils de TRIZ utilisés sont les 40 principes aux croisements des paramètres génériques de la matrice, ou encore les 76 standards de solution pour atteindre un modèle de solutions. Ici, le résultat est un ensemble déterminé de principes répondant au modèle de problème. A partir de là, le processus de résolution sort de l'abstraction pour revenir au domaine des réalités technologiques, car l'ingénieur va devoir transformer ces principes standard en solution à partir de ses connaissances. C'est la phase de concept de solution. La dernière étape consiste à éliminer, réduire, recombinaison les concepts de solution pour en déterminer celui résolvant le mieux la situation initiale et pouvant être implémenté.

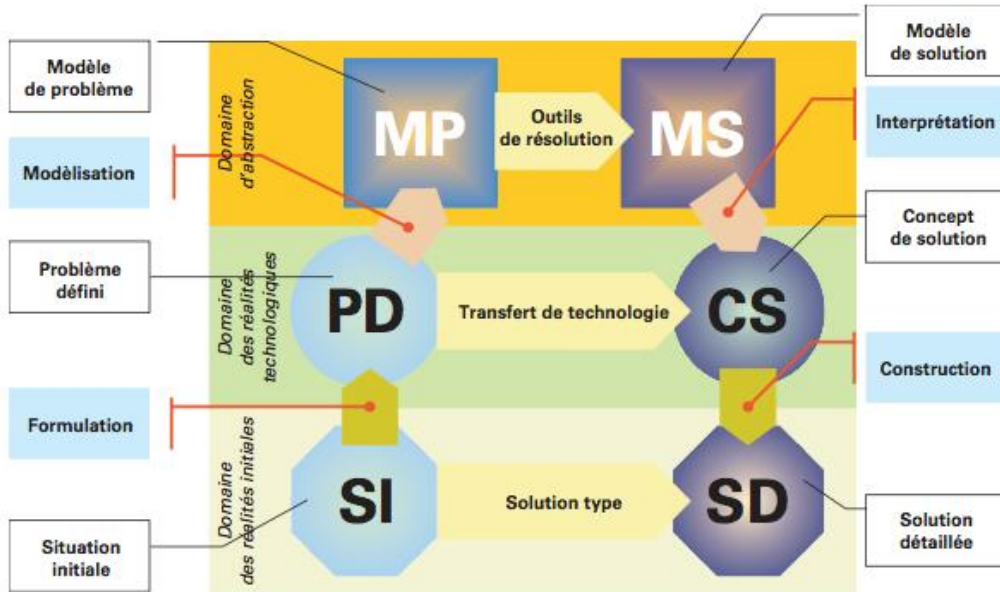


Figure 30 : Représentation de la mise en œuvre de la TRIZ (Cavallucci, 2012)

3 Partie 3 : Résultat

4 Application de TRIZ à la production pharmaceutique

L'environnement pharmaceutique est un système complexe très réglementé. La production représente l'aspect de création de valeur au sein d'une entreprise, c'est-à-dire qu'elle transforme des éléments de départ (matières premières) en un produit (médicament) qui sera mis sur le marché.

Au sein de la production pharmaceutique, des processus réglementaires existent pour encadrer de façon rigoureuse la fabrication du médicament afin de garantir la Qualité, la Sécurité et l'Efficacité du médicament pour le patient. Ces processus s'appellent notamment les *Change Control* (CC) ou Maîtrise du Changement et Anomalie/*Corrective Action Preventive Action* (CAPA). Ces processus sont inscrits dans un système Qualité.

4.1 Processus *Change Control* (CC) ou Maîtrise du Changement

4.1.1 Définitions selon les textes réglementaires

Selon le paragraphe 11.2 de l'annexe 15 des Bonnes Pratiques de Fabrication (BPF) version 2017 : "Des procédures écrites doivent être en place pour décrire les mesures à prendre en cas de changement planifié pour une matière, un composant du produit, un procédé, un équipement, des locaux, une gamme de produits, une méthode de production ou d'analyse, une taille de lot, un espace de conception, ou tout autre changement au cours du cycle de vie susceptible d'affecter la qualité ou la reproductibilité du produit". D'après cette définition, tout changement ou modification, en lien directement ou indirectement avec le produit fait l'objet d'un CC.

En cas de modifications ayant un impact sur le dossier d'Autorisation de Mise sur le Marché (AMM), les textes européens définissent des classes de variations réglementaires. Les médicaments à usage humain ou vétérinaire sont soumis au règlement européen n°1234/2008 de la commission du 24 novembre 2008 (Commission des Communautés Européennes 2008). Ce règlement explique notamment que les fabricants doivent veiller à ce que la fabrication se déroule dans le respect des données décrites dans le dossier d'AMM. Ce règlement indique notamment les conditions à mettre en œuvre pour une modification donnée. Il classe les modifications en 3 classes allant de mineure (IA ou IB) à majeure (II). Un changement peut avoir ou non un impact sur le dossier d'AMM, tout dépend du niveau de précision abordé. Si le changement a un impact sur le dossier d'AMM, alors il sera classé dans l'une des classes. Sinon il sera classé sans impact pour la partie réglementaire (Commission des Communautés Européennes, 2008).

Lorsqu'une entreprise pharmaceutique commercialise un médicament pour un marché non européen, ce médicament doit respecter la réglementation du pays concerné. C'est le cas notamment lorsqu'une entreprise pharmaceutique européenne commercialise un médicament

sur le marché US. Son système Qualité doit nécessairement répondre aux exigences mentionnées dans le chapitre 1, partie 820 du 21 *Code of Federal Regulations* (CFR). Pour les CC, l'entreprise doit être conforme aux paragraphes :

- 820.20 *Management responsibility*
- 820.40 *Document controls*
- 820.70 *Production and process controls*
- 820.75 *Process validation* (FDA, 2018)

Les guidelines *International Conference on Harmonization* (ICH) donnent des recommandations pour le système Qualité. C'est le cas des guidelines suivantes pour le système des CC :

- ICH Q7 §13 *Good Manufacturing Practice for active pharmaceutical ingredients* :

« Un système de gestion de changements devrait être établi pour évaluer tous les changements pouvant affecter la production et le contrôle des intermédiaires de fabrication ou de la substance active. » Il est également question de mettre en place des procédures écrites permettant de s'assurer que le changement est documenté, vérifié et approuvé par le département concerné et la qualité. Le domaine de changement peut concerner « des matières premières, des spécifications, des méthodes analytiques, des locaux, des systèmes supports, des équipements (incluant le matériel informatique), des étapes de procédés, d'étiquetage, de conditionnement et des logiciels. » Les changements sont classifiés en fonction des impacts potentiels sur le procédé de fabrication. Les documents impactés par le changement doivent être mis à jour. « Un suivi d'efficacité devrait se faire sur un lot produit ou testé ». Si le changement impacte des paramètres critiques pouvant impacter le procédé, des études de stabilités complémentaires sont à prévoir.

- ICH Q8 et Q10 :

« Le changement doit être évalué par une analyse de risque. Plus le risque est élevé, et plus le niveau d'effort pour réaliser le changement est important. » « L'évaluation des CC est à réaliser par une équipe d'experts choisis par rapport à leur niveau d'expertise dans le domaine du changement (Ex : développement pharmaceutique, production, Qualité, Affaires Réglementaires...). » (ICH, 2018)

4.2 Application de TRIZ au Change Control

4.2.1 Exemple de l'achat d'un équipement en production pharmaceutique

Contexte : Une zone de fabrication d'une ZAC (Zone à Atmosphère Contrôlée) réalise, à partir d'une cuve, et à l'aide d'un montage, une répartition en système clos d'une solution S dans des flacons dans un environnement exigü. Les opérateurs réalisant cette répartition ont besoin de connaître la masse de solution S introduite à chaque instant de la répartition afin de répartir le bon volume dans chaque flacon. Actuellement, les opérateurs disposent d'une

balance électronique au sol permettant de réaliser la répartition. Celle-ci doit être remplacée pour 3 raisons :

- La vétusté
- Le manque d'ergonomie
- La précision

Lorsque tous les flacons (5 à 10 flacons) sont répartis (intervalle de 0 à 30 kg), ces derniers sont transportés vers un espace de stockage un à un.

Problématique initiale : nécessité de remplacement de la balance (nécessité de réaliser un CC) et d'amélioration de l'ergonomie, de la précision et de la capacité à supporter plus de flacons.

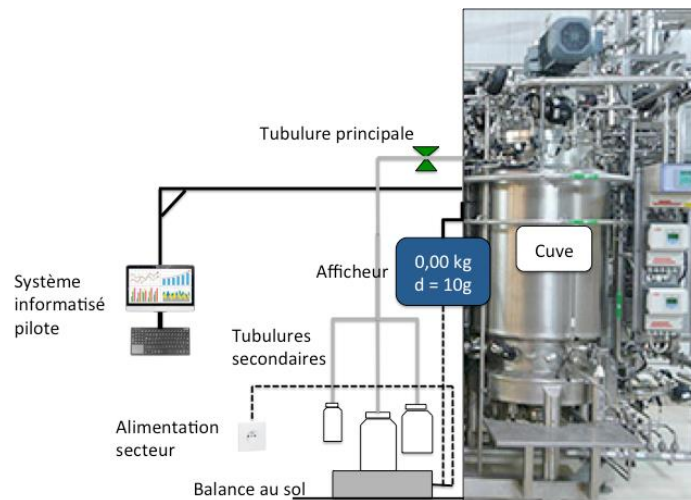


Figure 31 : Représentation du poste de répartition 2^{ème} génération

4.3 Méthodologie TRIZ en amont de la création du CC

4.3.1 Formulation du besoin

Dans cette phase, 3 outils sont utilisés à savoir la loi d'intégralité des parties (Error! Reference source not found.), l'analyse multi-écrans (AME) (Figure 33 : Analyse Multi-écrans du poste de répartition de 2^{ème} génération

) et l'analyse des lois d'évolution. Le poste de répartition comprend 4 parties : la balance, le montage, la cuve et l'opérateur.

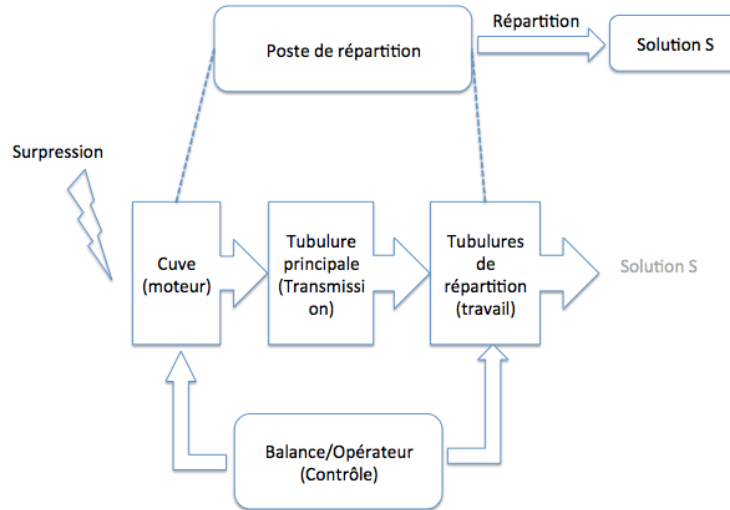


Figure 32 : Représentation du poste de répartition selon la loi 1 "Intégralité des parties"

	Passé	Présent	Futur
Super-systèmes	Pression de consigne de la cuve, pesons de cuve, gravité, flacons de répartition, vannes d'ouverture/fermeture, fluide à introduire (Volume, masse, concentration...), flux d'air (ZAC), œil, mains, stylos, feuilles, solution S, clamps, énergie	Pression de consigne de la cuve, pesons de cuve, gravité, flacons de répartition, vannes d'ouverture/fermeture, fluide à introduire (Volume, masse, concentration...), flux d'air (ZAC), œil, mains, feuilles, solution S, clamps, énergie, système informatisé pilote	Pression de consigne de la cuve, pesons de cuve, gravité, flacons de répartition, vannes d'ouverture/fermeture, fluide à introduire (Volume, masse, concentration...), flux d'air (ZAC), œil, mains, feuilles, solution S, clamps, énergie, système informatisé pilote
Système	Poste de répartition fluïdique de 1 ^{ère} génération	Poste de répartition fluïdique de 2 ^{ème} génération	?
Sous-systèmes	Règle, table de correspondance (masse Vs Volume), cuve, tubulure principale, tubulures de répartition, niveau à bulles	Table de correspondance, balance au sol, afficheur, cuve tubulures principale, tubulures de répartition	?

Figure 33 : Analyse Multi-écrans du poste de répartition de 2^{ème} génération

Sur la Error! Reference source not found., l'élément de contrôle est partagé entre l'afficheur de la balance et l'opérateur. Cependant, l'opérateur a ses limites. Une hypothèse d'évolution serait que la fonction contrôle ne dépende plus du tout de l'opérateur. Durant cette phase, il est important d'identifier toutes les orientations possibles d'évolution du poste de répartition. Ceci est possible grâce aux 2 autres outils :

l'analyse multi-écrans (ici 9 écrans suffisent) et l'analyse des lois d'évolution. La Figure 33 : Analyse Multi-écrans du poste de répartition de 2^{ème} génération

montre l'évolution (passé, présent, futur) du poste de répartition dans son environnement. D'abord, il est à noter que le futur super-système est connu au moment présent et qu'il est identique au présent. Ensuite il est à noter que le super-système a évolué entre le passé et le présent. L'analyse selon les 9 lois d'évolution est synthétisée dans le Tableau 8.

