

METHODOLOGIE D'INNOVATION : LA RESOLUTION DES PROBLEMES CREATIFS

GrigoreGOGU*

Résumé : Les recherches orientées vers la méthodologie d'innovation technique effectuées en Allemagne, aux Etats-Unis et en Russie ont permis la structuration de trois théories/stratégies d'innovation en pleine évolution avec un caractère intégrateur et plusieurs caractéristiques communes : WOIS — Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie (Way of Oriented Innovation Strategy), TIPS — Theory of Inventive Problem Solving, TRIZ — Teoria Reschenia Izobretateliskih Zadaci (Theory for Inventive Problem Solving). Elles utilisent : une base d'effets géométriques, physiques et chimiques qui gouvernent les substances et les champs, des « entités d'innovation » et la résolution des contradictions, des solutions standard, des tendances d'évolution des systèmes techniques. Des logiciels d'innovation ont commencé à intégrer ces méthodes. Le plus connu est TechOptimizer développé par la compagnie Invention Machine Corporation. L'objectif de cet article est de situer l'innovation technologique dans le contexte général de la créativité et d'effectuer une synthèse de ces trois théories d'innovation (WOIS, TIPS, TRIZ) et d'une approche d'innovation originale fondée sur la recherche de type morphologique et phylogénétique (inspirée du principe phylogénétique d'évolution des espèces, connu en biologie).

Mots-clés : méthodologie d'innovation, approche systématique, problèmes créatifs, matrice des contradictions, entités d'innovation, principes d'innovation, TRIZ, TIPS, WOIS, recherche morphologique, recherche phylogénétique.

1. Introduction

La création des systèmes techniques (systèmes réalisés par l'homme pour augmenter la productivité de son travail) est une des plus anciennes préoccupations de l'homme. Malgré

* Laboratoire de Recherches et Applications en Mécanique Avancée, IFMA - Université Clermont II, Aubière.

l'existence multimillénaire de cette activité et malgré les avancements spectaculaires de la recherche scientifique dans la connaissance de l'homme, de son environnement et de ses outils, il y a un retard considérable dans la formalisation scientifique de la démarche méthodologique de l'innovation des systèmes techniques.

La compétitivité mondiale actuelle oblige les « créateurs » des systèmes techniques à innover sans cesse et rapidement leurs produits. En outre, la composition pluritechnologique (mécanique, électronique, informatique,...) des systèmes techniques actuels impose de plus en plus une pluridisciplinarité de l'équipe de conception et une maîtrise méthodologique du processus d'innovation. Dans cette conjoncture, l'approche psychologique de l'innovation et l'heuristique générale (ou la logique de la découverte) constituent des outils méthodologiques peu efficaces. Les méthodes psychologiques basées sur la créativité de groupe comme brainstorming (A. F. Osborn, 1938), synectique (W.J.J. Gordon, 1946), Delphi (O. Helmer, 1965), etc. sont utiles pour l'innovation commerciale, de management, de marketing, de publicité, mais très peu efficaces pour résoudre les tâches complexes d'innovation de systèmes techniques. Les méthodes de conception actuelles, basées sur l'analyse fonctionnelle, l'analyse de la valeur, le QFD (Quality Function Deployment), la conception robuste (G. Taguchi, 1980), la conception axiomatique (N.P. Suh, 1990), abordent le processus de conception dans un contexte plus large permettant d'intégrer les besoins du client et la satisfaction de ces besoins ainsi que l'analyse de benchmarking [16]. Ces méthodes sont complétées en amont par la méthodologie d'innovation technique.

2. Prolégomènes

Le titre de cet article implique quelques questions et leurs réponses. Peut-on parler de méthodologie d'innovation et d'une théorie de résolution des problèmes créatifs ? Quel est le rapport entre l'innovation et la créativité, entre l'innovation et la découverte, entre la résolution des problèmes créatifs et la résolution créative des problèmes ? Pour faciliter les réponses, dans cette présentation, le rappel de quelques définitions s'impose. (Bibliorom LAROUSSE, Version Office 1.0).

Méthodologie

- * Etude systématique, par observation, de la pratique scientifique, des principes qui la fondent et des méthodes de recherche qu'elle utilise
- * Ensemble des méthodes et des techniques d'un domaine particulier.

Méthode (latin *methodus*)

1. Marche rationnelle de l'esprit pour arriver à la connaissance ou à la démonstration d'une vérité – *Méthode expérimentale* : procédure qui consiste à observer les phénomènes, à en tirer des hypothèses et à vérifier les conséquences de ces hypothèses par une expérimentation scientifique.
2. Manière ordonnée de mener quelque chose. *Procéder avec méthode.*

3. Ensemble ordonné de manière logique de principes, de règles, d'étapes permettant de parvenir à un résultat ; technique, procédé. *Méthodes de fabrication.*
4. Ensemble des règles qui permettent l'apprentissage d'une technique, d'une science.
5. Ouvrage groupant logiquement les éléments d'une science, d'un enseignement. *Méthode de lecture.*

Innovation

1. Action d'innover, d'inventer, de créer quelque chose de nouveau.
2. Ce qui est nouveau ; création, transformation. *Des innovations techniques.*

Innover (latin *innovare*, de *novus*, nouveau). Introduire quelque chose de nouveau dans un domaine particulier. *Innover en matière économique.*

Théorie (grec *theôria*, action d'observer)

1. Ensemble de théorèmes et de lois systématiquement organisés, soumis à une vérification expérimentale, et qui vise à établir la vérité d'un système scientifique.
2. Logique. *Théorie déductive* : ensemble de propositions démontrées de façon purement logique à partir d'axiomes, et qui énoncent les propriétés qui conviennent à un domaine d'objets. (Par exemple, la théorie des groupes.)

Théorème (grec *theôrêma*, objet d'étude)

1. Proposition scientifique qui peut être démontrée.
2. Mathématiques et Logique. Expression d'un système formel, démontrable à l'intérieur de ce système.

Résolution (latin *resolutio*)

1. Moyen par lequel on tranche un cas douteux, une question. *Résolution d'une difficulté, d'un problème*
2. Mathématiques - *Résolution d'une équation* : détermination de ses solutions.
- *Résolution d'un triangle* : calcul, à partir de trois éléments qui déterminent un triangle, des autres éléments de ce triangle.

Résoudre (latin *resolvere*, délier)

1. Trouver une solution, une réponse à une question, un problème.
2. Mathématiques *Résoudre une équation* : déterminer l'ensemble des solutions d'une équation, d'un système d'équations.

Solution

1. Dénouement d'une difficulté, réponse à une question, à un problème. *La solution d'un rébus.*

Mathématiques *Solution d'une équation* : élément qui, substitué à l'inconnue, rend vraie l'égalité proposée.

Problème (latin *problema* ; du grec)

1. Question à résoudre par des méthodes logiques, rationnelles, dans le domaine scientifique.
2. Exercice scolaire consistant à trouver les réponses à une question posée à partir de données connues. *Problème de géométrie, de physique.*
3. Difficulté souvent complexe, à laquelle on est confronté. *Problème technique, psychologique. J'ai un problème !*

Créatif, ive

1. Qui est capable de créer, d'inventer, d'imaginer quelque chose de nouveau, d'original, qui manifeste de la créativité. *Un esprit créatif.*
2. Qui favorise la création. *Milieu créatif.*

Créativité

Pouvoir créateur, capacité d'imagination, d'invention, de création. *La créativité artistique, littéraire.*

Création (latin *creatio*)

Action de fonder quelque chose qui n'existait pas. *La création d'une entreprise.*

Découverte

Action de trouver ce qui était inconnu, ignoré ou caché ; ce qui est découvert. *La découverte de la pénicilline.*

- À la découverte : afin de découvrir, d'explorer. *Partir à la découverte.*

Invention

1. Action d'inventer, de créer quelque chose de nouveau. *L'invention du téléphone.*
2. Chose inventée, imaginée. *Les grandes inventions* .
3. Faculté d'inventer, donc d'imagination.
4. Découverte de choses cachées (trésor, gisement archéologique, etc.); objet ainsi découvert.

Inventif, ive

Qui a le génie, le talent d'inventer. *Esprit inventif.*

Inventer (de *inventeur*)

Créer le premier, en faisant preuve d'ingéniosité (ce qui n'existait pas encore et dont personne n'avait eu l'idée). *Gutenberg inventa l'imprimerie.*

Découvrir (latin *discooperire*)

1. Laisser voir ; révéler (ce qui était caché). *Découvrir son jeu, ses plans.*
2. Trouver (ce qui était caché, inconnu, ignoré). *Découvrir un trésor, un vaccin.*

Une remarque concernant ces quelques définitions.

D y a une confusion entre la découverte et l'invention. Les origines de cette confusion se trouvent dans le paradoxe de Ménon (Platon, *Ménon*, 80 d-e) : il n'est pas possible de trouver si l'on ne sait pas ce que l'on cherche et quoi chercher. On se pose la question : la pénicilline est-elle une découverte (voir la définition de la découverte) ou est-elle une invention ? On sait que la pénicilline est un antibiotique isolé à partir d'un champignon ascomycète. Ce champignon se développe dans certaines conditions sous la forme d'une moisissure verte dans certains fromages (roquefort, bleu...), sur les fruits (agrumes) et les confitures, et dont une espèce, *Penicillium notatum*, est utilisée pour la fabrication de la pénicilline. Les propriétés antibactériennes du champignon *Penicillium notatum* furent découvertes en 1928 par Alexander Fleming. La pénicilline (le médicament qu'on trouve à la pharmacie) est une invention basée sur la découverte faite par Fleming. Par conséquent, les trois affirmations suivantes doivent être utilisées avec précaution : a) La pénicilline est une découverte. b) La pénicilline a été découverte par Fleming. c) Alexandre Fleming a découvert *Penicillium notatum*. Il est évident que *Penicillium notatum* existait depuis longtemps avant que Fleming découvre ses propriétés antibactériennes. Le développement de la pénicilline a commencé dix ans plus tard par les travaux menés par E.B. Chain et H.W. Florey. En 1945, Fleming, Chain et Florey ont reçu le Prix Nobel pour le développement de la pénicilline. Entre 1940 et 1957, A. J. Moyer a breveté des méthodes de fabrication industrielle de la pénicilline (U.S. patents 2 442 141 et 2 443 989).

3. La résolution créative des problèmes et l'innovation technologique

Deux éléments sont essentiels dans la définition d'un problème : l'état de choses existant et l'état de choses souhaité. La résolution du problème assure le passage entre les deux états. Le processus de résolution d'un problème est une série d'activités logiques qui nous conduisent du problème à la solution par les étapes suivantes : a) identification du problème, b) acquisition de données, c) analyse des données, d) génération de solutions, e) choix de la solution, f) réalisation de la solution et g) évaluation de la solution.