Tableau 8 : Analyse du poste de répartition selon les 9 lois d'évolution

Lois d'évolutions	Hypothèses d'évolution
Loi 1 : Intégralité des parties	Un poste de répartition qui s'auto-contrôle
Loi 2 : Efficience	Une répartition qui réduit les efforts de l'opérateur (étalonnage avant utilisation) Pas de délai entre la fin de la répartition du flacon et la masse lue Une répartition continue (sans arrêts). Une répartition qui n'occasionne pas de perte de charge le long des tubulures silicone
Loi 3 : Harmonisation	Une répartition qui se déroule à hauteur d'homme Une répartition qui s'adapte à l'opérateur (gaucher ou droitier).
Loi 4 : Idéalité	Une répartition moins manuelle, plus automatisée (moins de clamage et de coupage). Des flacons répartis ne pesant pratiquement rien. La répartition dans le flacon s'arrête automatiquement au bon niveau (précision).
Loi 5 : Développement inégal (irrégularité)	Balance électronique mais répartition encore assez manuelle avec un système informatisé pilote.
Loi 6 : Super-système	Le système informatisé pilote gère la répartition fluide en flacons. La solution S n'est plus nécessaire pour le procédé. Des flacons de répartition gradués.
Loi 7 : Micro-niveau	Modification du procédé pour ne plus utiliser la solution S
Loi 8 : Dynamisation et contrôlabilité	Une balance mobile, contrôlée par le système informatisé pilote
Loi 9 : Evolution par la synthèse substance-champ	Pas d'évolution en ce sens

4.3.2 Définition de la problématique

A cette étape, il est nécessaire de choisir les orientations d'évolution du poste de répartition. Cette phase est un cahier des charges simplifié dans lequel les besoins généraux du client cible sont notés. Ici en l'occurrence, il s'agit des opérateurs.

Les besoins identifiés nécessitent d'apporter prioritairement une évolution en accord avec :

- La loi 3 : améliorer l'ergonomie générale du poste
- La loi 4 : réduire la fatigue des opérateurs (transport de lourdes charges vers la zone de stockage)
- La loi 2 : réduire le délai d'affichage de la valeur et réduire les efforts de l'opérateur (étalonnage de la balance par différents poids).

- La loi 8 : améliorer l'organe de contrôle pour les composants du poste de répartition, plus de flexibilité, mobilité etc.

L'évolution des besoins est ensuite représentée sous forme de diagramme radar (**Figure 34**).

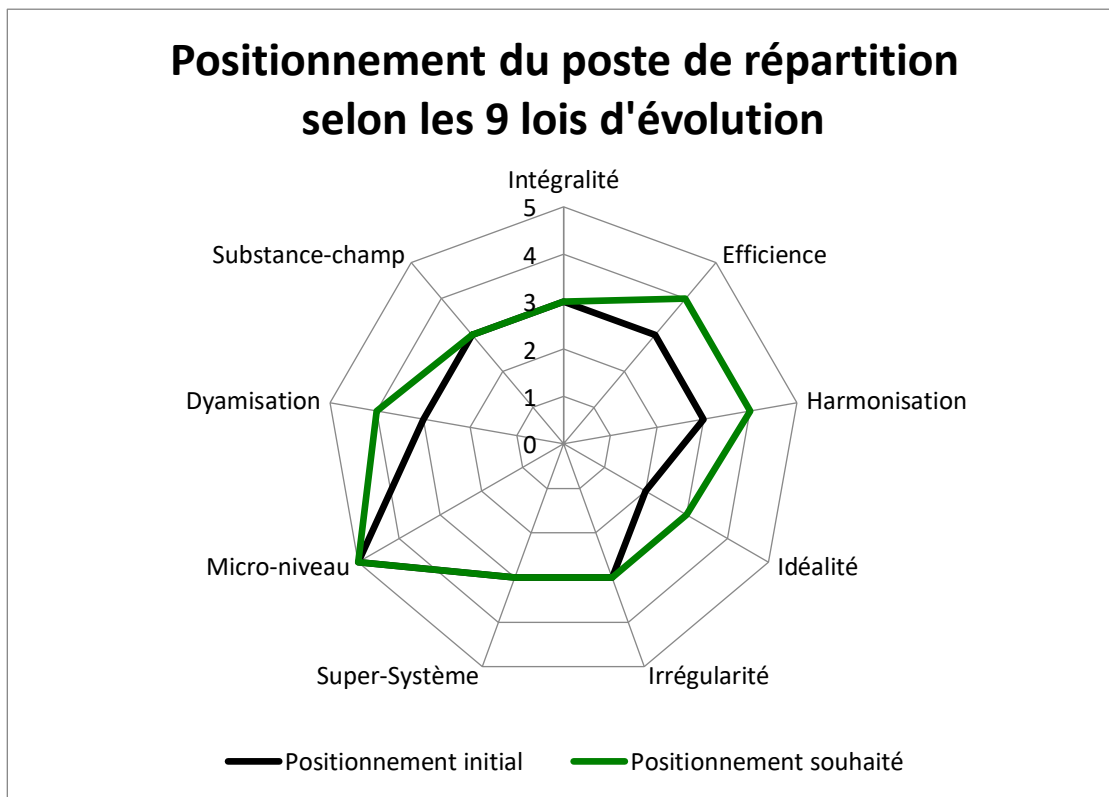


Figure 34 : Evolution souhaitée (en vert) du poste de répartition actuel (en noir)

4.3.3 Modélisation

Cette phase permet de transformer des problèmes de conception en contradictions. En effet, lors de la transition d'une 1^{ère} génération à une 2^{ème}, les améliorations du produit s'accompagnent d'effets indésirables (ou effets contingents). Ce sont ces effets indésirables qui nécessitent une transition vers la 3^{ème} génération du produit. Les changements innovants portent principalement sur le dispositif de mesure.

Dans la 1^{ère} génération il s'agissait d'une règle inox métrologiée et dans la 2^{ème} génération, il s'agissait d'une balance au sol métrologiée. L'analyse de ces changements sur les effets indésirables est disponible dans les Tableau 9 et Tableau 10. Etant donné que le montage n'a pas changé entre la 1^{ère} et 2^{ème} génération, aucune analyse en ce sens n'est possible. L'analyse porte donc sur l'évolution d'un sous-système du poste de répartition, à savoir la balance. Une fois les problèmes analysés, il est nécessaire de les transformer en contradictions.

Tableau 9 : Analyse de l'impact des changements innovants entre les 2 générations pour la règle et le plateau de mesure de la balance

NA : Non Applicable

Plateau de la balance	Changements innovants					
	Support plat inox large	Fixe	Au sol	Electronique	La bulle	Les pieds
Elimination d'une fonctionnalité	L'homme qui réalise plus la mesure (précision augmentée)	NA	NA	NA	Niveau à bulle	Le sol doit être parfaitement plat pour faire la mesure
Ajout d'une ou des fonctionnalité (s)	La taille du plateau permet de supporter même le flacon le plus volumineux.	Stabilisation de la mesure	Ne nécessite pas l'achat d'une paillasse (coût + encombrement diminués)	Précision de mesure	Vérification de l'horizontalité du plateau avant mesure	Réglage de l'inclinaison du plateau de mesure
Affectant une fonctionnalité existante	La tare de l'ensemble du montage n'est pas possible car le plateau n'est pas assez large pour accueillir tous les flacons (temps d'activité augmenté)	NA	Difficulté de lire la valeur sur l'afficheur car il faut s'abaisser pour clamer et arrêter la répartition.	NA	NA	NA
Affectant la qualité existante	Fragilité accrue	NA	Prend la poussière, les chutes de liquide plus rapidement (durée de vie diminuée)	Composants électroniques fragiles, sensibles à la chaleur, à l'humidité, à la poussière, aux chocs...	NA	NA
Affectant la performance actuelle	Nettoyer la balance après utilisation Faire une carte de contrôle 1 fois/jour	Nettoyabilité du sol diminué	Nécessité de se baisser/lever pour retirer les flacons après introduction Port de charges lourdes vers l'espace de stockage (fatigue)	Temps de mesure augmenté (fonction de la précision et de la portée de la balance)	NA	Temps nécessaire pour régler la bulle
Affectant le cycle de vie	Plus compliqué à utiliser qu'une règle	NA	NA	Métrologie annuelle * Qualification nécessaire*	NA	Plus compliqué à utiliser qu'une règle

* : Un instrument de mesure intervenant un moment donné au cours du procédé de fabrication nécessite systématiquement une métrologie et une qualification pour être implémenté en production. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de les prendre en compte dans l'analyse qui suit car la réglementation rend obligatoire la maîtrise des moyens de mesure (Contradiction administrative).

Tableau 10 : Analyse des changements innovants pour l'afficheur de la balance au sol

NA : Non Applicable

Afficheur de la balance	Changements innovants	
	Numérique	Amovible
Elimination d'une fonctionnalité	Interprétation de la mesure, par l'homme, de la graduation puis du calcul pour traduire la graduation en volumes. Elimination de l'utilisation du papier, de stylos	Se baisser/relever pour lire la valeur
Ajout d'une fonctionnalité	Affichage numérique de la masse introduite	L'afficheur peut se déplacer dans l'espace et être mis à hauteur d'homme
Affectant la qualité existante	Plus facile à casser et peut se dérégler	Les câbles peuvent se dénuder, se couper
Affectant la performance actuelle	NA	NA
Affectant le cycle de vie	Plus difficile à utiliser. Une formation des opérateurs est nécessaire.	NA

Le Tableau 11, le Tableau 12 et le Tableau 13 synthétisent toutes les contradictions pour la balance et l'afficheur.

Tableau 11 : Formulation des changements innovants en contradictions partie 1

NA : Non Applicable

Le plateau		Changements innovants		
Le plateau inox large		Fixe		Au sol
Affectant une contradiction existante	La règle devrait être simple pour sa facilité d'utilisation, et complexe pour ne pas que l'opérateur se baisse pour mesurer le volume	NA	Le plateau devrait être fixe pour stabiliser la mesure et mobile pour diminuer l'encombrement	Le plateau devrait être au sol pour ne pas encombrer l'espace et à hauteur d'homme pour ne pas prendre la poussière
	Le plateau devrait être large pour réaliser une mesure, et compact comme une règle pour ne pas encombrer		Le plateau devrait être fixe pour mesurer et mobile pour un nettoyage du sol facilité	Le plateau devrait être au sol pour ne pas encombrer, et à hauteur d'homme pour éviter à l'opérateur de se baisser régulièrement
	Le plateau devrait être large pour réaliser la mesure, et compact comme une règle pour être facilement nettoyé	NA		Le plateau devrait être au sol pour ne pas encombrer, et à hauteur d'homme pour ne pas porter des charges lourdes après remplissage de chaque flacon
	Le plateau devrait être large pour réaliser la mesure, et compact comme une règle pour une utilisation facile	NA		NA
Création de nouvelles contradictions	Le plateau devrait être large pour réaliser la mesure et compact pour être facilement mis en service et mis au rebut en fin d'utilisation	NA		NA

Remarque : Les cases vertes correspondent aux choix d'évolutions retenus (voir §4.3.2).

Tableau 12 : Formulation des changements innovants du plateau de mesure en contradictions partie 2
 NA : Non Applicable

Le plateau	Changements innovants		
	Electronique	La bulle	Pieds réglables
Affectant une contradiction existante	La règle devrait être complexe pour ne pas interpréter la mesure, et simple pour sa facilité d'utilisation La règle devrait être complexe pour réaliser une mesure précise, et simple pour sa facilité d'utilisation	La règle devrait être complexe pour prendre en compte l'inclinaison du sol sans nécessiter d'autres instruments, et simple pour sa facilité d'utilisation	NA
Création de nouvelles contradictions	Le plateau devrait être électronique pour augmenter la précision de mesure et mécanique pour être plus résistant	NA	Le réglage des pieds devrait être complexe pour réaliser un réglage fin, et simple pour ne pas nécessiter une durée de réglage trop importante
	Le plateau devrait être électronique pour augmenter la précision de mesure, et mécanique pour ne pas attendre 30 min de temps de chauffe après branchement	NA	Le réglage des pieds devrait être complexe pour réaliser un réglage fin, et simple pour une facilité d'utilisation
	Le plateau devrait être électronique pour augmenter la précision de mesure et mécanique pour une mesure plus rapide	NA	NA

Remarque : Les cases vertes correspondent aux choix d'évolutions retenus (voir §4.3.2)

Tableau 13 : Formulation des changements innovants en contradictions pour l'afficheur
 NA : Non Applicable

Afficheur	Changements innovants	
	Numérique	Amovible
Affectant une contradiction existante	La règle devrait être complexe pour ne pas interpréter la mesure, et simple pour sa facilité d'utilisation La règle devrait être complexe pour réaliser une mesure précise, et simple pour sa facilité d'utilisation	NA
Création de nouvelles contradictions	L'afficheur devrait être numérique pour éviter les biais de mesure par l'homme et mécanique pour être plus résistant	L'afficheur devrait être amovible pour améliorer l'ergonomie de lecture et compact pour diminuer l'encombrement
	L'afficheur devrait être numérique pour éviter les biais de mesure par l'homme et mécanique pour une utilisation simplifiée	L'afficheur devrait être amovible pour améliorer l'ergonomie de lecture, et compact pour ne pas entraîner une détérioration prématurée des câbles de connexion

Remarque : Les cases vertes correspondent aux choix d'évolutions retenus (voir §4.3.2).