Pour la résolution des problèmes, on utilise des techniques très variées : l'addition, l'amplification, l'analogie, l'animation, l'associativité, le camouflage, la combinaison, la commutativité, la contradiction, la décomposition, la destruction, la dissociation, la fantaisie, la fragmentation, la généralisation, l'hybridation, l'induction, l'inversion, l'isolation, la

métamorphose, la réformation, la similitude, la spécialisation, la substitution, la superposition, la soustraction, la symbolisation, la répétition, le transfert, etc.

La résolution créative des problèmes est, en général, basée sur les approches psychologiques de stimulation de la créativité. Ces approches sont basées sur un schéma lancé par Henri Poincaré, [10] et sur les développements ultérieurs apportés par G. Wallas [19]. Il s'agit d'une structuration du processus de résolution en quatre phases:

- a) préparation (examen logique et conscient, approche empirique, recueil des données, essais de solutions conventionnelles et d'hypothèses types);
- b) incubation (le passage du problème du conscient au subconscient);
- c) illumination (apparition soudaine de la solution);
- d) vérification (vérification théorique ou expérimentale de la solution).

Dans un livre publié récemment [5], Michael Gelb présente les 7 principes pour développer la créativité, inspirés par la pensée de Leonard de Vinci :

- CURIOSITA – baser sa vie sur la curiosité et l'apprentissage continu,
- DIMONSTRAZIONE – tester les connaissances par l'expérience,
- SENSAZIONE – analyser les sens avec raffinement,
- SFUMATO – affronter le noir, l'ambiguïté, le paradoxe et l'incertain,
- ARTE / SCIENZA – assurer l'équilibre entre la science et l'art, entre la logique et l'imagination,
- CORPORALITA- cultiver la gracieuseté, l'ambidextre, l'harmonie et l'équilibre,
- CONNESSIONE – reconnaître et apprécier les interconnexions des phénomènes et des choses.

Des centaines de techniques de résolution créative des problèmes sont connues à présent. [7], [9]. Rod Kornienko [17] a analysé ces différentes techniques et a proposé leur systématisation en 7 groupes :

1. techniques d'organisation et de motivation - destinées à créer un environnement qui stimule la créativité.
2. techniques stochastiques (aléatoires) - pour assurer une certaine divergence dans la recherche de solutions.
3. techniques de focalisation - converger vers une seule solution à un moment donné.
4. techniques systémiques - utilisation des techniques stochastiques et de focalisation dans un certain ordre.
5. techniques pointues - recommandations à un ou plusieurs pas orientés vers une direction prometteuse.
6. techniques évolutionnistes - trouver des directions de recherche en conformité avec les tendances d'évolution des systèmes techniques.
7. techniques qui utilisent les bases de connaissances d'innovation (innovation knowledge-base).

Méthode	Techniques d'innovation							Source / Référence
	1	2	3	4	5	6	7	
1. Entrée aléatoire (transfert de caractéristiques, technique focalisée objet, recherche organisée aléatoirement, stimulation par images)		X	X					
2. Inversion du problème				X	X			
3. Questionnaire			X	X	X			Alex Osborn
4. Question en résumé			X					
5. Pensée latérale			X	X	X			
6. Principe de discontinuité				X				
7. Thinkertoys			X	X				
8. Brainstorming		X		X				F. Osborn
9. Analogie forcée		X	X					
10. Listing d'attributs			X					<ul style="list-style-type: none"> • Robert Platt Crowford » Michael Morgan. Creating Workforce Innovation
11. Connexions morphologiques forcées				X				Koberg and Bagnail
12. Analyse morphologique				X				Zwicky
13. Imitation					X			
14. Schémas d'imagination			X	X				Tony Buzan
15. Scénarimage	X		X	X				<ul style="list-style-type: none"> • Sergei Eisenstein • Walt Disney, 1928 • Mike Vance, Creative Thinking • J. Higgins
16. Synectique			X	X	X			William Gordon
17. Fleur de lotus			X	X				Matsumura Yasuo, Clover Management Research
18. Sensation (les cinq sens)			X	X				Mike Vance, Think Out of the Box
19. Pensée visuelle	X		X					Betty Edward, Robert McKim Experiences in Visual Thinking, Stanford
20. Camelot					X			J. Higgins, 101 Creative Problem Solving Techniques
21. Liste de contrôle			X					J. Higgins, 101 Creative Problem Solving Techniques
22. Limericks et parodies		X						J. Higgins, 101 Creative Problem Solving Techniques
23. Jeu de rôle		X						
24. Avance / recul	X	X						
25. Kepner-Tregoe			X	X				
26. Crayonnage			X					
27. Kit expérimental			X	X				IdeaScope, Cambridge
28. Diagramme de Ishikawa			X	X	X			Kaoru Ishikawa
29. Roi de la montagne		X						
30. Redéfinition du problème		X		X				
31. Etreindre et détendre			X	X	X			
32. Modèle simplifié					X			
33. Diagramme pourquoi - pourquoi			X	X	X			
34. Inversion de la supposition					X			
35. Associations		X						
36. Cercle de l'opportunité		X						

37. Dernière limite	X									
38. Regard de connivence	X									
39. Idées désordonnées et affreux	X									
40. Carnet d'idées	X									
41. Entrée-sortie				X						
42. Audition musicale	X									
43. Noms possibles	X									
44. Technique de Napoléon	X									
45. Liste d'amélioration du produit	X								Arthur B. VanGundy	
46. Liaisons	X									
47. Mots corrélatifs	X									
48. Renversement - déversement					X					
49. Technique 7x7				X	X					
50. Dormir / voir en rêve	X									
51. Technique des deux mots	X	X		X						
52. Visualisation	X									
53. Quoi se passe si ...?			X							
54. Gordon / Little		X	X	X						
55. Système support pour la décision en group	X								Wilson Learning Systems, Minnesota	
56. Idéalisation en groupe	X									
57. Déclenchement d'idées	X									
58. Groupe d'innovation	X									
59. Groupe d'innovation interentreprises	X									
60. Tanière du lion	X									
61. Méthode NHK		X	X						Hiroshi Takahashi	
62. Technique du groupe nominal	X	X	X							
63. Phillips 66	X	X	X						Don Phillips	
64. Excursion photographique		X	X							
65. Ecriture de scénarios		X	X							
66. Méthode SIL		X	X	X					Batelle, Germany	
67. TKJ	X	X	X						Tokio Institute of Technology	
68. Delphi	X		X							
69. Programmation neurolinguistique (NLP)	X								Robert Dilts	
70. Collision de suppositions					X					
71. Faites le				X					Robert W. Olson ,The Art of Creative Thinking	
72. LARC	X								Robert Williams, John Stockmyer, Unleashing the Right Side of the Brain	
73. Résolution inconsciente du problème	X									
74. Technique Simplex Basadur				X					http://www.basadursimplex.com/	
75. Logique floue (Pensée floue)				X					Lotfi Zadeh. Bart Kosko, Fuzzy Thinking Fuzzy Logic - The Revolutionary Computer Daniel McNeill, Paul Freiburger Technology that is Changing the World	
76. Découvrir par hasard	X	X								
77. Modèle de Wallas				X					Graham Wallas (1926)	
78. Modèle de Rossman				X					Rossman (1931)	

79. Croquis de travail					X					http://www.directedcreativity.com/ Paul E. Plsek & Associates, Inc. DirectedCreativity
80. Modèle de Barron	X			X						Henri Barron (1988)
81. Résolution créative du problème (CPS)				X						Parnes (1992) Isaksen and Trefflinger (1985)
82. Modèle de Koberg et Bagnall				X						
83. Modèle Robert Fritz	X			X						
84. Sept pas				X						Roger von Oech
85. TRIZ - Matrice de résolution des contradictions et les 40 principes d'innovation	X		X	X	X	X	X	X		
86. TRIZ - Résultat final idéal	X		X	X	X	X	X	X		
87. TRIZ - Approche systémique	X		X	X	X					
88. Idéation - TRIZ - Evolutions des systèmes techniques	X		X	X	X	X	X	X		
89. Idéation - TRIZ - Formulation du problème	X		X	X	X					
90. Idéation - TRIZ- ISQ	X		X	X	X					
91. Idéation - TRIZ - ARIZ	X		X	X	X	X				
92. TRIZ- Analyse substance - champ	X		X	X	X					
93. TRIZ - 76 Solutions standard	X		X	X	X	X	X	X		
94. Idéation - TRIZ - Système d'opérateurs	X		X	X	X	X	X	X		
95. Idéation - TRIZIPS	X		X	X	X	X	X	X		
96. Idéation - TRIZDE	X		X	X	X	X	X	X		
97. Idéation TRIZ AFD	X		X	X	X	X	X	X		

Tableau 1 : analyse comparative des méthodes de créativité

Ces sept groupes de techniques sont systématisés dans le tableau 1. Les méthodes de créativité les mieux adaptées à l'innovation technologique sont les méthodes systématiques (les treize dernières méthodes du tableau 1). Elles utilisent l'ensemble des techniques sauf les techniques stochastiques. Ces méthodes sont intégrées dans la théorie de la résolution des problèmes créatifs, qui fait l'objet de cette présentation.

Le terme d'innovation (dans son sens le plus large) désigne tout changement introduit sciemment dans l'économie par un agent quelconque et ayant pour but et pour résultat une utilisation plus efficace ou plus satisfaisante des ressources.

Le terme d'«innovation» est apparu en premier lieu, semble-t-il, dans la littérature économique par l'œuvre de l'économiste autrichien Joseph Schumpeter (1883-1950). Il distinguait cinq cas d'innovation :

- la fabrication d'un bien nouveau
- l'introduction d'une méthode de production nouvelle

- la réalisation d'une nouvelle organisation
- l'ouverture d'un débouché nouveau
- la conquête d'une nouvelle source de matières premières ou de produits semi-ouvrés.

L'innovation technologique (dans le sens de cette présentation) est la solution d'un problème technologique matérialisée par de nouveaux produits, machines, systèmes techniques, équipements industriels et de nouveaux procédés de fabrication.

Nomura Research Institute considère que la créativité / l'innovation sera la nouvelle activité économique majeure qui va remplacer l'hégémonie actuelle de l'information. On sait que, du point de vue historique, l'agriculture, la production industrielle et l'information ont été les sphères dominantes de l'activité économique. La créativité / l'innovation sera probablement « The Fourth Wave ».