4.3.4 Modélisation de problèmes

Sur la base des contradictions établies dans le Paragraphe 4.3.3, il est nécessaire, en vue d'utiliser la matrice, de transformer ces contradictions en paramètres génériques interprétables par la matrice. Au préalable, pour éviter l'inertie psychologique (IP), les termes véhiculant des solutions doivent être remplacés par des termes génériques. En effet, l'objectif est de trouver des solutions créatives qui sortent du cadre des solutions évidentes. Ainsi, le terme "plateau" sera remplacé par le terme "objet", le terme "balance" par "dispositif de mesure".

Le Tableau 14 reprend les contradictions retenues sans IP, et propose une interprétation des paramètres sous-jacents en paramètres d'évaluation (PE). En bleu sont représentés les paramètres d'action (PA). Par exemple, dans la contradiction suivante : "L'objet devrait être fixe pour réaliser une mesure stable et mobile pour un nettoyage du sol facilité", il y a 2 PA (en bleu) et 2 PE (en rouge).

Tableau 14 : Modélisation de Problèmes

IP : Inertie Psychologique ; PE : Paramètre d'évaluation ; PG : Principe générique

Contradictions retenues (sans IP)	Paramètres d'évaluation (PE)	Paramètres génériques traduits de la matrice (PG)
L'objet devrait être large pour réaliser une mesure de tous les flacons en une fois, et compact comme une règle pour ne pas encombrer	PE1 : vitesse de mesure	PG 25. Perte de temps
	PE2 : encombrement	PG 8. Volume d'un objet immobile
L'objet devrait être fixe pour réaliser une mesure stable et mobile pour un nettoyage du sol facilité	PE1 : stabilité de la mesure	PG 28. Précision de mesure
	PE2 : nettoyabilité du sol	PG 33. Facilité d'opération, d'usage
L'objet devrait être au sol pour ne pas encombrer, et à hauteur d'homme pour ne pas se baisser/relever pour changer de flacons à répartir	PE1 : encombrement	PG 8. Volume d'un objet immobile
	PE2 : port de charges lourdes	PG 2. Poids d'un objet fixe
L'objet devrait être électronique pour augmenter la précision de mesure, et mécanique pour une mesure plus rapide	PE1 : précision	PG 28. Précision de mesure
	PE2 : vitesse de mesure	PG 25. Perte de temps
L'afficheur devrait être numérique pour éviter les biais de mesure par l'homme, et analogique pour une utilisation simplifiée	PE1 : biais de mesure	PG 24. Perte d'informations
	PE2 : utilisation simplifiée	PG 33. Facilité d'opération, d'usage
L'afficheur devrait être amovible pour améliorer l'ergonomie de lecture, et compact pour diminuer l'encombrement	PE1 : ergonomie de lecture	PG 33. Facilité d'opération, d'usage (PG 35. Adaptabilité) (PG 36. Complexité de l'objet) par le PG 35 <i>aucun principe suggéré</i> *
	PE2 : encombrement	PG 7. Volume d'un objet mobile

* : Le paramètre 35 contre le paramètre 7 ne suggère aucun paramètre dans la matrice des contradictions.

4.3.5 Transition vers le modèle de solution

L'application des paramètres génériques donne les principes de solution (Tableau 15). Les principes retenus sont surlignés en verts dans le tableau. Ce sont ceux qui peuvent donner des solutions. Certains principes sont redondants. S'ils concernent le même objet alors ils ne sont pris en compte qu'une fois dans l'interprétation. S'ils concernent des objets différents, il est nécessaire d'appliquer le même principe pour chaque objet.

4.3.6 Modélisation de solution

Le modèle de solution aboutit à la sélection parmi les principes retenus aux sous-principes permettant une interprétation en solutions (Tableau 15).

Tableau 15 : Principes obtenus après application de la matrice des contradictions (Partie 1)

IP : Inertie Psychologique ; PD : Principe déterminé ; PG : Principe générique

Contradictions identifiées sans IP	Paramètres génériques (PG)	Principes retenus pour l'interprétation (en vert) parmi les principes déterminés (PD)
L'objet devrait être large pour réaliser une mesure de tous les flacons en une fois, et compact comme une règle pour ne pas encombrer	PG 25. Perte de temps	PD 16. Action partielle ou excessive PD 18. Vibrations ou Oscillations mécaniques PD 32. Changement de couleur ou transparence PD 35. Modification Paramètres
	PG 8. Volume d'un objet immobile	
L'objet devrait être fixe pour réaliser une mesure stable et mobile pour un nettoyage du sol facilité	PG 28. Précision de mesure	PD 1. Segmentation PD 13. Inversion PD 17. Autre Dimension-Changement de Dimension PD 34. Rejet et Régénération- Elimination et Réintégration
	PG 33. Facilité d'opération, d'usage	
L'objet devrait être au sol pour ne pas encombrer, et à hauteur d'homme pour ne pas se baisser/relever pour changer de flacons à répartir	PG 8. Volume d'un objet immobile	PD 10. Action préliminaire PD 14. Sphéricité/ Courbe/ Arrondi/ Cerclage PD 19. Périodicité-Action Périodique PD 35. Modification Paramètres
	PG 2. Poids d'un objet fixe	

Tableau 8 : Principes obtenus après application de la matrice des contradictions (Partie 2)

IP : Inertie Psychologique ; PD : Principe déterminé ; PG : Principe générique

Contradictions identifiées sans IP	Paramètres génériques (PG)	Principes retenus pour l'interprétation (en vert) parmi les principes déterminés (PD)
L'objet devrait être électronique pour augmenter la précision de mesure, et mécanique pour une mesure plus rapide	PG 28. Précision de mesure	PD 24. Intermédiaire-Méiateur PD 28. Substitution mécanique PD 32. Changement de couleur ou transparence
	PG 25. Perte de temps	PD 34. Rejet et Régénération- Elimination et Réintégration
L'afficheur devrait être numérique pour éviter les biais de mesure par l'homme, et analogique pour une utilisation simplifiée	PG 24. Perte d'informations	PD 22. Conversion Négatif en Positif, Désavantage en Avantage
	PG 33. Facilité d'opération, d'usage	PD 27. Accessoire(s) Bon Marché ou à Durée Ephémère
L'afficheur devrait être amovible pour améliorer l'ergonomie de lecture, et compact pour diminuer l'encombrement	PG 33. Facilité d'opération, d'usage (PG 35. Adaptabilité) (PG 36. Complexité de l'objet) par le PG 35 <i>aucun principe suggéré</i>	(Via les paramètres 33 contre 7) PD 1. Segmentation PD 15. Dynamisation-Optimisation PD 16. Action partielle ou Excessive PD 35. Modification de paramètres
	PG 7. Volume d'un objet mobile	(Via les paramètres 36 contre 7) PD 15. Dynamisation/Optimisation PD 6. Universalité

Tableau 16 : Sous-principes retenus partie 1 (Modèle de Solution)

PG : Paramètre générique ; SP : sous-principe

Paramètres génériques traduits sur l'objet	Sous-principes retenus pour l'interprétation en solutions
PG 25. Perte de temps	<p>SP 16. Action partielle ou excessive</p> <ul style="list-style-type: none"> - S'il n'est pas possible d'obtenir ou d'atteindre 100% de l'effet désiré, reformuler le problème en se demandant ce qu'il faut réduire ou augmenter pour obtenir l'effet recherché.
PG 8. Volume d'un objet immobile	<p>SP 18. Vibrations ou Oscillations mécaniques</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utiliser ou augmenter les fréquences ultra-sons - Faire vibrer ou osciller l'objet ou une partie de l'objet <p>SP 32. Changement de couleur ou transparence</p> <ul style="list-style-type: none"> - Changer la couleur d'un objet, d'une de ses parties ou de son environnement <p>SP 35. Modification Paramètres</p>
PG 28. Précision de mesure	<p>SP 1. Segmentation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Diviser l'objet en parties indépendantes ou (re)liées - Diviser l'objet afin de rendre le (dé) montage facile et rapide
PG 33. Facilité d'opération, d'usage	<p>SP 13. Inversion</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rendre mobile ce qui est fixe et fixe ce qui est mobile - Remplacer les parties non-dynamiques (statiques) par d'autres dynamiques <p>SP 17. Autre Dimension-Changement de Dimension</p> <ul style="list-style-type: none"> - Modifier l'emplacement ou le mouvement de 1 à 2 dimensions ou de 2 à 3 dimensions - Utiliser une composition une composition à niveaux multiples <p>SP 34. Rejet et Régénération- Elimination et Réintégration</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quand la fonction est accomplie ou n'est plus nécessaire, exclure ou modifier l'élément au cours du processus (Ex : via évaporation, dissolution...) - Si, après son opération, une partie du système provoque un effet négatif, l'éliminer ou la modifier afin d'éviter l'effet négatif

Tableau 17 : Sous-principes retenus partie 2 (Modèle de Solution)

PG : Paramètre générique ; SP : sous-principe

Paramètres génériques traduits sur l'objet	Sous-principes retenus pour l'interprétation en solutions
PG 8. Volume d'un objet immobile	<p>SP 10. Action préliminaire</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si un objet doit être modifié (montage-démontage-transformation...) et que la modification est problématique, appliquer anticipativement un changement partiel ou complet.
PG 2. Poids d'un objet fixe	<p>SP 14. Sphéricité/ Courbe/ Arrondi/ Cerclage</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utiliser des rouleaux, balles, billes, spirales, dômes... - Passer des mouvements rectilignes à des mouvements rotatifs <p>SP 19. Périodicité-Action Périodique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Envisager d'autres actions susceptibles de se produire au cours des pauses <p>SP 35. Modification Paramètres</p>

Tableau 18 : Sous-principes retenus partie 3 (Modèle de Solution)

PG : Paramètre générique ; P : Principe

Paramètres génériques traduits sur l'objet	Principes retenus pour l'interprétation (en vert) parmi les principes déterminés
PG 28. Précision de mesure	<p>P 24. Intermédiaire-Médiateur</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utiliser un intermédiaire (objet ou processus pour accomplir l'action souhaitée ou éliminer l'action ou les effets indésirables. <p>P 28. Substitution mécanique</p> <ul style="list-style-type: none"> - Remplacer un système mécanique par un système optique, acoustique, thermique ou olfactif. <p>P 32. Changement de couleur ou transparence</p> <ul style="list-style-type: none"> - Changer la couleur d'un objet, d'une de ses parties ou de son environnement <p>P 34. Rejet et Régénération- Elimination et Réintégration</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quand la fonction est accomplie ou n'est plus nécessaire, exclure ou modifier l'élément au cours du processus (Ex : via évaporation, dissolution...) - Si, après son opération, une partie du système provoque un effet négatif, l'éliminer ou la modifier afin d'éviter l'effet négatif
PG 24. Perte d'informations (afficheur)	<p>P 22. Conversion Négatif en Positif, Désavantage en Avantage</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utiliser les facteurs négatifs (en particulier de l'environnement) pour obtenir un effet positif. <p>P 27. Accessoire(s) Bon Marché ou à Durée Ephémère</p>
PG 33. Facilité d'opération, d'usage (afficheur)	
PG 7. Volume d'un objet mobile (afficheur)	

Tableau 19 : Sous-principes retenus partie 4 (Modèle de Solution)

PG : Paramètre Générique ; P : Principe

Paramètres génériques traduits sur l'objet	Principes retenus pour l'interprétation (en vert) parmi les principes déterminés
PG 33. Facilité d'opération, d'usage (PG 35. Adaptabilité) (PG 36. Complexité de l'objet) par le paramètre 35 <i>aucun principe suggéré (afficheur)</i>	(Via les paramètres 33 contre 7) P 1. Segmentation <ul style="list-style-type: none"> - Diviser l'objet en parties indépendantes ou (re)liées - Diviser l'objet afin de rendre le (dé) montage facile et rapide P 15. Dynamisation-Optimisation <ul style="list-style-type: none"> - Si un objet est immobile ou rigide, le rendre mobile, souple ou interchangeable - Diviser l'objet en éléments capables de changer de positions relatives (par rapport aux autres éléments). - Augmenter le degré de déplacement ou de mobilité ou de dynamique P 16. Action partielle ou Excessive <ul style="list-style-type: none"> - S'il n'est pas possible d'obtenir ou d'atteindre 100% de l'effet désiré, reformuler le problème en se demandant ce qu'il faut réduire ou augmenter pour obtenir l'effet recherché.
PG 7. Volume d'un objet mobile (afficheur)	P 35. Modification de paramètres <ul style="list-style-type: none"> - (Via les paramètres 36 contre 7) P 6. Universalité <ul style="list-style-type: none"> - (Via les paramètres 36 contre 7) P 6. Universalité <ul style="list-style-type: none"> - Assigner plusieurs fonctions (différentes) à un même objet - Eliminer le recours à d'autres parties ou objets P 26. Utilisation de copies (s) ou de modèle(s) P 34. Rejet et Régénération; Elimination et Réintégration.

4.3.7 Interprétation des Modèles de solutions en solutions

Cette phase est critique. Certains outils de déblocage psychologiques (Ex : opérateurs DTC, hommes miniatures...) peuvent être utiles. Ci-dessous est explicitée l'interprétation de tous les sous-principes, associé à un schéma de conception résumant brièvement les solutions (Figure 5).

Interprétation des sous-principes sur l'objet :

- Sous-principe 16. Action partielle ou excessive : *S'il n'est pas possible d'obtenir ou d'atteindre 100% de l'effet désiré, reformuler le problème en se demandant ce qu'il faut réduire ou augmenter pour obtenir l'effet recherché.*
 - Interprétation 1 : Il faut réduire l'encombrement pour réaliser la mesure d'un paramètre physique.
 - Interprétation 2 : Des flacons sont tous remplis à ras bord. L'excédent est évacué par arasage.
 - Interprétation 3 : Les flacons sont dimensionnés pour ne recevoir qu'un seul format de volume. On peut donc les remplir au maximum sans se soucier du volume. (Ici il faut admettre qu'il n'est pas possible de modifier les flacons).

- Sous-principe 18. Vibrations ou Oscillations mécaniques : Utiliser ou augmenter les fréquences ultra-sons
 - Interprétation 1 : Le système de mesure peut utiliser des ultra-sons pour mesurer le paramètre physique souhaité (utilisation d'un débit-mètre ultrasonique par exemple).
 - Interprétation 2 : Le système peut fonctionner par l'émission d'oscillations mécaniques comme à l'aide d'une pompe péristaltique doseuse.

- Sous-principe 32. Changement de couleur ou transparence : Changer la couleur d'un objet, d'une de ses parties ou de son environnement
 - Interprétation 1 : Les flacons utilisés sont tous transparents
 - Interprétation 2 : Les traits de jauge sur les flacons sont colorés pour être visibles de loin et faciliter le remplissage de ces derniers.

- Sous-principe 1. Segmentation :
 - Diviser l'objet en parties indépendantes ou (re)liées
 - Diviser l'objet afin de rendre le (dé) montage facile et rapide
 - Interprétation 1 : Les flacons ne reposent plus au sol mais sur un support surélevé à hauteur d'homme.
 - Interprétation 2 : Le support surélevé est indépendant de l'afficheur et de l'objet de mesure. Ainsi, il peut être retiré à la fin de l'opération de remplissage pour ne pas encombrer. L'utilisation d'un chariot est ici possible.
 - Interprétation 3 : Pour stabiliser la mesure, il est nécessaire de stabiliser les flacons ainsi que les tubulures en disposant d'une potence permettant de fixer tous les

- flacons de différentes tailles. Cette potence à flacons est indépendante du chariot à flacons.
- Interprétation 4 : Les flacons sont tous gradués précisément.
 - Interprétation 5 : Les tubulures sont graduées précisément.
- Sous-principe 13. Inversion
- Rendre mobile ce qui est fixe et fixe ce qui est mobile
 - Remplacer les parties non-dynamiques (statiques) par d'autres dynamiques
 - Interprétation 1 : Le chariot à hauteur d'homme sera mobile ce qui permettra de le retirer facilement à la fin de l'opération.
 - Interprétation 2 : La mesure du paramètre physique "masse" peut être remplacé par la mesure de paramètres dynamiques comme le débit, la pression, pour mesurer indirectement le volume (plus précis que la masse). En effet, la mesure de la masse nécessite de connaître la densité pour obtenir le volume (paramètre réellement souhaité).
- Sous-principe 17. Autre Dimension-Changement de Dimension
- Modifier l'emplacement ou le mouvement de 1 à 2 dimensions ou de 2 à 3 dimensions
 - Utiliser une composition à niveaux multiples
 - Interprétation : La potence à flacons pourrait permettre de disposer les flacons les uns par rapport aux autres (via un axe horizontal) et de déplacer les petits flacons vers le haut pour faciliter leur remplissage et ne pas s'abaisser (via un axe vertical).
- Sous-principe 34. Rejet et Régénération- Elimination et Réintégration
- Quand la fonction est accomplie ou n'est plus nécessaire, exclure ou modifier l'élément au cours du processus (Ex : via évaporation, dissolution...)
 - Si, après son opération, une partie du système provoque un effet négatif, l'éliminer ou la modifier afin d'éviter l'effet négatif
 - Interprétation 1 : La potence à flacons nécessaire pour réaliser cette opération peut être utilisé pour d'autres montages nécessitant d'être stabilisés dans d'autres procédés.
 - Interprétation 2 : Le chariot à hauteur d'homme sur lequel repose les flacons, pourrait être utilisé pour d'autres activités nécessitant un support solide : port de charges, transport de matériels...
 - Interprétation 3 : Le dispositif de mesure à ultra-sons pourrait être utilisé ailleurs
 - pour des activités nécessitant une mesure du débit/volume/pression. Pour ce faire, il est nécessaire que le dispositif soit non intrusif pour une plus grande flexibilité.
- Sous-principe 10. Action préliminaire : Si un objet doit être modifié (montage-démontage-transformation...) et que la modification est problématique, appliquer anticipativement un changement partiel ou complet.
- Interprétation : Avant le démarrage de l'opération de remplissage des flacons, on disposera le chariot mobile et la potence. Les flacons et les tubulures seront fixés à la potence pour les stabiliser, ainsi que le dispositif de mesure et l'afficheur.

- Sous-principe 14. Sphéricité/ Courbe/ Arrondi/ Cerclage
 - o Utiliser des rouleaux, balles, billes, spirales, dômes...
 - o Passer des mouvements rectilignes à des mouvements rotatifs
 - Interprétation 1 : La potence permettra des mouvements rotatifs et ainsi de déplacer les flacons autour d'un axe vertical.
 - Interprétation 2 : Le chariot à flacons comportera des rouleaux sur sa face supérieure de façon à déplacer plus facilement les gros flacons sans trop d'efforts les uns par rapport aux autres. Lorsque les gros flacons seront déplacés, seuls les flacons se déplaceront et non le chariot tout entier (ce qui serait le cas si l'on n'avait pas de rouleaux).

- Sous-principe 19. Périodicité-Action Périodique : Envisager d'autres actions susceptibles de se produire au cours des pauses
 - Interprétation : Le dispositif de mesure comportera une batterie interne rechargeable. Ainsi, l'opérateur ne sera pas contraint de réaliser l'opération de remplissage ou tout autre opération, à proximité d'une alimentation de courant.

- Sous-principe 24. Intermédiaire-Médiateur : Utiliser un intermédiaire (objet ou processus pour accomplir l'action souhaitée ou éliminer l'action ou les effets indésirables.
 - Interprétation : S'il n'est pas possible de trouver des flacons à volume connus, utiliser un contenant gradué intermédiaire (à utiliser pour l'intermédiaire).

- Sous-principe 28. Substitution mécanique
 - Interprétation 1 : Remplacer un système mécanique par un système optique, acoustique, thermique ou olfactif.
 - Interprétation 2 : Utilisation d'un système acoustique pour mesurer des paramètres autres que la masse, tels que le débit, le volume, la pression... L'afficheur affichera les paramètres souhaités de façon numérique

Interprétation des sous-principes sur l'afficheur

- Sous-principe 22. Conversion Négatif en Positif, Désavantage en Avantage
 - Interprétation 1 : Utiliser les facteurs négatifs (en particulier de l'environnement) pour obtenir un effet positif.
 - Interprétation 2 : Un afficheur très performant nécessiterait une formation poussée des opérateurs avec un risque d'erreurs.
 - Interprétation 3 : Si l'afficheur peut être couplée à un système informatisé pilote, il est possible d'afficher les consignes d'utilisation de l'appareil directement via le système informatisé pilote (via le port USB).

- Sous-principe 1. Segmentation
 - o Diviser l'objet en parties indépendantes ou (re)liées
 - o Diviser l'objet afin de rendre le (dé) montage facile et rapide

- Interprétation : Afficheur relié au système de mesure et compact.
- Sous-principe 15. Dynamisation-Optimisation
 - Si un objet est immobile ou rigide, le rendre mobile, souple ou interchangeable
 - Diviser l'objet en éléments capables de changer de position relative ou pas (par rapport aux autres éléments).
 - Augmenter le degré de déplacement ou de mobilité ou de dynamique.
 - Interprétation : L'afficheur doit être amovible. Ce qui permettra aux opérateurs travaillant différemment, de le déplacer avec aisance. Par exemple, vers la gauche pour les gauchers, vers la droite pour les droitiers, vers le haut pour les grands...
 - Sous-principe 6. Universalité
 - Assigner plusieurs fonctions (différentes) à un même objet
 - Eliminer le recours à d'autres parties ou objets
 - Interprétation 1 : L'afficheur doit permettre d'afficher plusieurs paramètres : débit, volume, pression, température...
 - Interprétation 2 : L'afficheur devrait disposer d'un port USB permettant de transférer les données à un système informatisé pilote. Ceci permettra à l'opérateur de ne pas saisir manuellement les données dans l'ordinateur.

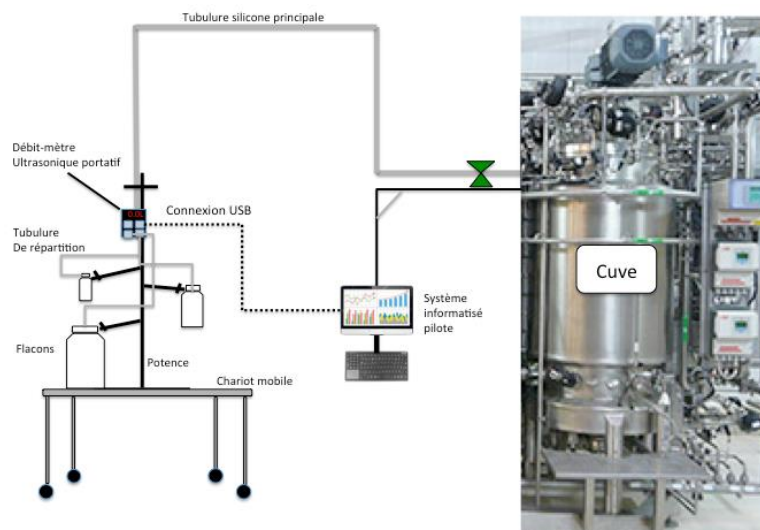


Figure 35 : Reconception du poste de répartition fluide en flacons avec TRIZ

4.3.8 Finalisation

La situation future (ce vers quoi l'on s'oriente) est maintenant connue. Il est alors possible de créer le CC. Une réunion avec tous les experts est alors réalisée. C'est au responsable de ce changement (producteur) d'établir la liste d'experts. Pour ce changement, les experts pourraient être des domaines suivants :

- Affaires réglementaires
- Hygiène/Sécurité & Environnement
- Qualité
- Validation & Qualification
- Production
- Maintenance
- Métrologie

Suite à cette réunion, les experts déterminent les livrables à réaliser afin que le projet se concrétise. Une fois le projet réalisé, l'autorisation de son implémentation en production est donnée par la Qualité opérationnelle.

4.4 Processus anomalie

Une anomalie est un événement inattendu en écart par rapport à des exigences réglementaires des agences réglementaires et/ou de l'entreprise pouvant potentiellement impacter la qualité, la sécurité et l'efficacité du médicament. Des actions correctives et préventives (CAPA) sont nécessaires pour corriger un événement indésirable et prévenir une répétition de celui-ci. L'anomalie peut avoir une ou plusieurs causes. Une investigation doit avoir lieu pour déterminer la ou les causes de cette anomalie.

4.4.1 Définition selon les textes réglementaires

Selon les BPF (2017) partie I, les anomalies sont intégrées dans le système qualité de l'entreprise. Ce système qualité nécessite notamment la recherche de causes et la mise en place d'actions correctives et préventives : "Un système qualité pharmaceutique approprié pour la fabrication de médicament doit garantir que : [...] les résultats de la surveillance des produits et des procédés sont pris en considération pour la libération des lots, dans l'investigation des déviations, et en vue de mettre en place des actions préventives pour éviter de potentielles déviations dans le futur; [...] Toutes les déviations significatives sont enregistrées de façon détaillées et examinées, dans le but d'en déterminer la cause et de mettre en œuvre des actions correctives et préventives appropriées".

Dans l'annexe 16 "Certification par une personne qualifiée et libération des lots", une déviation peut entraîner une conformité ou non d'un lot même si une déviation a eu lieu : "Une personne qualifiée peut envisager de confirmer la conformité ou de certifier un lot lorsqu'une déviation inattendue relative au procédé de fabrication et/ou aux méthodes de contrôle analytique par rapport aux items contenues dans l'AMM et/ou dans les BPF est survenue. La déviation doit faire l'objet d'une enquête approfondie et la cause principale doit être corrigée. [...] Le processus de gestion du risque qualité doit inclure les étapes suivantes : "L'évaluation de l'incidence potentielle de la déviation sur la qualité, la sécurité ou l'efficacité du ou des lots concernés et la conclusion que l'impact est négligeable [...]"