4. Théorie de la résolution des problèmes créatifs

Dans le processus de conception, on distingue deux types de problèmes : les problèmes dont les solutions générales sont connues et les problèmes dont les solutions sont inconnues. Les problèmes du premier type sont résolus à partir de l'information disponible dans des livres, des journaux, l'expertise des experts. Le schéma général de résolution de problèmes est présenté dans la figure 1. Les problèmes créatifs sont les problèmes avec des solutions générales inconnues qui contiennent des besoins contradictoires exprimés sous la forme de contradictions entre les paramètres de conception.

La théorie de la résolution des problèmes créatifs a été développée par Genrich Altshuller à partir de 1946 sous le nom de TRIZ, l'abréviation de l'expression russe Teoria Reschenia Izbretateliskih Zadaci (Theory for Inventive Problem Solving) [1].

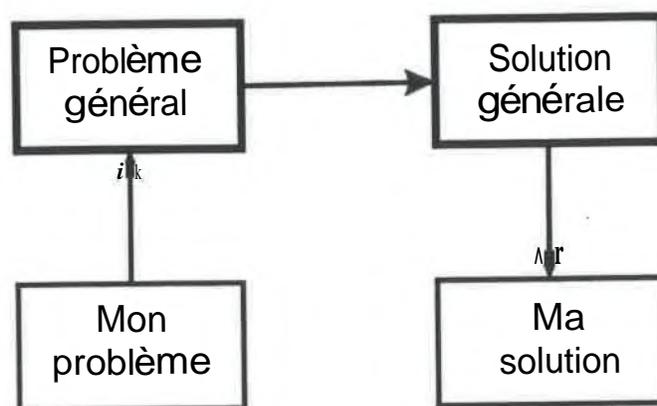


Fig.1. Schéma général de résolution des problèmes

La théorie a été reprise et développée ensuite en Allemagne sous le nom de WOIS - Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie (Way of Oriented Innovation Strategy) [8] et surtout aux Etats-Unis sous le nom de TIPS - Theory of Inventive Problem Solving [15], [11],

[18]. L'objectif de ce paragraphe est d'effectuer une synthèse de ces trois versions de la théorie de la résolution des problèmes créatifs (TRIZ, WOIS et TIPS).

En analysant plus de 200 000 brevets déposés dans différents domaines, Altshuller a observé que seulement environ 40 000 contiennent des solutions créatives. Les autres représentaient plutôt des améliorations évidentes. A partir de cette analyse il a constaté que :

- a) les problèmes et les solutions se répètent à travers les différentes industries et les différentes sciences,
- b) les tendances d'évolution des systèmes techniques se répètent à travers les différentes industries et les différentes sciences,
- c) les innovations les plus marquantes utilisent des effets scientifiques et des découvertes qui appartiennent plutôt à d'autres domaines qu'au domaine spécifique de l'innovation.

A ce jour, plus de 2,5 millions de brevets déposés ont été analysés pour mettre en évidence les lois et les principes qui régissent techniquement une invention. Ces lois et ces principes forment le noyau de la théorie de la résolution des problèmes créatifs.

4.1 *Systématisation des solutions technologiques*

On distingue cinq niveaux d'innovation concernant les solutions technologiques :

1. Solutions standard (solutions évidentes). Elles représentent environ 30 % du nombre total de brevets d'invention et sont caractérisées par :
 - des changements plutôt quantitatifs que qualitatifs,
 - l'utilisation de connaissances d'un domaine étroit (le domaine d'activité de l'inventeur),
 - peu d'essais nécessaires.

Exemples : camions poids lourd, écran de résolution 1024x768 par rapport à l'écran de 800x600.

2. Solutions qui changent l'objet (quelques modifications). Elles représentent ~50% du nombre total de brevets d'invention et sont caractérisées par :
 - des changements qualitatifs mais pas substantiels,
 - l'utilisations de connaissances d'une industrie,
 - des dizaines d'essais nécessaires.

Exemples : arbres tubulaires, télécommande du téléviseur.

3. Solutions transversales pour plusieurs industries (modifications radicales). Elles représentent environ 15% du nombre total de brevets d'invention et sont caractérisées par :
 - l'utilisation de connaissances scientifiques qui dépassent le domaine d'une industrie,
 - des centaines d'essais nécessaires.

Exemples : le pneu radial, le crayon à bille, la souris d'un ordinateur.

4. Solutions transversales pour plusieurs sciences (apparition de produits complètement nouveaux). Elles représentent 3-4% du nombre total de brevets d'invention et sont caractérisées par :
 - l'utilisation des connaissances scientifiques nouvelles,
 - des milliers ou dizaines de milliers d'essais nécessaires.

Exemples : le moteur à combustion interne, le circuit intégré, la réalité virtuelle.

5. Solutions basées directement sur de nouvelles découvertes scientifiques. Elles représentent moins de 1% du nombre total de brevets d'invention et sont caractérisées par :

- l'utilisation de nouvelles découvertes scientifiques,
- des centaines de milliers ou millions d'essais.

Exemples : l'aéroplane, le transistor, l'ordinateur, la photographie, la pénicilline, le moteur à vapeur.

4.2 Evolution des systèmes techniques

L'évolution d'un système technique implique l'augmentation de ces fonctions bénéfiques principales. La veille technologique d'une entreprise par rapport à un de ces produits / processus doit trouver la réponse à 3 questions :

- a) où se trouve le produit / processus sur l'échelle de l'efficacité fonctionnelle ?
- b) quelle est la génération suivante du produit / processus ?
- c) comment peut-on concevoir ou inventer rapidement la génération suivante ?

Pour trouver la réponse à la première question, on utilise les 4 courbes S (figure 2) : la courbe d'évolution de l'indice de performance, la courbe d'évolution du nombre de brevets d'inventions, la courbe d'évolution du niveau d'innovation, la courbe d'évolution du profit. L'analyse de ces courbes nous permet, aussi, d'apprécier quel est le moment où il faut démarrer le processus d'innovation d'un nouveau produit / processus (voir figure 3).

Pour répondre à la deuxième question, on utilise les six méthodologies suivantes :

- A. L'analyse de l'évolution du système technique par rapport au système idéal (résultat final idéal).

Les systèmes évoluent vers l'augmentation de leur idéalité.

$$\text{Idéalité} = \frac{\mathbf{J} \text{ bénéfiques}}{2^{\text{coûts}} + \mathbf{\Lambda} \text{ inconvénients}}$$

Le «résultat final idéal» est le résultat limite d'une évolution orientée vers : l'augmentation des bénéfiques, la diminution des coûts et la diminution des inconvénients (insatisfactions). Le «résultat final idéal» est une description de la situation obtenue après la résolution idéale du problème de conception. Cette description est basée sur les besoins du client et sur les fonctions souhaitées en faisant abstraction du système technique (l'équipement, processus) qui les réalise. Par rapport au problème initial, le «résultat final idéal» a : tous les bénéfiques, tous les avantages, aucun désavantage, aucun coût. La formulation du «résultat final idéal» nous aide pour : éviter le comportement de Sisyphe dans l'activité de conception, dépister l'origine du besoin du client, trouver l'origine du problème, résoudre d'abord le vrai problème. Le «résultat final idéal» décrit la solution du problème technique indépendamment du mécanisme ou des contraintes du problème initial. Il présente tous les avantages sans avoir aucun désavantage (n'occupe pas d'espace, n'a pas de poids, ne consomme pas d'énergie, n'a pas besoin d'entretien). Le «résultat final idéal» présente les caractéristiques suivantes : élimine les déficiences du système initial, préserve les avantages du système initial, n'introduit pas de nouveaux désavantages, ne complique pas le système, utilise des ressources énergétiques gratuites et disponibles.

B. L'analyse des 4 sous-systèmes du système technique pour mettre en évidence les points forts et les points faibles du système.

Les quatre sous-systèmes sont : le moteur (la source d'énergie), la transmission (la composante qui transmet l'énergie du moteur à l'effecteur), l'effecteur (la composante active qui exécute le travail / exécute l'action), le contrôleur (la composante qui contrôle comment l'effecteur accomplit la fonction et confère la consistance aux actions de l'effecteur).

C. L'analyse du stade d'évolution dans lequel se trouve le système.

Les stades d'évolution d'un système sont : le stade de synthèse, le stade d'amélioration, le stade de dynamisation, le stade d'auto-développement.

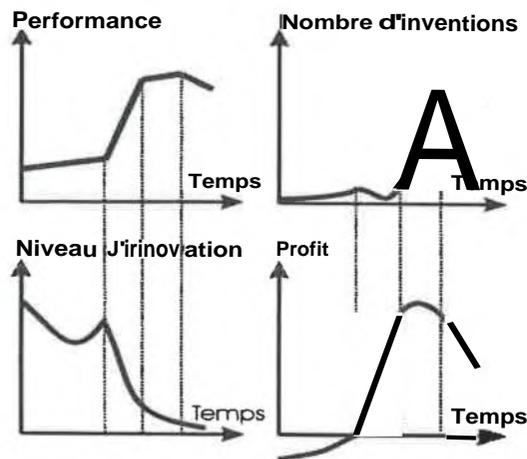


Fig.2. Les quatre courbes S d'analyse d'un produit ou d'un processus

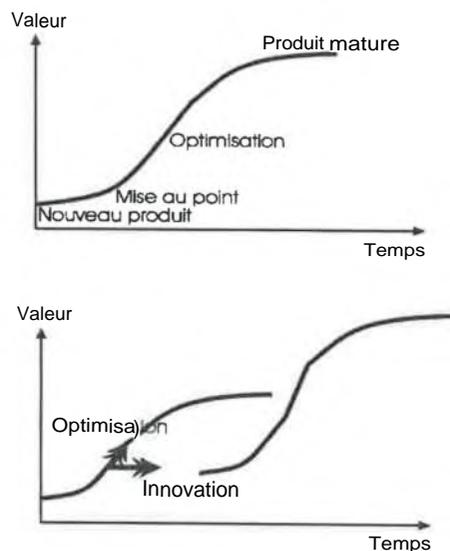


Fig.3. Optimiser et innover, deux stratégies de développement d'un produit ou d'un processus

D. L'analyse du niveau auquel les améliorations s'imposent dans l'ensemble système - super-système

Le super-système est un système technique qui contient le système technique initial comme une partie composante.

E. Identification de différents «effets» appartenant aux autres domaines de la technologie et de la science qui sont potentiellement en relation avec la fonction du système analysé.

L'effet scientifique ou technique est un résultat qui peut être expliqué par les lois de la science (physique, mathématiques, chimie, biologie) et leurs applications industrielles. On utilise donc des effets physiques, des effets chimiques, des effets géométriques.

F. L'utilisation des lois qui gouvernent le développement d'un système technique, exprimées par :

- la complémentarité des composants d'un système technique (les 4 composants d'un système technique doivent exister et bien fonctionner),
- la fluidité de la transmission de l'énergie par le système (la transmission de l'énergie doit être faite avec un rendement maximal par l'intermédiaire d'une substance, d'un champ ou de l'ensemble champ-substance)
- l'harmonisation du rythme des 4 composants (harmonisation en temps et en caractéristiques fonctionnelles),
- l'idéalité (les systèmes techniques évoluent dans la direction de l'augmentation de leur idéalité),
- l'irrégularité dans le développement des composants d'un système technique (l'irrégularité dans le développement des composants augmente avec la complexité du système),
- la transition vers un super-système » (quand toutes les possibilités d'évolution d'un système sont épuisées, le pas suivant est le développement d'un super-système),
- la transition du macro-niveau vers le micro-niveau (tendance d'évolution dans la direction de la miniaturisation),
- la dynamisation (tendance d'évolution d'une structure rigide vers des structures plus flexibles et adaptatives)

Pour répondre à la troisième question, la théorie de la résolution des problèmes créatifs propose les techniques suivantes : la simplification fonctionnelle, les effets scientifiques, la résolution des contradictions, l'interaction substance-champ, les solutions innovantes, la prédiction, le transfert de caractéristiques, l'algorithme de résolution de problèmes créatifs (ARIZ). Cette présentation met l'accent sur la résolution des contradictions dans le processus d'innovation.

5. Résolution des contradictions techniques dans le processus d'innovation

On connaît différents types de contradictions : naturelles (cosmologiques, fondamentales), humaines (individuelles, de management, culturelles), technologiques (techniques, physiques), de logique (mathématiques). La théorie de la résolution des problèmes créatifs offre des méthodes pour résoudre les contradictions techniques et physiques. L'application de cette théorie à la résolution d'autres types de contradictions est en cours.

Les contradictions techniques s'expriment sous la forme suivante : le système ou un élément du système doit avoir une propriété P pour remplir une certaine fonction nécessaire et une propriété "non-P" (contraire à P) pour satisfaire les conditions du problème. On peut aussi exprimer ce type de contradiction par : en améliorant une caractéristique du système (ou d'un élément du système), on détériore implicitement et involontairement une autre caractéristique du même système (ou du même élément du système). Exemples : on souhaite augmenter l'incandescence du cordon de soudure et diminuer la température du procès ; on souhaite augmenter la rigidité d'une plaque et en même temps diminuer son épaisseur.

Les contradictions physiques sont générées quand on demande des caractéristiques physiques contradictoires pour le même système (ou pour le même élément du système). Exemple : un avion doit avoir une forme aérodynamique mais en même temps il doit avoir des protubérances ou des concavités pour le train d'atterrissage.

Pour la résolution des contradictions techniques, la théorie de la résolution des problèmes créatifs utilise les entités standard, les principes d'innovation et la matrice de contradictions. Pour la résolution des contradictions physiques, cette théorie utilise les solutions innovantes basées sur l'interaction substance - champ [2].

5.1 *Entités standard*

Altschuller a formulé 39 entités (caractéristiques) standard, utilisées pour décrire les contradictions techniques :

1. Masse / poids d'un objet mobile
2. Masse / poids d'un objet fixe
3. Longueur d'un objet mobile
4. Longueur d'un objet fixe
5. Surface d'un objet mobile
6. Surface d'un objet fixe
7. Volume d'un objet mobile
8. Volume d'un objet fixe
9. Vitesse
10. Force
11. Contrainte ou pression
12. Forme
13. Stabilité de la composition d'un objet
14. Résistance
15. Durée de l'action d'un objet mobile
16. Durée de l'action d'un objet fixe
17. Température
18. Brillance
19. Utilisation d'énergie d'un objet mobile
20. Utilisation d'énergie d'un objet fixe
21. Puissance
22. Perte d'énergie
23. Perte de substance
24. Perte d'information
25. Perte de temps

26. Quantité de substance
27. Fiabilité
28. Précision de la mesure
29. Précision de l'usinage
30. Facteurs néfastes agissant sur l'objet
31. Facteurs néfastes générés par l'objet
32. Usinabilité
33. Facilité d'utilisation
34. Facilité de réparation
35. Adaptabilité
36. Complexité de l'appareil
37. Difficultés de détection et de mesure
38. Degré d'automatisation
39. Productivité

Ces entités (caractéristiques) standard regroupent des milliers de paramètres utilisés pour décrire un système technique.

5.2 *Principes d'innovation*

Altschuller a formulé 40 principes d'innovation pour résoudre les 1482 contradictions techniques possibles entre les 39 entités standard. Ces principes sont :

1. Segmentation (fragmentation)

- Diviser un objet en pièces indépendantes
- Faciliter l'assemblage/désassemblage d'un objet
- Accroître le degré de fragmentation (ou de segmentation) d'un objet

2. Extraction (séparation)

- Extraire un élément ou une propriété nuisible d'un objet
- Isoler un élément ou une propriété utile d'un objet

3. Qualité locale

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

4. Asymétrie

- Remplacer la forme symétrique d'un objet par une forme asymétrique
- Si l'objet est déjà asymétrique, accroître son degré d'asymétrie

5. Combinaison

- Rapprocher ou fusionner des objets identiques ou similaires
- Assembler des parties identiques ou similaires pour réaliser des opérations parallèles
- Combiner ou paralléliser des actions
- Rapprocher dans le temps les actions

6. Universalité

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

7. Emboîtement («poupées russes »)

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

8. Contrepoids

- Contrebalancer la masse d'un objet en le combinant avec un autre qui le soulève
- Compenser la masse d'un objet en le faisant interagir avec son environnement (par exemple, en utilisant une force aérodynamique, hydrodynamique ou de flottabilité, etc.)

9. Action inverse préliminaire

- Si l'action à exécuter présente à la fois des effets utiles et néfastes, celle-ci devra être précédée d'actions inverses contrôlant les effets néfastes
- Créer des contraintes internes de l'objet, qui s'opposeront aux contraintes néfastes de l'objet en fonctionnement

10. Action préliminaire

- Réaliser à l'avance (entièrement ou partiellement) un changement requis plus tard
- Pré-positionner idéalement les objets de façon à ce qu'ils entrent en action efficacement et sans perte de temps

11. Protection préliminaire (compensation)

- Compenser le manque de fiabilité/sûreté de l'objet par des contre-mesures prises à l'avance

12. Equipotentialité

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

13. Inversion (retourner le problème)

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

14. Sphéricité

- Remplacer des parties, surfaces ou formes rectilignes par des curvilignes, des surfaces planes par des surfaces sphériques ou des pièces en forme de parallélépipède par des structures sphériques
- Utiliser des rouleaux, des billes, des spirales, des dômes
- Remplacer une translation par une rotation
- Utiliser la force centrifuge

15. Mobilité

- Permettre ou concevoir des changements de caractéristiques d'un objet, de l'environnement extérieur ou du procédé pour que le fonctionnement devienne optimal ou pour trouver des conditions de fonctionnement optimales
- Diviser un objet en plusieurs éléments mobiles les uns par rapport aux autres
- Si un objet (ou un procédé) est rigide ou inflexible, le rendre mobile ou adaptable

16. Action partielle ou excessive

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

17. Changement de dimension

- Déplacer un objet dans un espace bidimensionnel ou tridimensionnel
- Utiliser un assemblage multicouche d'objets plutôt qu'un assemblage monocouche
- Incliner ou réorienter l'objet, le poser sur le côté
- Utiliser l'autre face d'une surface donnée

18. Vibrations mécaniques

- Faire osciller ou vibrer un objet
- Si l'oscillation existe, accroître sa fréquence (même jusqu'aux ultrasons)
- Utiliser la fréquence de résonance d'un objet
- Utiliser des vibrations piézoélectriques au lieu de vibrations mécaniques
- Combiner ultrasons et champ électromagnétique

19. Action périodique

- Remplacer une action continue par une action périodique ou pulsative
- Si l'action est déjà périodique, modifier sa fréquence ou son amplitude
- Utiliser les pauses entre les impulsions pour accomplir une action

20. Continuité d'une action utile

- Privilégier une action continue (sans pause), où toutes les parties d'un objet agissent à plein régime
- Eliminer ou diminuer les temps morts

21. Grande vitesse

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

22. Application bénéfique d'un effet néfaste

- Utiliser les facteurs néfastes (en particulier les effets néfastes de l'environnement) pour obtenir un effet positif
- Annuler l'effet d'un facteur néfaste en le combinant avec un autre facteur néfaste
- Accroître un effet néfaste jusqu'à ce qu'il ne soit plus nuisible

23. Rétroaction

- Introduire un feed-back afin d'améliorer un procédé ou une action
- Si le feed-back est déjà utilisé, modifier son ampleur ou son influence

24. Intermédiaire

- Utiliser un objet intermédiaire
- Combiner provisoirement un objet à un autre (opération facilement réversible)

25. Self-service

- Faire en sorte que l'objet se suffise à lui-même en effectuant des fonctions auxiliaires utiles
- Réutiliser les résidus énergétiques et matériels

26. Copie

- Utiliser des copies simplifiées et bon marché plutôt qu'un objet complexe, cher ou fragile
- Remplacer un objet ou un procédé par sa copie optique
- Si les copies optiques sont déjà utilisées, utiliser les copies infrarouges ou ultraviolettes

27. Ephémère et bon marché

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

28. Remplacer les éléments mécaniques

- Remplacer un système mécanique par un système sensoriel (optique, acoustique ou olfactif)
- Utiliser des champs électriques, magnétiques ou électromagnétiques pour interagir avec l'objet
- Remplacer les champs statiques par des champs mobiles, les champs aléatoires par des champs structurés
- Utiliser les champs en conjonction avec des particules activées par ces champs (ex. ferromagnétiques)

29. Systèmes pneumatiques et hydrauliques

- Remplacer les parties solides d'un objet par un gaz ou un liquide ; par exemple, objets gonflables, à coussin d'air hydrostatique ou hydrodynamique

30. Membrane flexible et film mince

- Remplacer les structures tridimensionnelles par des membranes flexibles et des films minces
- Isoler l'objet de son environnement en utilisant des membranes flexibles et des films minces

31. Matériau poreux

- Rendre un objet poreux ou lui adjoindre des éléments poreux (inserts, couvercles, etc.)
- Si l'objet est déjà poreux, remplir les pores d'une substance ou d'une fonction utile