L'ensemble du processus de fabrication fait l'objet d'instructions détaillées qui doivent être suivies. Le contrôle qualité fait partie intégrante de ce processus. Dans le 21CFR sous-partie F *Production and Process Controls* § 211.100 *Written procedure; deviations*, " des procédures doivent décrire les contrôles de production et des processus conçus pour garantir que les produits pharmaceutiques ont l'identité, la dose, la qualité et la pureté qu'ils sont censés avoir ou qu'ils prétendent posséder. [...] Les procédures écrites de contrôle de production et de processus doivent être suivies dans l'exécution des diverses fonctions de contrôle de production et de processus et doivent être documentées au moment de l'exécution. Tout écart par rapport aux procédures écrites doit être enregistré et justifié."(FDA, 2019)

Une anomalie donne lieu à une ou plusieurs CAPA. La réciproque est fautive. En effet, le système de CAPA n'est pas toujours précédé d'une anomalie selon l'ICH Q7 §3.2.2 "L'entreprise pharmaceutique doit avoir un système pour implémenter des actions correctives

et préventives résultant d'une investigation des plaintes, des lots refusés, des non-conformités, des rappels de produits, des déviations, d'audits, d'inspections réglementaires, et réaliser des tendances de performance de procédés de contrôle de la qualité produit."

Le système CAPA est en lien avec l'amélioration continue (Ex : Roue de Deming) : " La méthodologie CAPA doit aboutir à des améliorations des procédés et produits, et par conséquent à des améliorations dans la compréhension de ces derniers".

4.5 Etat de l'art des outils principaux pour la recherche de la cause racine

4.5.1 Les 5 "pourquoi ?"

Réalisée généralement avec une équipe d'experts, la méthode des 5 "pourquoi" consiste à poser une série de "pourquoi ?", séparée par une série de réponses pour identifier la cause racine. Plusieurs réponses obtenues peuvent être des causes, mais il faut identifier la cause systémique du problème. Une fois la cause systémique du problème trouvée, des actions correctives sont entreprises pour éliminer la cause racine du système. (Serrat, 2017)

4.5.2 Diagramme cause Ishikawa ou méthode des 5M

La méthode se base sur une représentation graphique, dite en "arrête de poisson", permettant de représenter l'ensemble des causes possibles de la défaillance (ou l'effet constaté). Ces causes sont catégorisées en 5 à 9 familles : Main d'œuvre, Matière, Matériel, Méthodes, Milieu (Management...) (Vedel, 2012)

4.6 Méthode RCA+ : *Root Conflict Analysis*

Le diagramme RCA+ a été développé sur la base de la théorie des contradictions de TRIZ. Le symbole "+" permet de le distinguer de la méthode traditionnelle RCA *Root Cause Analysis* (Ishikawa). Dans un problème inventif (qui requiert une analyse plus poussée du problème), une même cause peut entraîner un effet négatif et positif. TRIZ appelle ça une contradiction. Les outils de TRIZ permettent de trouver des solutions aux contradictions. Il est nécessaire de formuler proprement les problèmes pour faire apparaître les contradictions et ensuite les résoudre (Souchkov, 2005).

Le diagramme RCA+ est une représentation sous-forme d'arbre avec des nœuds représentant les effets/causes. Son objectif est de déterminer toutes les causes évidentes ou cachées du problème. Ces causes peuvent être liées entre elles ou indépendantes. Une des différences entre la méthode RCA+ et les autres méthodes, réside dans la question à poser pour changer d'étape dans l'investigation. La question systématiquement posée n'est pas "pourquoi ?" mais "Quelle est la cause ?". Le "pourquoi ?" peut indiquer une cause et un objectif. Par exemple, à la question "Pourquoi une personne va au supermarché ?", la réponse intuitive est "Pour acheter de la nourriture". Cette réponse n'est pas une cause. La cause est "Parce que la personne n'a plus de nourriture chez elle". L'autre différence fondamentale, est la formulation de la réponse. Celle-ci doit contenir par exemple la caractéristique précise d'un objet entraînant l'effet négatif ou un effet insuffisant.

La cause est exprimée sous-forme de phrase qui comporte soit :

- La condition d'un paramètre du système ou composant amenant à un effet négatif.
 - Par exemple "La température est trop haute", "La vitesse est trop basse".
- L'action qui mène à l'effet négatif.
 - Par exemple "L'eau refroidie", "La voiture avance".
- Le changement radical du système ou d'un de ses composants menant à l'effet négatif.
 - Par exemple "La glace fond", "Le courant s'est éteint".
- Une cause qui contribue à la fois à un effet positif et négatif, c'est-à-dire une contradiction. A chaque étape, il est nécessaire de se demander s'il n'y a pas d'effet positif pour en déterminer les contradictions, puisque celles-ci sont les cibles de la résolution du problème principal.

Sur le diagramme :

- Le signe "-" représente une cause entraînant seulement des effets négatifs.
- Le signe "+" représente une cause entraînant un effet positif.
- Le signe "+-" représente la contradiction entraînant un effet positif et négatif.
- Le signe "--" symbolise une cause ne pouvant pas changer pour résoudre le problème.

L'exploration des causes s'arrête lorsqu'une contradiction a été trouvée ou qu'une cause non contrôlable a été trouvée, c'est-à dire dépendant par exemple de la nature, d'obligations réglementaires, administratives...

4.7 Proposition de la méthode RCA+s

La méthode RCA+ peut être plus efficace en commençant -comme pour la méthode proposée pour les CC- par une AME et la loi d'évolution 1. En effet, la détermination du système et l'analyse des ressources qui s'en suit, permettent de faciliter l'investigation. Batchilo est le premier à proposer de combiner la méthode traditionnelle de la recherche de cause avec l'AME (Batchilo, 2005). La méthode utilisée par la suite est une combinaison entre la méthode RCA+ de Souchkov, avec l'AME proposée par Batchilo et la loi 1 de TRIZ. La méthode sera désormais abrégée RCA+s ("s" pour *screens*).

4.7.1 Exemple d'application de la RCA+s

4.7.1.1 Description de l'anomalie observée

Dans une entreprise pharmaceutique X, une cuve de production permet de produire des volumes d'un composé A. Après sa fabrication, la cuve est nettoyée en place (NEP) puis stérilisée. Dans l'une des canalisations habituellement sèche, un liquide est retrouvé suite au NEP. Ce liquide présente un pH =12 (Figure 36). Une investigation du service maintenance a lieu pour déterminer la cause. Aucune cause n'est retrouvée. Un changement des membranes des vannes V8 et V4 a lieu. Cet événement n'a eu lieu qu'une fois sur une seule cuve, et ne

s'est jamais reproduit ni sur cette cuve ni ailleurs. Une surveillance du boîtier est maintenue jusqu'à la découverte de la cause et de son élimination.

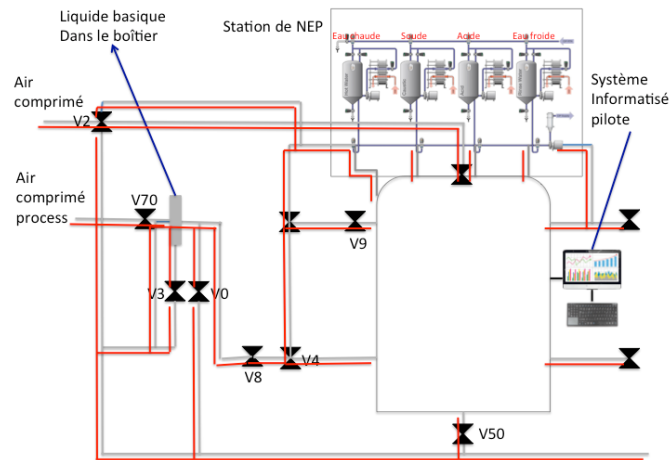


Figure 36 : Représentation de la cuve dans son environnement de production

4.7.1.2 1^{ère} étape de résolution : Loi 1 (intégralité des parties)

La loi 1 n'est pas à appliquer pour le système pris dans son ensemble, mais à **l'endroit où l'effet indésirable est constaté**. Le moteur n'est pas représenté dans la Figure 36. Le système cible est composé d'un :

- Bloc moteur : celui qui transforme l'air liquide en air comprimé.
- Bloc transmission : le réseau en rouge sur la Figure 36, permettant le passage de l'air comprimé pour ouvrir/fermer toutes les vannes.
- Bloc travail : l'ensemble des vannes à membranes.
- Organe de contrôle : le système informatisé pilote qui ordonne l'ouverture/fermeture des vannes est géré par un opérateur formé (Figure 37).

La Figure 37 représente les 4 parties du système permettant l'entrée de gaz dans la partie inférieure de la cuve. Au départ, l'énergie est sous forme d'air liquide. Ce dernier est transformé en air comprimé, qui va se propager par le réseau (en rouge) et permettre d'actionner l'ouverture et/ou la fermeture des vannes automatiques. L'ouverture/fermeture permet de réguler l'air comprimé en contact produit via le réseau (en gris).

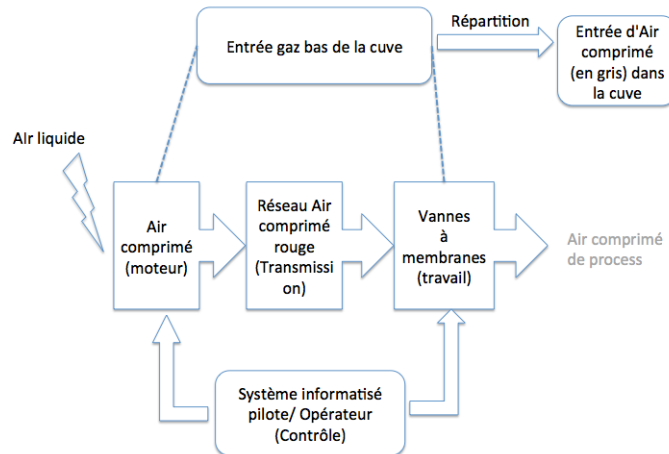


Figure 37 : Représentation de l'entrée de gaz bas dans la cuve selon la loi d'intégralité de parties

4.7.1.3 2^{ème} étape de résolution : l'AME

Avant de commencer l'AME, il est possible de réduire l'analyse et par conséquent l'investigation à mener. A partir des hypothèses données dans le contexte du problème, les premières conclusions peuvent être formulées :

- Aucun problème du côté du réseau d'air comprimé rouge. En effet, le réseau d'air comprimé rouge continue de fonctionner correctement en transmettant l'air comprimé à des centaines de vannes sans problèmes sans défaillances.
- Les membranes de vannes n'étaient pas défectueuses au moment de l'événement.
- Le moteur transformant l'air liquide fonctionne pour d'autres cuves. Aucun dysfonctionnement n'est constaté ailleurs.

Le problème vient nécessairement du système informatisé pilote et/ou de l'opérateur. Cependant, le recueil des faits ce jour-là ne montre aucune pratique inhabituelle de la part des opérateurs. Par ailleurs, l'événement étant isolé, il est très peu probable que le système informatisé ait été défaillant ce jour-là. Il est donc nécessaire d'étudier le fonctionnement normal du système informatisé pilote en observant les ouvertures/fermetures des vannes au cours d'un NEP. L'AME peut alors être établi en considérant comme système le module d'entrée gaz bas, et le bloc vannes comme sous-système. L'axe des temps (en colonnes) est représenté par les différentes phases du NEP (Tableau 13).

Tableau 20 : AME en 11 écrans du système EGB pendant un NEP (en vert les phases activées et les vannes ouvertes)

Phases NEP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Super Système	vidange	vidange	vidange	vidange	vidange	vidange	vidange	vidange	vidange	vidange	vidange
	Rinçage	Rinçage	Rinçage	Rinçage	Rinçage	Rinçage	Rinçage	Rinçage	Rinçage	Rinçage	Rinçage
	soufflage	soufflage	soufflage	soufflage	soufflage	soufflage	soufflage	soufflage	soufflage	soufflage	soufflage
	soude	soude	soude	soude	soude	soude	soude	soude	soude	soude	soude
	Acide	Acide	Acide	Acide	Acide	Acide	Acide	Acide	Acide	Acide	Acide
Système	EGB	EGB	EGB	EGB	EGB	EGB	EGB	EGB	EGB	EGB	EGB
Sous-Système	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V3
	V70	V70	V70	V70	V70	V70	V70	V70	V70	V70	V70
	V4	V4	V4	V4	V4	V4	V4	V4	V4	V4	V4
	V8	V8	V8	V8	V8	V8	V8	V8	V8	V8	V8
	V0	V0	V0	V0	V0	V0	V0	V0	V0	V0	V0