32. Changement de couleur

- Modifier la couleur d'un objet ou de son environnement extérieur
- Modifier le degré de transparence d'un objet ou de son environnement extérieur

33. Homogénéité

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

34. Eliminer et récupérer

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

35. Changement de paramètres

- Modifier l'état physique d'un objet (ex. sous forme de gaz, de liquide ou de solide)
- Changer la concentration ou la consistance

- Modifier le degré de flexibilité
 - Modifier la température
36. Transition de phases
- Utiliser les phénomènes associés aux changements de phases (changement de volume, perte ou absorption de chaleur, etc.)
37. Dilatation thermique
- Utiliser la dilatation (ou contraction) thermique des matériaux
 - Si la dilatation est déjà utilisée, utiliser des matériaux différents avec des coefficients de dilatation thermique différents
38. Oxydants puissants
- Remplacer de l'air normal par de l'air enrichi
 - Remplacer l'air enrichi par de l'oxygène pur
 - Exposer l'air ou l'oxygène à des radiations ionisantes
 - Utiliser de l'oxygène ozonisé
 - Remplacer l'oxygène ozonisé (ou ionisé) par l'ozone
39. Atmosphère inerte
- Remplacer un environnement normal par un environnement inerte
 - Ajouter des pièces neutres ou des additifs inertes à un objet
40. Matériaux composites
- Remplacer un matériau homogène par un matériau composite

Les développements ultérieurs de la méthode ont tendance à augmenter le nombre de principes d'innovation. WOIS utilise 46 principes en ajoutant les 6 principes suivants : changement de l'environnement, admettre l'inadmissible, fonction activée par un besoin, activer les éléments très passifs, utilisation des éléments standard pour des fonctions non-standard, effet de Coulomb. Dans les versions modernes du TRIZ, 10 autres principes sont ajoutés [12] : utilisation des pauses, action à plusieurs étapes, utilisation de la mousse, introduction des composants, bipolarité, application des explosifs et des poudres, assemblage sur / dans l'eau, utilisation du vide, dissociation - association, auto-organisation.

5.3 *Matrice de résolution des contradictions*

Pour indiquer les principes d'innovation utiles pour résoudre les 1482 contradictions techniques possibles entre les 39 entités standard, on peut utiliser la "matrice" de résolution des contradictions (tableau 2). Elle est en fait un tableau carré avec n lignes et n colonnes, où n est le nombre d'entités standard ($n=39$ dans la matrice proposée par Altshuller). Dans chaque case (i,j) $i \neq j$ située à l'intersection de la ligne i avec la colonne j , on trouve les principes d'innovation utiles pour résoudre la contradiction entre l'entité i qu'il faut améliorer et l'entité j , qui, par cette amélioration, se trouve détériorée sans le vouloir.

Exemple d'utilisation des entités standard, des principes d'innovation et de la matrice de résolution des contradictions (tableau 2) pour résoudre un problème créatif par une démarche

qui part d'un problème spécifique vers une solution spécifique en passant par un problème général et une solution générale (Fig.1).

Problème spécifique : on souhaite trouver une solution pour chauffer l'habitacle d'une voiture avec ventilation, sans climatisation, dès le démarrage du moteur le matin dans des conditions hivernales.

Contexte : la voiture a passé la nuit à des températures basses. Le matin, la température de l'habitacle de la voiture, du moteur et du liquide de refroidissement du moteur coïncide avec la température extérieure (environ 5°C). Dans ces conditions l'utilisation de la ventilation devient efficace seulement après un certain temps (de quelques dizaines de minutes, selon le type de véhicule) nécessaire pour l'échauffement du moteur et du liquide de refroidissement qui joue le rôle d'agent thermique pour le système de chauffage de l'habitacle.

Contraintes : ne pas augmenter la consommation de carburant pour le chauffage de l'habitacle, ne pas consommer un autre combustible pour le chauffage, ne pas utiliser l'énergie de la batterie, ne pas nuire au bon fonctionnement du moteur, la voiture doit partir toute suite après le démarrage du moteur.

Problème général : on souhaite augmenter la température sans augmenter la consommation de carburant. Ce problème général peut être formalisé par une contradiction technique entre l'entité standard n°17 - la température (la caractéristique à améliorer) et le l'entité n°23 - la perte de substance (la caractéristique détériorée par consommation de carburant).

Solution générale : pour éliminer la contradiction "augmenter la température sans perte de substance", la matrice des contradictions (Tableau 2) indique, à l'intersection de la ligne 17 et de la colonne 23, l'utilisation d'un des principes d'innovation 21, 29, 31 ou 36. L'ordre dans laquelle ces principes sont indiqués n'est pas important. L'utilisation du principe 36 — transition de phase — peut constituer une très bonne solution pour ce problème. On connaît des substances dont la transition de phase de l'état liquide à l'état solide s'accompagne d'un dégagement de chaleur, comme par exemple l'acétate de sodium (CH_3COONa), qui a une température de transition de phase de 50-55°C. L'utilisation de la transition de phase d'une telle substance représente la solution générale du problème général d'augmenter la température sans consommer de substance.

Solution spécifique : on peut imaginer l'introduction d'une "batterie" à base d'acétate de sodium dans le circuit de refroidissement du moteur, pour chauffer le liquide de refroidissement au démarrage du moteur le matin. Le passage de l'état liquide à l'état solide (la solidification) peut être déclenché par une commande (par pulsation par exemple) en même temps que le démarrage au froid. Quand la température du liquide de refroidissement dépasse 55°C, l'acétate de sodium accumule l'énergie thermique en se liquéfiant. L'énergie accumulée sera cédée pendant la solidification à l'occasion d'un nouveau démarrage au froid la journée suivante.