4.7.1.4 3^{ème} étape de résolution : construction du diagramme RCA+

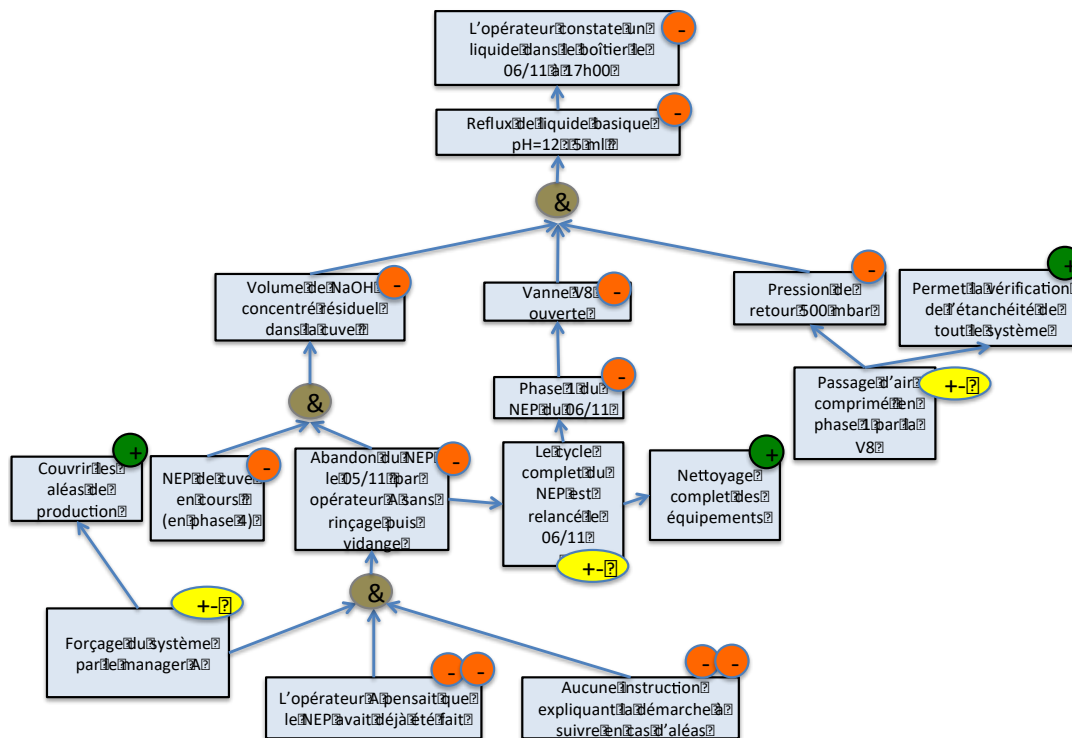


Figure 38 : Diagramme RCA+ de la présence de liquide basique dans le boîtier

Les bulles jaunes indiquent les contradictions, les bulles vertes les effets positifs, et les bulles rouges les effets négatifs. Les double-bulles rouges indiquent des effets négatifs qu'il n'est pas possible de résoudre car liées à des contradictions administratives, réglementaires ou naturelles. Les bulles grises permettent de lier par un "ET" plusieurs conditions pour qu'un événement se produise

Il y a 3 contradictions dans le diagramme. Cependant, 2 contradictions ne peuvent pas être exploitées car elles sont nécessaires dans le fonctionnement normal d'un NEP.

La seule contradiction exploitable est celle-ci : "Le forçage du système permet de couvrir les aléas de production (c'est-à-dire de choisir les opérations à effectuer pour remettre le système en configuration initiale) mais entraînent des abandons d'opérations plus fréquents avec un risque d'erreur plus grand de la part des opérateurs."

- La contradiction opérationnelle : Plus l'opérateur force le système, plus le risque d'erreur est grand.
- La contradiction physique : Le système devrait autoriser le forçage des opérations pour couvrir les aléas de production et interdire le forçage des opérations pour empêcher le risque d'erreur des opérateurs (en oubliant des opérations pouvant être importantes pour remettre le système dans sa configuration normale).
- La contradiction technique : L'amélioration de la couverture des aléas de production, diminue la probabilité de remettre l'équipement en configuration normale.

Dans cette contradiction les 2 paramètres génériques modélisés sont :

- Paramètre 35. Adaptabilité/polyvalence
- Paramètre 34. Facilité de réparation

Les principes générés sont :

- Principe 1. Segmentation
- Principe 4. Asymétrie
- Principe 7. Imbrications/inclusions
- Principe 16. Actions partielles ou excessives

Le principe retenu est le 7 car c'est le seul principe donnant des solutions pertinentes. Les sous-principes retenus sont :

- Augmenter le nombre de processus imbriqués
- Faire en sorte que les processus ou fonctions se manifestent automatiquement quand ils sont nécessaires et s'estompent ou disparaissent quand ils ne sont pas nécessaires

La traduction des sous-principes en solutions peut donner : Configurer le système pour faire des packets de fonctions *aléas de production*. Par exemple un arrêt de NEP par forçage du système doit automatiquement enclencher une vidange/rinçage/vidange. Une maintenance équipement doit déclencher automatiquement le NEP complet.

5 Discussion

5.1 Innovation et industrie pharmaceutique

L'industrie pharmaceutique est comparable à d'autres industries fabriquant tout type de produits. Le produit n'est que l'expression d'une chaîne de valeur orientée vers un objectif économique, environnemental et sociétal. En effet, une industrie pharmaceutique utilise des procédés de fabrication, de la logistique, du marketing, des techniques de ventes, exactement comme n'importe quelle autre industrie. Le médicament comme tout produit, doit répondre aux besoins d'une population cible.

L'innovation porte sur différents aspects de cette chaîne de valeur permettant son amélioration et son optimisation. L'industrie pharmaceutique n'est pas plus innovante qu'une industrie agroalimentaire, pétrolière... Ce n'est pas le budget accordé à la R&D qui conditionne le niveau d'innovation comme expliqué dans la première partie de ce manuscrit. En effet, seules 2 entreprises pharmaceutiques françaises figurent dans le classement des 50 entreprises les plus innovantes de France établi en 2016 par le nombre de brevets déposés : SANOFI et BIOMERIEUX (INPI, 2017).

Dans un contexte de concurrence qui s'intensifie, l'innovation permet de créer des marchés dans lesquels la concurrence est moindre. Le premier levier de concurrence d'une entreprise A par rapport à une entreprise B est le coût de production. Quand les 2 entreprises ont des coûts de production similaires, le levier de la Qualité va permettre une différenciation. La Qualité apparaît à tous les niveaux (Qualité des produits, satisfaction clients, qualité de services et prestations associées avant la vente, après la vente...). Enfin le dernier levier sera celui de l'innovation afin de procurer un avantage concurrentiel véritable et durable. Dans les prochaines années, les entreprises pharmaceutiques qui investiront le plus dans le véritable management de l'innovation (produits, procédés, organisation...) seront, sans doute, celles qui seront les plus performantes dans les prochaines années. Dans le *Pharmaceutical Innovation Index 2019*, Gilead Sciences a été la plus innovante parmi les entreprises pharmaceutiques. En 2018, elle était 2^e après AstraZeneca.

C'est dans ce contexte, que l'implémentation d'une culture de l'innovation et de la créativité au sein d'une entreprise prend une importance considérable pour les entreprises pharmaceutiques. L'implémentation d'un réel management de l'innovation dans l'entreprise pharmaceutique permettra de se différencier sur le marché par rapport aux concurrents directs ou indirects (principalement accès sur l'innovation de produit).

5.2 Apport de TRIZ à l'industrie pharmaceutique

TRIZ est un outil du management de l'innovation. Plus précisément, c'est une méthode reposant sur un savoir et des connaissances. Afin d'exploiter ces connaissances, celles-ci sont généralisées de façon à les extrapoler vers un problème spécifique de l'ingénieur. Grâce à ce principe, TRIZ peut être utilisé dans de nombreux domaines dont le pharmaceutique comme présenté dans la troisième partie. Il est à noter que TRIZ peut s'appliquer pour les domaines

techniques (production, chimie, maintenance...) et non techniques : marketing, ventes, logistiques, management (Ilevbare et al., 2013)... Dans ces derniers cas, il fait l'objet de recherches pour être adapté de façon optimale (Tableau 21). Dans le domaine technique, c'est l'industrie automobile qui utilise le plus TRIZ en tant qu'outil de management de l'innovation (Tableau 22). Dans ce type de domaine, cet outil fait encore l'objet de recherches. C'est le cas pour la synthèse chimique industrielle, où l'équipe de Pokhrel a adapté la matrice de contradictions techniques (Pokhrel et al., 2015).

Tableau 21 : Exemples de champs d'application de TRIZ dans les domaines non-techniques (Zouaoua, 2012)

Domaine	Référence
L'éducation	[Nakawage 1999] et [Zlotin and Zusman 1999d]
L'art	[Voronin 2000] et [Zlotin and Zusman 2001]
L'économie	[Domb 1999], [Skrupskis and Ungvari 2000] et [Souchkov 2010]
La gestion des risques	[Regazzoni and Russo 2010]
La politique	[Fear 1998]
Le design	[Verhaegen, Vandevenne et al. 2010] et [Te-Sheng and Hsing-Hsin 2011]
Le développement durable	[Bersano, Russo et al. 2010], [Zhang and Shang 2010] et [Yang and Chen 2011]
Le textile	[Gao 2011]
la gestion des connaissances	[Cortes Robles, Negny et al. 2005]

Tableau 22 : Champs d'applications industrielles de TRIZ (Borgianni and Matt, 2016)

Industrial field	TRIZ (#)	TRIZ (%)	AD (#)	AD (%)
Vehicles and vehicle's components	19	18.8%	3	4.7%
Chemistry and materials processing	11	10.9%	2	3.1%
Civil engineering	9	8.9%	2	3.1%
Manufacturing tools and systems	8	7.9%	7	10.9%
Energy	7	6.9%	6	9.4%
ICT and virtual environments	7	6.9%	5	7.8%
Mechanical components	7	6.9%	5	7.8%
Hydraulics and Fluid mechanics	7	6.9%	4	6.3%
Electronics and electric components	7	6.9%	3	4.7%
Healthcare	6	5.9%	4	6.3%
Appliances	6	5.9%	0	0.0%
Devices for disabled people	3	3.0%	2	3.1%
Agriculture and forestry	3	3.0%	0	0.0%
Management in industry	2	2.0%	7	10.9%
Robotics and Intelligent Manufacturing	2	2.0%	4	6.3%
Objects handling and conveyors	2	2.0%	3	4.7%
Services	2	2.0%	2	3.1%
Mining and extraction	2	2.0%	0	0.0%
Illumination	2	2.0%	0	0.0%
Breeding and fish farming	2	2.0%	0	0.0%
Food and beverages	2	2.0%	0	0.0%
<i>Other</i>	8	7.9%	4	6.3%
TOTAL	101	100.0%	64	100.0%

TRIZ peut apporter beaucoup de bénéfices à une entreprise pharmaceutique qui cherche à appliquer concrètement l'innovation en interne. Du point de vue de l'entreprise, un sondage réalisé auprès d'industriels montre les raisons de l'utilisation de TRIZ. Les raisons de son utilisation sont :

- L'amélioration de la Qualité
- La réduction de la pollution
- Le lancement de nouveaux produits

- L'amélioration de la productivité
- L'innovation de produit et de procédé
- La réduction énergétique
- L'amélioration de la sécurité
- La réduction des coûts (Spreafico and Russo, 2016)

Cet outil peut apporter de multiples avantages pour les employés d'une entreprise pharmaceutique, sur la quantité de nouvelles idées à émettre. Tout d'abord TRIZ pourrait améliorer les capacités de résolution des problèmes et de réflexion personnelle. Une étude du Royal Melbourne Institute of Technology réalisé sur 32 élèves ingénieurs tente de montrer cette tendance (Belski, 2011). Cette étude a cependant 2 points faibles :

- La mesure des capacités des étudiants est subjective. En effet, un questionnaire est à remplir pour les étudiants, et sur lequel des questions du genre "Pensez-vous pouvoir résoudre plus de problèmes techniques après avoir suivi l'initiation à TRIZ ?"
- L'échantillon d'étudiants de départ ne connaît aucune méthode de résolution de problèmes. Par conséquent, on peut se poser la question suivante : Est-ce que la perception des étudiants aurait été la même avec les outils du *Lean Management* ? Il aurait fallu, à minima, un groupe témoin et demander à ces 2 groupes (témoins et étudiants initiés à TRIZ) de résoudre ce même problème. La comparaison des 2 solutions aurait été, certes qualitative, mais la méthode aurait été plus robuste.

Cette étude ne contribue malheureusement pas beaucoup à apporter plus de crédit à cet outil qui se veut être une théorie.

D'après une étude de Haines-Gadd (Université de Londres et Oxford), les personnes formées à TRIZ sont plus motivées à innover. De plus, TRIZ permet de générer plus d'idées et de brevets (Haines-Gadd, 2015).

Une autre étude réalisée sur 121 étudiants ingénieurs, observe des différences significatives entre un groupe témoin et un groupe d'étudiants formés à TRIZ sur les performances de créativité. En effet, les étudiants ingénieurs formés à TRIZ présentent une amélioration des caractéristiques suivantes :

- Le processus de créativité
- L'analyse des problèmes
- La proposition de stratégies pour résoudre des problèmes
- La sélection des stratégies
- L'exécution des stratégies
- des produits conçus plus créatifs et novateurs
- Une meilleure capacité dans la résolution de problèmes (Chang et al., 2016)

D'autres bénéfices de cet outil proviennent d'une étude réalisée par Ilevbare auprès de 40 industriels l'utilisant régulièrement :

- L'approche des problèmes : TRIZ fournit une approche structurée permettant de gagner du temps dans la résolution du problème et dans la clarification du problème à résoudre
- La génération d'idées de qualité
- De nouvelles solutions : TRIZ permet une avancée dans l'innovation et dans des nouveaux concepts de développement
- La vitesse : La résolution des problèmes jusqu'à l'aboutissement de l'innovation est réalisée dans un temps nettement plus court, parce que cet outil permet d'identifier et de focaliser le problème à traiter
- La prévision de l'évolution des technologies
- Le travail d'équipe : TRIZ apparaît avoir un effet sur l'amélioration de l'efficacité de l'équipe. Celui-ci fournit un langage commun pour résoudre les problèmes au sein d'un groupe.
- La déconstruction des brevets : TRIZ permet de faire des modifications mineures, des réarrangements, et de breveter le nouveau produit (Ilevbare et al., 2013).