Tableau 2. La "matrice" de résolution des contradictions

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	4	-	15, 8, 29, 34	-	29, 17, 38, 34	-	29, 2, 40, 28	-	2, 8, 15, 38	8, 10, 18, 37	10, 36, 37, 40	10, 14, 35, 40	1, 35, 28, 27, 19, 39	5, 34, 31, 35	-	6, 29, 4, 38	19, 1, 32	35, 12, 34, 31	
2	-	+	-	10, 1, 29, 35	-	35, 30, 13, 2	-	5, 35, 14, 2	-	8, 10, 19, 35	13, 29, 10, 18	13, 10, 29, 14	26, 39, 1, 40	28, 2, 10, 27	-	2, 27, 19, 6	28, 19, 32, 22	19, 32, 35	-
3	8, 15, 29, 34	-	*	-	15, 17, 4	-	7, 17, 4, 35	-	13, 4, 8	17, 10, 4	1, 8, 35	1, 8, 10, 29	1, 8, 15, 34	8, 35, 29, 34	19	-	10, 15, 19	32	8, 35, 24
4	-	35, 28, 40, 29	-	*	-	12, 7, 10, 40	-	35, 8, 2, 14	-	28, 10	1, 14, 35	13, 14, 15, 7	39, 37, 35	15, 14, 28, 26	-	1, 10, 35	3, 35, 38, 18	3, 25	-
5	2, 17, 29, 4	-	14, 15, 18, 4	-	+	-	7, 14, 17, 4	-	29, 30, 4, 34	19, 30, 35, 2	10, 15, 36, 28	5, 34, 29, 4	11, 2, 13, 39	3, 15, 40, 14	6, 3	-	2, 15, 16	15, 32, 19, 13	19, 32
6	-	30, 2, 14, 18	-	26, 7, 9, 39	-	*	-	-	-	1, 18, 35, 36	10, 15, 36, 37	-	2, 38	40	-	2, 10, 19, 30	35, 39, 38	-	-
7	2, 26, 29, 40	-	1, 7, 4, 35	-	1, 7, 4, 17	-	4	-	29, 4, 38, 34	15, 35, 36, 37	6, 35, 36, 37	1, 15, 29, 4	28, 10, 1, 39	9, 14, 15, 7	6, 35, 4	-	34, 39, 2, 13, 10	35	-
8	-	35, 10, 19, 14	19, 14	-	35, 8, 2, 14	-	-	4	-	2, 18, 37	24, 35	7, 2, 35	34, 28, 35, 40	9, 14, 17, 15	-	35, 34, 38	35, 6, 4	-	-
9	2, 28, 13, 38	-	13, 14, 8	-	29, 30, 34	-	7, 29, 34	-	+	13, 28, 15, 19	6, 18, 38, 40	35, 15, 18, 34	28, 33, 1, 18	8, 3, 26, 14	3, 19, 35, 5	-	28, 30, 36, 2	10, 13, 19	8, 15, 35, 38
10	8, 1, 37, 18	18, 13, 1, 28	17, 19, 9, 36	28, 10	19, 10, 15	1, 18, 36, 37	15, 9, 12, 37	2, 36, 18, 37	13, 28, 15, 12	#	18, 21, 11	10, 35, 40, 34	35, 10, 21	35, 10, 14, 27	19, 2	-	35, 10, 21	-	19, 17, 10
11	10, 36, 37, 40	13, 29, 10, 18	35, 10, 36	35, 1, 14, 16	10, 15, 36, 28	10, 15, 36, 37	6, 35, 10	35, 24	6, 35, 36	36, 35, 21	-	35, 4, 15, 10	35, 33, 2, 40	9, 18, 3, 40	19, 3, 27	-	35, 39, 19, 2	14, 24, 1a, 37	
12	8, 10, 29, 40	15, 10, 26, 3	29, 34, 5, 4	13, 14, 10, 7	5, 34, 4, 10	-	14, 4, 15, 22	7, 2, 35	35, 15, 34, 18	35, 10, 37, 40	34, 15, 10, 14	-	33, 1, 18, 4	30, 14, 10, 40	14, 26, 9, 25	-	22, 14, 19, 32	13, 15, 32	2, 6, 34, 14
13	21, 35, 2, 39	26, 39, 1, 40	13, 15, 1, 28	37	2, 11, 13	39	28, 10, 19, 39	34, 28, 35, 40	28, 18	21, 16	40	22, 1, 18, 4	*	17, 9, 15	13, 27, 10, 35	39, 3, 35, 23	35, 1, 32	32, 3, 27, 16	13, 19
14	1, 8, 40, 15	40, 26, 27, 1	1, 15, 8, 35	15, 14, 28, 26	3, 34, 40, 29	9, 40, 28	10, 15, 14, 7	9, 14, 17, 15	8, 13, 3, 14	10, 18, 3, 14	10, 3, 18, 40	10, 30, 35, 40	13, 17, 35	27, 3, 26	-	30, 10, 40	35, 19	19, 35, 10	19, 35, 10
16	19, 5, 34, 31	-	2, 19, 9	-	3, 17, 19	-	10, 2, 19, 30	-	3, 35, 5	19, 2, 16	19, 3, 27	14, 26, 28, 25	13, 3, 35	27, 3, 10	-	-	19, 35, 39	2, 19, 4, 35	28, 6, 35, 18
16	-	6, 27, 19, 16	-	1, 40, 35	-	-	-	35, 34, 38	-	-	-	39, 3, 35, 23	-	-	-	4	19, 18, 36, 40	-	-
17	36, 22, 6, 38	22, 35, 32	15, 19, 9	15, 19, 3, 35, 39, 18	35, 38	34, 39, 40, 18	35, 6, 40, 18	2, 28, 36, 30	35, 10, 3, 21	35, 39, 19, 2	14, 22, 19, 32	1, 35, 32	10, 30, 22, 40	19, 13, 39	19, 18, 36, 40	-	32, 30, 12, 16	19, 15, 3, 17	
18	19, 1, 32	2, 35, 32	19, 32, 16	19, 32, 26	-	2, 13, 10	10, 13, 19	26, 19, 6	32, 30	32, 3, 27	35, 19	32, 3, 27	35, 19	2, 19, 6	-	32, 35, 19	32, 1	32, 1, 19	
19	12, 18, 28, 31	-	12, 28	-	15, 19, 25	-	35, 13, 18	-	8, 35, 35	16, 26, 21, 2	23, 14, 25	12, 2, 29	19, 13, 17, 24	5, 19, 9, 35	28, 35, 6, 18	-	19, 24, 3, 14	2, 15, 19	4
20	-	19, 9, 6, 27	-	-	-	-	-	-	-	36, 37	-	27, 4, 29, 18	35	-	-	-	19, 2, 35, 32	-	-
21	8, 36, 38, 31	19, 26, 17, 27	1, 10, 35, 37	-	19, 38	17, 32, 13, 38	35, 6, 38	30, 6, 25	15, 35, 2	26, 2, 36, 35	22, 10, 35	29, 14, 2, 40	35, 32, 15, 31	26, 10, 28, 10	19, 35, 10, 38	16	2, 14, 17, 25	16, 6, 19, 37	
22	15, 6, 19, 28	19, 6, 18, 9	7, 2, 6, 13	6, 38, 17, 30	15, 26, 17, 30	17, 7, 18, 23	7, 18, 23	7	16, 35, 38	36, 38	-	-	14, 2, 39, 6	26	-	19, 38, 32, 15	1, 13, 32, 15	-	
23	35, 6, 23, 40	35, 6, 22, 32	14, 29, 10, 39	10, 28, 24	35, 2, 10, 31	10, 18, 39, 31	1, 29, 3, 39, 18, 31	3, 39, 18, 31	10, 13, 28, 38	H, 15, 18, 40	3, 36, 37, 10	29, 35, 3, 5	2, 14, 30, 40	35, 28, 31, 40	28, 27, 3, 18	27, 16, 18, 38	21, 36, 39, 31	1, 6, 13, 24, 5	
24	10, 24, 35	10, 35, 5	1, 26	26	30, 26	30, 16	-	2, 22	26, 32	-	-	-	-	-	10	10	19	-	-
25	10, 20, 37, 35	10, 20, 26, 5	15, 2, 29	30, 24, 14, 5	26, 4, 5, 16	10, 35, 17, 4	2, 5, 34, 10	35, 16, 32, 13	-	10, 37, 36, 5	37, 34, 17	4, 10, 34, 17	35, 3, 22, 5	29, 3, 28, 18	20, 10, 28, 10	16	2, 14, 17, 25	16, 6, 19, 37	
26	35, 6, 18, 31	27, 26, 18, 35	29, 14, 35, 18	-	15, 14, 29	2, 18, 25, 29	15, 20, 40, 4	-	35, 29, 34, 28	35, 14, 3	10, 36, 14, 3	35, 14	15, 2, 17, 40	14, 35, 10, 40	26	-	19, 38, 32, 15	1, 13, 32, 15	
27	3, 3, 10, 40, 40	3, 10, 8, 28	15, 9, 14, 4	15, 29, 28, 11	17, 10, 14, 16	32, 35, 40, 4	3, 10, 14, 24	2, 35, 24	21, 35, 11, 28	8, 28, 10, 3	10, 24, 35, 19	35, 1, 16, 11	-	11, 28	2, 35, 3, 25	34, 27, 6, 40	3, 35, 10	11, 32, 13	21, 11, 27, 19
28	32, 35, 26, 28	28, 35, 25, 26	28, 26, 5, 16	32, 28, 3, 16	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	26, 28, 32, 3	28, 13, 32, 24	32, 2	6, 28, 32	6, 28, 32	32, 35, 13	28, 6, 32	28, 6, 32	10, 26, 24	6, 19, 28, 24	6, 1, 3, 32	
29	28, 32, 13, 18	28, 35, 27, 9	10, 28, 29, 37	2, 32, 10	28, 33, 29, 32	2, 29, 18, 36	32, 23, 2	25, 10, 35	10, 28, 32	28, 19, 34, 36	3, 35	32, 30, 40	30, 18	3, 27, 40	-	19, 26	3, 32	32, 2	
30	22, 21, 17, 29	2, 22, 13, 24	17, 1, 39, 4	1, 18	22, 1, 33, 28	27, 2, 39, 35	22, 23, 37, 35	34, 39, 19, 27	21, 22, 35, 28	13, 35, 39, 18	22, 2, 37	22, 1, 3, 35	35, 24, 30, 18	18, 35, 37, 1	22, 15, 33, 28	17, 1, 40, 33	22, 33, 35, 2	1, 19, 32, 13	1, 24, 6, 27
31	19, 22, 15, 39	35, 32, 1, 39	17, 15, 16, 22	-	17, 2, 18, 39	22, 1, 40	17, 2, 40	30, 18, 35, 4	35, 28, 3, 23	35, 28, 1, 40	2, 33, 27, 18	35, 1	35, 40, 27, 39	15, 35, 22, 2	33, 31	16, 22	21, 39, 2, 24	22, 35, 19, 24, 39, 32	2, 35, 6
32	28, 29, 15, 16	1, 27, 36, 13	1, 29, 13, 17	15, 17, 27	13, 1, 26, 12	16, 40	13, 29, 1, 40	35	35, 13, 8, 1	35, 12	1, 28, 1, 37	1, 28, 1, 37	11, 13, 1, 10, 32	1, 3, 10, 32	27, 1, 4	35, 16	27, 26, 18, 27, 1	28, 24, 27, 1	
33	25, 2, 13, 15	6, 13, 1, 25	1, 17, 1, 12	-	1, 17, 13, 16	18, 16, 15, 39	1, 16, 35, 15	4, 18, 39, 31	18, 13, 34	28, 13, 35	2, 32, 12	15, 34, 29, 28	32, 35, 30	32, 40, 29, 3	3, 28, 8, 25	29, 3, 25	1, 16, 26, 27, 13, 17	13, 1, 24	1, 13, 24
34	2, 27, 35, 11	2, 27, 35, 11	1, 28, 10, 25	3, 18, 31	15, 13, 32	16, 25	25, 2, 35, 11	1	34, 9	1, 11, 10	13	1, 13, 2, 4	2, 35	11, 1, 2, 9	11, 29, 28, 22	1	4, 10	15, 1, 13	15, 1, 28, 16
35	1, 6, 26, 30, 34, 36	19, 15, 29, 16	35, 1, 29, 2	1, 35, 16	35, 30, 29, 7	15, 16	15, 35, 34, 26, 6	-	35, 10, 14	15, 17, 20	35, 16	15, 37, 14	35, 30, 32, 6	35, 3, 13, 1	13, 1, 35	2, 16	27, 2, 3, 38	6, 22, 26, 1	19, 35, 29, 13
36	27, 26, 28, 13	6, 13, 28, 1	16, 17, 26, 24	26	2, 13, 18, 17	2, 39, 30, 16	29, 1, 4, 16	2, 18, 26, 31	3, 4, 16, 35	30, 28, 40, 19	35, 36, 37, 32	27, 13, 1, 39	11, 22, 39, 30	27, 3, 15, 28	19, 29, 39, 25	6, 35	3, 27, 25, 34, 35, 16	3, 27, 13, 24	35, 38
37	28, 26, 18, 35	28, 26, 35, 10	14, 13, 17, 28	23	17, 14, 13	35, 13, 16	-	35, 13, 16	28, 10	2, 35	13, 35	15, 32, 13	18, 1	25, 13	6, 9	-	26, 2, 19, 19	8, 32, 19	2, 32
39	35, 26, 24, 37	28, 27, 15, 3	28, 33	30, 7, 14, 26	10, 26, 34, 31	10, 35, 17, 7	35, 37, 34, 10	10, 2	28, 15, 10, 36	10, 37, 14	14, 10	35, 3, 22, 39	29, 28, 10, 18	35, 10, 2, 18	20, 10, 16, 38	35, 21, 28, 10	26, 17, 19, 1	35, 10, 38, 19	

	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
1	-	12,36, 18,31	6,2, 34,19	5,35, 3,31	10,24, 35	10,35, 20,28	3,26, 18,31	1,3, 11,27	28,27, 35,26	28,35, 26,18	22,21, 18,27	22,35, 31,39	27,28, 1,36	35,3, 2,24	2,27, 28,11	29,5, 15,8	26,30, 36,34	28,29, 26,32	26,35, 18,19	35,3, 24,37
2	18,19, 28,1	15,19, 18,15	18,19, 28,15	5,8, 13,30	10,20, 35	10,20, 35,26	19,6, 18,26	10,28, 8,3	18,26, 28	10,1, 35,17	2,19, 22,37	35,22, 1,39	28,1, 9	6,13, 1,32	2,27, 28,11	19,15, 29	1,10, 26,39	25,28, 17,15	2,26, 35	1,28, 15,35
3	-	1,35	7,2, 35,39	4,29, 23,10	1,24	15,2, 29	10,14, 29,40	28,32, 4	10,28, 29,37	1,15, 17,24	17,15	1,29, 15,17	15,29, 35,4	1,28, 10	14,15, 1,16	1,19, 26,24	1,19, 26,24	35,1, 26,16	17,24, 26,16	14,4, 28,29
4	-	12,8	6,28	10,28, 24,35	24,26,	30,29, 14	29,30, 6,13	29,9	26,28, 32,3	2,32	22,33, 28,1	17,2, 13,39	13,1, 26,24	15,17, 13,16	15,13, 10,1	15,30	14,1, 13	2,36, 26,18	14,30, 28,23	10,26, 34,2
5	-	19,10, 32,18	15,17, 30,26	10,35, 2,39	30,26	26,4	29,30, 6,13	29,9	26,28, 32,3	2,32	22,33, 28,1	17,2, 13,39	13,1, 26,24	15,17, 13,16	15,13, 10,1	15,30	14,1, 13	2,36, 26,18	14,30, 28,23	10,26, 34,2
6	-	17,32	17,7, 30	10,14, 18,39	30,16	10,35, 4,18	2,18, 40,4	32,35, 40,4	26,28, 32,3	2,29, 18,36	27,2, 39,35	22,1, 40	40,16	16,4	16	15,16	1,18, 36	2,35, 30,18	23	10,15, 17,7
7	-	35,6, 13,18	7,15, 13,16	36,39, 34,10	2,22	2,6, 34,10	29,30, 7	14,1, 40,11	26,26, 28	25,28, 2,16	22,21, 27,35	17,2, 40,1	29,1, 40	15,13, 30,12	10	15,29	26,1	29,26, 4	35,34, 16,24	10,6, 2,34
8	-	30,6	10,39, 35,34	10,39, 35,34	35,16, 32,18	35,3	35,3	2,35, 16	35,10, 25	34,7, 30,18	34,7, 30,18	19,27, 35,4	35	1		1,31	2,17, 26		35,37, 10,2	
9	-	19,35, 38,2	14,20, 28,38	10,13, 28,38	13,26	10,19, 29,38	11,35, 27,28	28,32, 1,24	10,28, 32,25	1,28, 35,23	2,24, 35,21	35,13, 8,1	32,28, 13,12	34,2, 28,27	15,10, 26	10,28, 4,34	3,34, 27,16		10,18	
10	1,16, 36,37	19,35, 13,37	14,15	8,35, 40,5	10,37, 36	14,29, 18,36	3,35, 13,21	35,10, 23,24	28,29, 37,36	1,35, 40,18	13,3, 36,24	15,37, 18,1	3,25	11	18,20	10,18	26,35, 10,19	36,37, 10,19	2,35	3,28, 35,37
11	-	10,35, 14	2,36, 25	10,36, 3,37	37,36, 4	10,14, 36	10,13, 19,35	6,28, 25	3,35	22,2, 37	2,33, 27,18	1,35, 16	11	2	35	19,1, 35	2,36, 37	35,24	10,14, 35,37	
12	-	4,6,2	14	35,29, 3,5	14,10, 34,17	36,22	10,40, 16	28,32, 1	32,30, 40	22,1, 2,35	35,1	1,32, 17,28	32,15, 26	2,13, 1	1,15, 18,20	16,29	15,13, 1,28	15,1, 32	17,26, 34,10	
13	27,4, 29,18	32,35, 27,31	14,2, 39,6	2,14, 30,40	35,27	15,32, 30	13	18	35,24, 30,18	35,40, 27,39	35,19	32,35, 30	2,35, 10,16	35,30, 34,2	2,35, 34,2	2,35, 22,26	33,29, 39,23	35	2,35, 40,3	
14	35	10,26, 35,28	35	35,28, 31,40	29,3, 28,10	29,3, 28,10	11,3	3,27, 16	3,27	3,27	18,35, 37,1	15,35, 22,2	11,3, 10,32	32,40, 3	15,3, 32	2,13, 25,28	2,13, 15,40	27,3, 15,40	15	29,35, 10,14
15	-	19,10, 35,38	28,27, 3,18	10	20,10, 28,18	3,35, 10,40	11,2, 13	3	3,27, 16,40	22,15, 16,22	21,39, 16,22	27,1, 4	12,27	29,10, 13	1,35, 13	10,4, 29,15	19,29, 29,15	6,10	35,17, 14,19	
16	-	16	27,16, 18,38	10	28,20, 10,16	3,35, 31	34,27, 6,40	10,26, 24	17,17, 40,33	22	35,10	1	1	2		25,34, 6,35	1	20,10, 16,38		
17	-	2,14, 17,25	21,17, 35,38	21,36, 29,31	35,28, 21,18	3,17, 30,39	3,17, 3,10	32,19, 24	24	22,33, 35,2	22,35, 2,24	26,27	26,27	4,10, 16	2,18, 27	2,17, 16	3,27, 35,31	26,2, 19,16	15,28, 35	
18	32,35, 1,15	32	13,16, 1,6	13,1	1,6	19,1, 26,17	1,19	11,15, 32	3,32	15,19	35,19, 32,39	19,35, 28,26	28,26, 19	15,17, 1,19	15,1, 13	6,32, 13	32,15	2,26, 10	2,25, 16	
19	-	6,19, 37,18	12,22, 15,24	35,24, 18,5	35,38, 19,18	34,23, 16,18	19,21, 11,27	3,1, 32	1,35, 6,27	2,35, 6	28,26, 30	19,35	1,15, 17,28	15,17, 13,16	2,29, 27,28	35,38	32,2	12,28, 35		
20	*		28,27, 18,31		3,35, 31	10,36, 23			10,2, 22,37	19,22, 18	1, *					19,35, 16,25		1,6		
21	-		10,35, 28,27, 38	18,38	10,19	35,20, 10,6	4,34, 19	19,24, 26,31	32,15, 2	32,2	19,22, 31,2	2,35, 18	26,10, 34	26,35, 10	35,2, 10,34	19,17, 34	20,19, 30,34	19,35, 16	28,2, 28,35	
22	-	3,38	35,27, 2,37	19,10	10,13, 32,7	7,18, 25	11,10, 35	32		21,22, 35,2	21,35, 2,22		35,32, 1	2,19		7,23	35,3, 15,23	2	28,10, 29,35	
23	28,27, 12,31	28,27, 18,38	35,27, 2,31	v	15,18, 35,10	6,3, 10,24	10,29, 39,35	16,34, 31,28	35,10, 24,31	33,22, 30,40	10,1, 34,29	15,34, 33	32,28, 2,24	2,35, 34,27	15,10, 2	35,10, 28,24	35,18, 10,13	35,10, 18	28,35, 10,23	
24	-	10,19	19,10		24,26, 28,32	35,38, 23	10,28, 23		22,10, 1,22	10,21, 22	32	27,22				35,33	35	13,23, 15		
25	1	35,20, 10,6	10,5, 18,32	35,18, 10,39	24,26, 28,32	35,38, 18,16	10,30, 4,28	24,34, 28,32	24,26, 28,18	35,18, 18,39	35,22, 34,4	35,28, 34,4	4,28, 10,34	32,1, 35,28	6,29	18,28, 32,10	24,28, 35,30			
26	3,35, 31	35	7,18, 25	6,3, 10,24	24,28, 35	35,38, 18,16	18,3, 28,40	13,2, 33,30	35,33, 29,31	3,35, 40,39	29,1, 35,27	35,29, 25,10	2,32, 10,25	15,3, 29	3,13, 27,10	3,27, 29,18	8,35	13,29, 3,27		
27	36,23	21,11, 26,31	10,11, 35	10,35, 29,39	10,28	10,30, 4	21,28, 40,3	ht	11,32, 23	27,35, 2,40	35,2, 40,26	27,17, 40	1,11	13,35, 8,24	13,35, 28	27,40, 28	11,13, 27	1,35, 29,38		
28	-	3,6, 32	26,32, 27	10,16, 31,28	24,34, 28,32	2,6, 28,32	5,11, 1,23		28,24, 22,26	3,33, 39,10	6,35, 25,18	1,13, 17,34	1,32, 13,11	1,32, 13,11	2	27,35, 10,34	26,24, 32,28	28,2, 10,34	28,32	
29	-	32,2	13,32, 2	35,31, 10,24	32,26, 28,18	32,30	11,32, 1		26,28, 10,36	4,17, 34,26		1,32, 35,23	25,10		26,2, 18		26,28, 10,18	32,39		
30	10,2, 22,37	19,22, 31,2	21,22, 35,2	33,22, 19,40	22,10, 2	35,18, 34	35,33, 29,31	27,24, 2,40	28,33, 23,26	26,23, 10,18	4		24,35, 2	2,25, 28,39	35,10, 2	35,11, 22,19	22,19, 29,40	33,3, 34	22,35, 13,24	
31	19,22, 18	2,35, 18	21,35, 2,22	10,1, 34	10,21, 29	1,22	3,24, 39,1	24,2, 40,39	3,33, 4,17, 34,26						19,1, 31	2,21, 27,1	2,21, 27,1	2	22,35, 18,39	
32	1,4	27,1, 12,24	19,35	15,34, 33	32,24, 15,16	35,28, 34,4	35,23, 1,24		1,35, 12,18		24,2	*	2,5, 13,16	35,1, 11,9	2,13, 15	27,26, 1	6,23, 11,1	8,28, 1	35,1, 10,28	
33	-	35,34, 2,10	2,19, 13	28,32, 2,24	4,10, 27,22	4,28, 10,34	12,35	17,27, 8,40	25,13, 2,34	11,32, 35,23	2,25, 28,39	2,5, 12	2,5, 12	12,26, 1,32	15,34, 1,16	32,26, 12,17	1,34, 12,3	15,1, 1,28		
34	-	15,10, 32,2	15,1, 32,2	2,35, 34,27	32,1, 10,25	2,28, 10,25	11,10, 1,16	10,2, 13	25,10	35,10, 2,16		1,35, II, 10	U2, 26,15	7,1,4, 16	35,1, 13,11		34,35, 7,13	1,35, 10		
36	-	19,1, 29	18,15, 1	15,10, 2,13	35,28	3,35, 15	35,13, 8,24	35,5, 1,10		35,11, 32,31		1,13, 31	1,16	1,16	1,7,4	15,29, 37,28	1	27,34, 35	35,28, 6,37	
36	-	20,19, 30,34	10,35, 13,2	35,10, 28,29	6,29	13,3, 27,10	13,35, 1	2,26, 10,34	26,24, 32	22,19, 29,40	19,1	27,26, 1,13	27,9	1,13	29,15, 23,37		15,10, 37,28	15,1, 24	12,17, 28	
37	19,35, 16	18,1, 16,10	35,3, 15,19	1,18, 10,24	35,33, 27,22	18,28, 32,9	3,27, 29,18	27,40, 28,8	32,28	22,19, 29,28	2,21	5,28, 11,29	2,5	12,26	1,15	IMJ 37,28		34,21	35,18	
38	-	28,2, 27	23,28	35,10, 18,5	35,33, 35,30	35,13	11,27, 32	28,26, 10,34	18,23	2,33	2	1,26, 34,3	1,12, 34,3	1,35, 10	27,4, 1,35	15,24, 10	34,27, 25		5,12, 35,26	
39	1	35,20, 10	28,10, 29,35	28,10, 35,23	13,15, 23	35,38	1,35, 10,38	1,10, 34,28	18,10, 32,1	22,35, 13,24	35,22, 18,39	35,28, 2,24	1,28, 7,10	1,32, 10,25	1,35, 28,37	12,17, 28,24	35,18, 27,2	5,12, 35,26		

Analyse de la solution : la solution innovante trouvée respecte toutes les contraintes imposées et en plus contribue à la diminution des gradients thermiques dans le mécanisme moteur dans la phase de démarrage avec un effet utile sur l'usure du moteur. Cette solution est étudiée aujourd'hui par plusieurs constructeurs automobiles.