Cependant, on note les limites suivantes :

- La nature de la méthodologie : la méthodologie est trop rigide et difficile à adapter dans des situations variées de problèmes.
- Un niveau de compréhension important de TRIZ est nécessaire pour s'approprier la méthodologie.
- La difficulté dans l'acquisition et l'application de la connaissance TRIZ. Une pratique accrue est nécessaire pour pouvoir exploiter son potentiel
- L'absence de méthode standardisée efficace. En effet, TRIZ comporte beaucoup d'outils, par conséquent beaucoup d'approches différentes peuvent être appliquées
- L'intégration et sa diffusion dans les entreprises font des sceptiques (Ilevbare et al., 2013)

D'autres avantages peuvent être proposés pour TRIZ. Cette méthode peut être déployée en association avec d'autres techniques. Par exemple, on peut coupler TRIZ avec l'analyse FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*) (Thurnes et al., 2015).

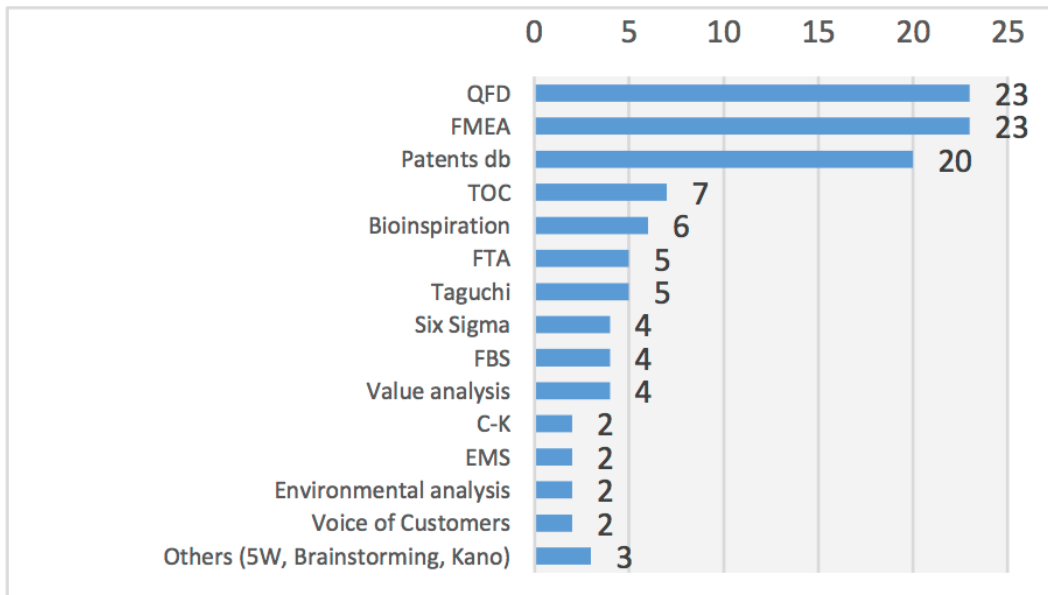


Figure 39 : Combinaison de TRIZ avec d'autres méthodes (Spreafico and Russo, 2016)

Par ailleurs, l'application de TRIZ ne peut pas se faire dans toutes les situations. En effet, tout dépend du niveau d'inventivité que requiert la situation. Déployer TRIZ pour une simple erreur d'exécution d'un opérateur n'apporte aucun intérêt. TRIZ présente un intérêt lorsque la situation problématique requiert un haut niveau d'analyse. Le développement d'un médicament est un exemple de problématique pour utiliser TRIZ.

Plus le niveau d'inventivité que requiert le problème est élevé, plus le temps de maîtrise des outils adaptés est long. Les outils de TRIZ peuvent être classés en fonction du niveau de maîtrise et du niveau d'abstraction nécessaire (Figure 10). Cette figure montre aussi, à titre de comparaison, les outils standard utilisés dans l'industrie comme les 5 pourquoi.

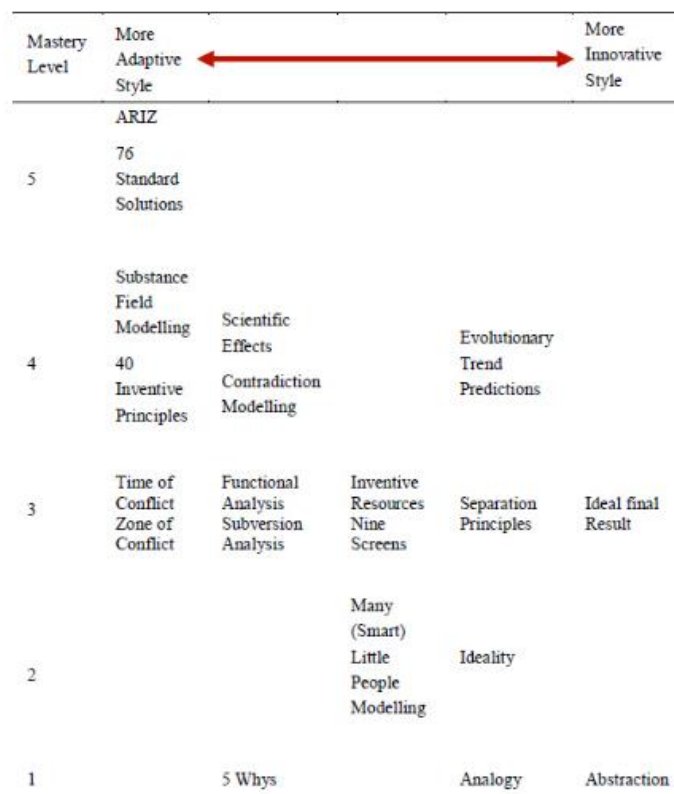


Figure 40 : les outils de résolution du problèmes placés selon 2 axes : Abstraction et niveau de maîtrise de l'outil (Samuel and Ohler, 2015)

L'analyse pour les CC n'a pas nécessité d'utiliser la méthode substance-champ car le problème était relativement simple donc gérable avec la matrice des contradictions. La solution proposée n'est pas en adéquation avec ce qui a été réalisé en pratique car cette analyse est postérieure à la réalisation des travaux. La solution mise en place en pratique pour améliorer le poste de répartition, porte sur le moyen de mesure. C'est une balance industrielle avec un plateau plus large qui a remplacé la balance au sol. Cette nouvelle balance présente de nouveaux effets indésirables. Cependant, un questionnaire de satisfaction montre clairement l'amélioration du service rendu auprès des opérateurs. La solution théorique proposée dans ce manuscrit n'a pas été développée en pratique et est implémentée en production.

Que ce soit pour les CC ou la recherche de causes pour les anomalies, il est important de bien déterminer le système à étudier. En effet, c'est la première clef de la réussite de la résolution du problème. A titre d'exemple pour l'anomalie, lors de l'investigation initiale, c'est le NEP qui a été étudié en tant que système. Par conséquent, le nombre de sous-systèmes à étudier était colossal, et le temps nécessaire pour trouver les causes se chiffrait en mois... En trouvant le bon système, c'est-à-dire là où l'événement s'est produit, la résolution en est facilitée (1 à 2 semaines pour établir l'AME et le diagramme RCA+). C'est pour cette raison que seule l'analyse RCA+ n'est pas suffisante. L'approche RCA+s est plus complète lorsque le professionnel se trouve dans une démarche de recherche de la cause racine.

La seconde clef de réussite réside dans la formulation/reformulation du problème. Pour illustrer l'importance de la formulation d'un problème, l'exemple suivant est considéré : "Une diligence va de A à B, distance de 60 km, à l'allure de 12 km/h. Une mouche, qui vole à 20 km/h, part de B au moment où la diligence quitte A. Quand la mouche rencontre la diligence, elle repart vers B puis repart à la rencontre de la diligence et ainsi de suite jusqu'à l'arrivée de la diligence en B. Combien de kilomètres la mouche a-t-elle parcourus ?" (ALBERTI Pascal, 2017). Ici ce qui rend difficile la résolution de ce problème, c'est l'obligation de se représenter les allers retours successifs de la mouche. Il suffit de considérer le temps de parcours. En effet, la diligence parcourt le trajet en 5h. Pendant ces 5h, la mouche aura parcouru 100 km puisqu'elle avance à 20km/h.

Pour les CC, la méthodologie déployée se base sur la combinaison séquentielle de plusieurs outils de TRIZ. Le processus CC est un processus long (plusieurs mois, voir années) et peu flexible. Il faut donc nécessairement que la solution technique envisagée corresponde aux besoins exprimés. La TRIZ se révèle particulièrement intéressante car elle permet d'envisager toutes les solutions techniques possibles non envisagées par le seul savoir de l'expert. De ce point de vue, elle garantit une plus grande probabilité de la réussite d'un CC.

Cependant, à toute étude longue nécessitant TRIZ, il est fortement conseillé de réaliser une analyse des ressources comme expliquées dans la seconde partie du manuscrit. L'exploitation des ressources permet de limiter les effets indésirables. Elle a également l'avantage de ne pas nécessiter une analyse poussée du problème.

Même si les outils de TRIZ sont nombreux, et que plusieurs approches de leurs utilisations sont possibles, ils peuvent être classés en fonction de 2 aspects (Figure 11) :

- L'aspect cognitif : phase de créativité convergente ou divergente
- L'étape dans le processus de résolution de problème

Technique	Process Stage	Primary Cognitive Operation
Ideality	Problem formulation	Divergent operation
Ideal Final Result	Problem formulation	Convergent operation
5 Whys	Problem formulation	Convergent operation
Abstraction	Problem formulation	Convergent operation
Su-Field Modelling	Problem formulation	Convergent operation
Contradiction Modelling	Problem formulation	Divergent operation
Many (Smart) Little People Modelling	Problem formulation	Divergent operation
Inventive Resources	Problem formulation	Divergent operation
Nine Screens	Problem formulation	Divergent operation
Functional Analysis	Problem formulation	Convergent operation
Time of Conflict	Problem formulation	Convergent operation
Zone of Conflict	Problem formulation	Convergent operation
40 Inventive Principles	Solution generation	Divergent operation
Separation Principles	Solution generation	Divergent operation
Scientific Effects	Solution generation	Divergent operation
76 Standard Solutions	Solution generation	Divergent operation
Evolutionary Trend Predictions	Solution generation	Divergent operation
ARIZ	Problem formulation Solution generation	Divergent operation Convergent operation

Figure 41 : Classement des outils de la TRIZ selon l'étape du processus de résolution de problème et l'aspect cognitif (Samuel and Ohler, 2015)

A cause du nombre important d'outils, et la difficulté de les maîtriser, des solutions informatiques ont été développées. Le 1^{er} logiciel est apparu aux Etats-Unis en 1989. Depuis, de nombreux autres logiciels ont émergés. Malheureusement, les logiciels n'intègrent pas tous les outils existants. Le Tableau 16 présente une synthèse des logiciels les plus utilisés par les experts de la TRIZ (Zouaoua, 2012).

Tableau 23 : Synthèse des logiciels les plus utilisés par les experts intégrant les outils de la TRIZ (Zouaoua, 2012)

Logiciels \ Outils TRIZ	Matrice des contradictions	Substances-Champs	Lois d'évolution	ARIZ
Creax	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
GoldeFire Innovator	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
Guided Innovation	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
Ideal Matrix	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
Innokraft	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non
IWB	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
Mal'in	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
Matrix +	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
Pro-Innovator	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non
TRIZ Digital	<input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non	<input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non

6 Conclusion

La créativité et l'innovation sont liées. En effet, la créativité est le point de départ à toute innovation. L'innovation est la transformation d'une idée en un produit répondant à un besoin économique, environnemental et sociétal.

L'innovation et la créativité sont des processus. L'innovation est un processus maîtrisé par les entreprises. En revanche, il est moins admis que la créativité est un processus maîtrisable par l'individu.

C'est le défi que G. Altshuller a relevé en développant TRIZ. TRIZ est un outil de résolution des problèmes, qui se base sur la connaissance des brevets. Il est de plus en plus employé par les entreprises. Son entrée dans celles-ci est en train de bouleverser notre approche de la créativité. La créativité est désormais présentée comme un processus cognitif maîtrisable par tout le monde.

L'entrée de TRIZ dans l'industrie pharmaceutique est pour le moment inexistant. Pourtant, son applicabilité est universelle (aux domaines technique et non technique). Au cours des prochaines années, la course à l'innovation se fera de plus en plus grande. L'implémentation d'un management de l'innovation dans la culture d'une entreprise pharmaceutique est cruciale pour maintenir son avance par rapport à ses concurrents.

Altshuller, par l'intermédiaire de TRIZ, nous apprend que la solution à un problème n'est pas toujours dans notre domaine de compétences. 1% seulement des brevets déposés, comporte une réelle découverte. Par conséquent, 99% des solutions sont déjà connues. Il faut savoir aller au-delà de ce que l'on connaît pour la trouver. S'intéresser à ce qu'il se fait ailleurs dans l'industrie est primordial pour maintenir son avantage concurrentiel sur le marché du médicament. Dans une époque de révolution technologique, ce n'est pas la maîtrise d'une technologie qui confère l'avantage concurrentiel, mais la capacité à traduire ces technologies en innovations (Giget, 2007).

L'industrie pharmaceutique n'est pas l'industrie la plus innovante. La conscience de cette réalité et la compréhension des bénéfices de l'implémentation d'une culture de l'innovation dans l'entreprise lui permettront de relever les défis de demain.

Les industriels sauront-ils saisir ce dernier levier de concurrence ?

Bibliographie

1. ALBERTI P. Créativité industrielle Définition et méthodes d'accompagnement. Tech. Ing. Strat. Concept. Pour Innov. 2017, AG2225 V3.
2. ALTSHULLER G. The innovation algorithm-TRIZ systematic innovation and technical creativity, 1ère édition. Technical Innovation Center Ed. Worcester, 1973, 312 p.
3. BATCHILO L. Combining cause-effet analysis and Triz nin screens. Leykam Ed. Graz, 2005, 572 p.
4. BELSKI I. TRIZ course enhances thinking and problem solving skills of engineering students. Procedia Eng., Proceeding of the ETRIA World TRIZ Future Conference. 2011, 9, 450–460.
5. BONO E. de. La boîte à outils de la créativité : Par l'inventeur de la pensée latérale. Eyrolles Ed. Paris, 2013, 452 p.
6. BORGIANNI Y., MATT D.T. Applications of TRIZ and Axiomatic Design: A Comparison to Deduce Best Practices in Industry. Procedia CIRP, Structured Innovation with TRIZ in Science and Industry: Creating Value for Customers and Society. Procedia Eng., Proceeding of the ETRIA World TRIZ Future Conference. 2016, 39, 91–96.
7. CARE VOX. La pénicilline et son inventeur Alexander Fleming [en ligne]. Disponible sur : <http://www.carevox.fr/medicaments-soins/article/la-penicilline-et-son-inventeur> (Page consultée le 03/03/2019)
8. CARVALHO C. Les fluides supercritiques au coeur du développement des industries. J [en ligne]. Disponible sur : <http://www.lejournaldesfluides.com/actualite/les-fluides-supercritiques-au-coeur-du-developpement-des-industries/> (Page consultée 24/02/2019).
9. CAVALUCCI D. La TRIZ, une théorie de l'invention en support des activités de R et D : outils et mise en œuvre par l'exemple. Tech. Ing. 2012, AG5211 V1.
10. CAVALUCCI D. TRIZ : l'approche altshullerienne de la créativité. Tech. Ing. 1999, A5211 V1.
11. CHANG YS., CHIEN YH., YU KC., CHU YH., CHEN MY. Effect of TRIZ on the creativity of engineering students. Think. Ski. Creat. 2016, 19, 112–122.
12. CHOULIER D., BACHELET R. Introduction aux principaux outils de TRIZ [en ligne]. Disponible sur : <http://rb.ec-lille.fr/l/Projets/TRIZ-resolution-creative-de-problemes.pdf> (Page consultée le 24/02/2019).
13. COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES. Règlement (CE) n o 1234/2008 de la Commission du 24 novembre 2008 concernant l'examen des modifications des termes d'une autorisation de mise sur le marché de médicaments à usage humain et de médicaments vétérinaires (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE) - Legilux Off. J. Eur. Union. [en ligne]. Disponible sur : http://legilux.public.lu/eli/reg_ue/2008/1234/jo (Page consultée le 04/02/2019).
14. CORTES ROBLES G. Management de l'innovation technologique et des connaissances : synergie entre la théorie TRIZ et le raisonnement à partir de cas : application en génie des procédés et systèmes industriels. Thèse de doctorat de l'Institut National Polytechnique de Toulouse. Université de Toulouse, 2006, 268 p.

15. DEVALAN P. Innovation-Concepts Clés. Tech. Ing. 2012, AG2231 V1.
16. EUROSTAT. Statistiques sur l'innovation - Statistics Explained. Stat. Sur Innov [en ligne]. Disponible sur : https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Innovation_statistics/fr#Innovation_au_sein_des_PME_et_des_grandes_entreprises (Page consultée le 17/02/19).
17. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. Part 211 subpart F-Production and Process Controls, Electronic Code of Federal Regulations. [en ligne]. Disponible sur : https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=8461045d62bfaf739b672c4a761c96d7&mc=true&node=pt21.4.211&rgn=div5#se21.4.211_1100 (Page consultée le 17/02/19).
18. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. 21-Food and drugs chapter 1- Department of health and human services part 820 Quality System Regulation, Electronic Code of Federal Regulations [en ligne]. Disponible sur : https://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?SID=bef7e38025a3c1d20c33a6f4b665c029&mc=true&tpl=/ecfrbrowse/Title21/21cfr820_main_02.tpl (Page consultée le 17/02/19).
19. GAGNEPAIN P., FAUVEL B., DESGRANGES B., GAUBERT M., VIADER F., EUSTACHE F. et al. Musical expertise increases top-down modulation over hippocampal activation during familiarity decisions. *Front. Hum. Neurosci.* 2017 Sep 26;11:472.
20. GIGET M. L'innovation dans l'entreprise. Tech. Ing., Innovation | Management et ingénierie de l'innovation. Tech. Ing. 2007, AG2020 V1.
21. HAINES-GADD L. Does TRIZ Change People ? Evaluating the Impact of TRIZ Training within an Organisation : Implications for Theory and Practice. *Procedia Eng.*, TRIZ and Knowledge-Based Innovation in Science and Industry. 2015, 131, 259–269.
22. INTERNATIONAL CONFERENCE ON HARMONIZATION. Pharmaceutical Quality System. 2018 [en ligne]. Disponible sur : <https://www.ich.org/products/guidelines/quality/article/quality-guidelines.html> (Page consultée le 17/02/19).
23. ILEVBARÉ I.M., PROBE D., PHAAL R. A review of TRIZ, and its benefits and challenges in practice. *Technovation.* 2013, 33, 30–37.
24. INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE. Le palmarès 2016 des déposants de brevets en France [en ligne]. Disponible sur : <https://www.inpi.fr/fr/nationales/le-palmares-2016-des-deposants-de-brevets-en-france> (Page consultée le 05/02/2019).
25. KALANIE C. Le rôle de la propriété intellectuelle dans l'innovation et la conception de nouveaux produits [en ligne]. Disponible sur : https://www.wipo.int/sme/fr/documents/ip_innovation_development.html (Page consultée le 17/02/2019).
26. KIRSHNER U., COOLEY R. Process Analytical Technology - Pharmaceutical Industry Perspective [en ligne]. Disponible sur : <https://www.europeanpharmaceuticalreview.com/article/3643/process-analytical-technology-pharma-industry/> (Page consultée le 17/02/2019).
27. LESIUK T. The effect of preferred music on mood and performance in a high-cognitive demand occupation. *J. Music Ther.* 2010, 47, 137–154.

28. LETOURNEAU P., PAWLAK E. L'économie de la créativité et ses implications pour les acteurs d'un territoire [en ligne]. Disponible sur : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/42564210-management-de-l-innovation/download/re236/l-economie-de-la-creativite-et-ses-implications-pour-les-acteurs-d-un-territoire.html> (Page consultée le 02/02/2019).
29. MAES P. Ventilation et traitement de l'air des bâtiments industriels. Tech. Ing. 2015, TBA2788 V1.
30. MOLES J. Eaux de distribution. Tech. Ing. 2007, W5500 V1.
31. NEWS MEDICAL LIFE SCIENCES. Histoire de Malaria. [en ligne]. Disponible sur : <https://www.news-medical.net/health/Malaria-History.aspx> (consultée le 03/03/2019)
32. ORLOFF M. Modern TRIZ-A practical course with EsayTRIZ technology. Springer Ed. Berlin (Germany), 2012, 422 p.
33. POKHREL C., CRUZ C., RAMIREZ Y., KRASLAWSKI A. Adaptation of TRIZ contradiction matrix for solving problems in process engineering. Chem. Eng. Res. Des., Inventive Design and Systematic Engineering Creativity Ed. 2015, 103, 3–10.
34. RANTAMEN K., DOMB E. Simplified TRIZ-New problem solving applications for engineers and manufacturing professionals, 2ème édition. ed. Auerback Publications Ed. Boca Raton (Floride), 2008, 272 p.
35. SAMUEL P., OHLER M. Classification of TRIZ Techniques Using a Cognition-Based Design Framework. Procedia Eng., TRIZ and Knowledge-Based Innovation in Science and Industry. 2015, 131, 984–992.
36. SAVRANSKY S.D. 3 The Systematic Methodology of Inventive Problem Solving - TRIZ: A Review. INCOSE Int. Symp. 1999, 9, 1072–1079.
37. SERRAT O. The Five Whys Technique, in: Serrat, O., Knowledge Solutions: Tools, Methods, and Approaches to Drive Organizational Performance. Springer Singapore Ed. Singapore, 2017, pp. 307–310.
38. SODEVA. Tamisage Par Ultrasons. [en ligne]. Disponible sur : <https://www.tamisage.com/tamisage-classification-poudre/> (Page consultée le 24/02/2019).
39. SOUCHKOV V. Root Conflict Analysis (RCA+): Structured Problems and Contradictions Mapping, European TRIZ association. Leykam Ed. Graz, 2005, 572 p.
40. SOUCHKOV V., TUOMO K. TRIZfest-2014/ Theories and applications conference proceedings, The International TRIZ Association-MATRIZ. ed, Proceedings of the 10th TRIZfest 2014 International Conference. Prague, 2014, 321 p.
41. SPREAFICO C., RUSSO D. TRIZ Industrial Case Studies: A Critical Survey. Procedia CIRP, Structured Innovation with TRIZ in Science and Industry: Creating Value for Customers and Society. 2016, 39, 51–56.
42. THURNES C.M., ZEIHSEL F., VISNEPOLSCHI S., HALLFELL F. Using TRIZ to Invent Failures – Concept and Application to go Beyond Traditional FMEA. Procedia Eng., TRIZ and Knowledge-Based Innovation in Science and Industry. 2015, 131, 426–450.
43. TROCH P.D. Regional Innovation Scoreboard. Intern. Mark. Ind. Entrep. SMEs - Eur. Comm. [en ligne]. Disponible sur : http://ec.europa.eu/growth/industry/innovation/facts-figures/regional_en (Page consultée le 17/02/2019).

44. UNIVERSALIS E., n.d. DIGITALINE. Encycl. Universalis [en ligne]. Disponible sur : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/digitaline/> (Page consultée le 24/02/2019).
45. VEDEL P. Diagramme causes-effets d'Ishikawa. Tech. Ing. 2012, 0585.
46. ZOUAOUA D.R. Lois d'évolution de TRIZ pour la conception des futures générations des produits : proposition d'un modèle. Thèse de doctorat d'Arts et Métiers ParisTech. Paris, 2012, 199 p.

DEMANDE D'IMPRIMATUR

Date de soutenance : 28 juin 2019

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR
EN PHARMACIE

présenté par : BAGHLI MERWAN

Sujet : Théorie de résolution des problèmes inventifs selon
TRIZ au sein de l'industrie pharmaceutique

Jury :

Président : M. Philippe MAINCENT, Professeur des
universités

Directeur : Mme Florence DUMARCA Y, Maître de
conférences

Juges : M. Pierre LEGEARD Pharmacien
Mme Aurore CAUSSE, Pharmacien et Ingénieur

Vu,

Nancy, le 10 Juin 2019

Le Président du Jury

Directeur de Thèse

Pr. Ph. Maincent

Dr. F. Dumarcay

Vu et approuvé,

Nancy, le 13.06.2019

Doyen de la Faculté de Pharmacie
de l'Université de Lorraine,

Pr. Raphaël DUYAL

Vu,

Nancy, le 18 Juin 2019

Le Président de l'Université de Lorraine,

Pierre MUTZENHARDT

N° d'enregistrement : 10762

N° d'identification :

TITRE :

**Théorie de résolution des problèmes inventifs selon TRIZ au sein
de l'Industrie Pharmaceutique**

Thèse soutenue le 28 juin 2019

Par Merwan BAGHLI

7 RESUME :

La créativité est considérée comme étant une compétence innée et impossible à maîtriser sans l'inspiration. Et elle aussi souvent confondue avec l'innovation.

TRIZ est une méthode de résolution des problèmes inventifs. Son entrée dans l'industrie non pharmaceutique est en train de bouleverser notre approche de la créativité et de l'innovation. TRIZ s'inscrit dans une démarche de créativité méthodologique maitrisable. Elle se base sur un savoir scientifique lui permettant de générer plus d'idées innovantes.

Cependant, sa présence dans l'industrie pharmaceutique est inexistante. Cette thèse aborde l'applicabilité de TRIZ dans ce domaine, puis l'application méthodologique sur deux processus majeurs en production, à savoir la gestion des changements et la recherche de causes des anomalies.

L'objectif de cette thèse est de faire connaître cette démarche à l'industrie pharmaceutique, et de montrer les bénéfices à tirer de cet outil de management de l'innovation dans la culture d'une entreprise pharmaceutique.

MOTS CLES :

CREATIVITE-INNOVATION-TRIZ-PROBLEMES-RESOLUTION-ANOMALIE-
CHANGE CONTROL

Directeur de thèse	Intitulé du laboratoire	Nature
Florence Dumarçay		Expérimentale <input type="checkbox"/> Bibliographique <input checked="" type="checkbox"/> Thème 6

Thèmes

1 – Sciences fondamentales
3 – Médicament
5 - Biologie

2 – Hygiène/Environnement
4 – Alimentation – Nutrition
6 – Pratique professionnelle