Pour mieux réaliser l'utilité de cette démarche systématique d'innovation, nous laissons à la charge du lecteur de calculer la probabilité de trouver cette solution par une technique de créativité aléatoire de type "la méthode du dictionnaire" (voir la méthode n°1 du tableau 1) éventuellement dans une version assistée par ordinateur basée sur le thesaurus d'un logiciel de traitement de texte (voir le Tableau 3) ou d'un dictionnaire sous forme informatisée.

6. INnovation Assistée par Ordinateur (INAO)

Un nombre important de logiciels de créativité et de génération d'idées accompagne les différentes méthodes de résolution créative des problèmes (voir tableau 3). Parmi ces logiciels, TechOptimizer, développé par la compagnie Invention Machine Corporation, est le plus proche de TRIZ, TIPS et WOIS.

TechOptimizer est un outil d'innovation à base de connaissances composé de plusieurs modules pour analyser la situation et isoler les problèmes ainsi que pour générer et raffiner les concepts [20]. Il facilite :

- la recherche des problèmes à résoudre pour améliorer un système technique,
- la recherche d'une solution combinant les avantages des approches différentes,
- l'identification des effets physiques, chimiques et géométriques permettant de réaliser une certaine fonction,
- la résolution des contradictions techniques et physiques,
- améliorer une interaction existante entre composants du système,
- identifier les lois d'évolution des systèmes techniques et trouver la direction d'innovation correspondante.

1. ACTA Advantage	30. MindLink Problem Solver
2. Axon Idea Processor	31. MindMan
3. BizIdea for Windows	32. MORE
4. Brainstorming 1.0.1	33. OBS for Windows
5. CK Modeller	34. Paramind
6. CM/1	35. Personal Best 3.1
7. ComedyWriter	36. Plot Prompt
8. Corkboard / Three by Five	37. Plots Unlimited
9. Creative Whack Pack	38. Powerpoint 3.0
10. Decision Explorer	39. Scriptware
11. Dramatica	40. Serious Creativity
12. DynoNotePad	41. Simplex
13. Genius Handbook	42. Sirius
14. GroupSystems	43. StoryBuilder
15. Grouputer	44. StoryCraft
16. Idea Generator Plus	45. StoryCraftNet for Writers
17. IdeaFisher	46. SuperMemo
18. IDEGEN++	47. Synergia
19. In Control	48. The Creativity Machine
20. InfoDepot	49. The Electric Brain
21. Ingrid Thought Processor	50. The Electric Mind
22. Innovation Toolbox	51. The Solution Machine
23. Inspiration	52. Thoughtline
24. Invention Machine - TechOptimizer	53. Turbo Thought
25. MaxThink	54. Visimap / InfoMap /
26. MicMac	55. VisionQuest
27. Microsoft Word (Outlining Feature)	56. Visual Outliner
28. Microsoft Word (Thesaurus Module)	57. WordPerfect (Thesaurus Module)
29. Mind Mapper	58. Yeahwrite

Tableau 3. Software pour créativité et génération d'idées

7. L'innovation technique par l'approche phylogénétique

L'approche phylogénétique est inspirée du principe phylogénétique d'évolution des espèces, connu en biologie : dans l'évolution des biosystèmes, l'ontogenèse reproduit, à l'échelle réduite de temps et d'espace, la phylogenèse. L'ontogenèse représente la série d'états successifs occupés par chaque individu de l'espèce pendant son existence, donc pendant son développement, de sa genèse (naissance) jusqu'à sa mort. La phylogenèse représente la série d'états successifs occupés par les ancêtres de l'espèce, à partir de la genèse. Un exemple concluant est le petit enfant qui commence par se déplacer à "quatre pattes" et à articuler des sons comme les ancêtres de l'espèce humaine. Par rapport à ses ancêtres, l'enfant pratique ce type de déplacement et de communication à une échelle réduite de temps et d'espace.

L'innovation technique par l'approche phylogénétique a été développée par l'auteur et ses collaborateurs par l'extrapolation du principe phylogénétique d'évolution des espèces au

développement des systèmes techniques. L'approche a été appliquée, initialement, à la synthèse des mécanismes articulés [3] et, ultérieurement, à la synthèse de mécanismes à came, de préhenseurs [4] et des chaînes cinématiques des robots [6]. Le développement de la méthode est en cours. Deux directions sont prioritaires : la généralisation et la formalisation mathématique. L'approche phylogénétique utilise des protoéléments (éléments initiaux), des objets morphologiques généralisés et plusieurs types d'opérateurs : de combinaison, de recombinaison, de migration, de mutation, de sélection. A la différence des opérateurs utilisés dans les approches génétiques, ces opérateurs sont déterministes et non probabilistes. Les opérateurs de combinaison, de recombinaison et de migration sont appliqués aux protoéléments pour obtenir une population d'objets morphologiques généralisés qui sont soumis aux opérateurs de mutation pour obtenir une population de solutions. Les solutions finales sont obtenues par l'application des opérateurs de sélection sur la population de solutions. Un parallélisme entre l'approche phylogénétique et TRIZ/TIPS/WOIS est présenté dans la figure 4.

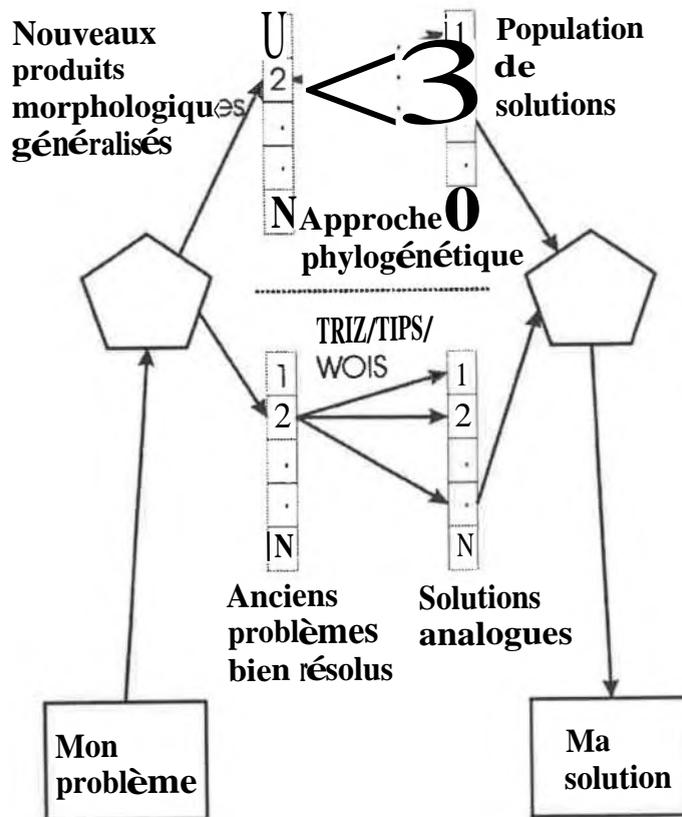


Fig.4. Parallélisme entre l'approche phylogénétique et TRIZ/TIPS/WOIS

8. Conclusions

La résolution des problèmes créatifs se trouve en amont de méthodes de conception usuelles (l'analyse fonctionnelle, l'analyse de la valeur, le QFD, la conception robuste, la conception axiomatique). Les méthodes d'innovation technique sont en cours de formalisation.

Elles sont basées sur deux approches : l'approche systématique et l'approche aléatoire. L'approche systématique utilise TRIZ/TIPS/WOIS, la recherche de type morphologique et phylogénétique, pour créer une base de solutions initiales (la population initiale). L'approche aléatoire utilise les méthodes génétiques, évolutionnistes et fiabilistes pour s'orienter vers une solution optimale.

Les axes principaux de recherche dans le domaine de la méthodologie d'innovation sont orientés vers :

- développer la base de connaissances concernant les effets géométriques, physiques et chimiques et leurs applications dans le processus d'innovation des systèmes techniques,
- développer et structurer la base de problèmes innovants génériques, de solutions standard, d'entités et de principes d'innovation,
- développer des algorithmes pour résoudre les contradictions physiques, les contradictions techniques et administratives dans le processus d'innovation,
- synthétiser les tendances d'évolution des systèmes techniques,
- trouver des méthodes pour éliminer l'inertie psychologique,
- développer des algorithmes pour identifier les vrais et les faux problèmes à résoudre dans une démarche innovante.

9. Références

- [1] Altshuller, G.S., *Creativity as an Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problems*, Gordon and Breach Science Publishers, New York, 1984.
- [2] Cavallucci, D., *TRIZ, une nouvelle approche de la créativité. Techniques de l'Ingénieur. Conception des produits industriels*, 1999.
- [3] Dudita, F., Diaconescu, D., Gogu, G. *Mécanisme articulé: inventica si cinematica in abordare filogenetica*, Editura Tehnica, Bucuresti, 1989.
- [4] Dudita, F., Diaconescu, D., Gogu, G., Staretu, I. *CUTS de mécanisme, Fasc.2, Angrenaje si mecanisme eu cama. Cinematica*, Universitatea din Brasov, 1989.
- [5] Gelb, M., *How to Think Like Leonardo da Vinci*, Thorsons, 1998.
- [6] Gogu, G., Coiffet, P., Barraco, A. *Mathématiques pour la robotique : synthèse structurale et cinématique des robots anthropomorphes*, Hermès, Paris (en cours de rédaction).
- [7] Higgins, J.M., *101 Creative Problem Solving Techniques*, New Management Publishing Company, 1994.
- [8] Linde, H., Hill, B., *Erfolgreich Erfinden - Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie*, Darmstadt, Hoppenstedt, 1993.
- [9] Michalko, M., *Thinkertoys*, 10-Speed Press, 1991.
- [10] Poincaré, H. *Science et méthode*, Flammarion, Paris, 1908.
- [11] Salamatov, Y., *TRIZ: The Right Solution at the Right Time. A Guide to Innovative Problem Solving*, Insytec, 1998.

- [12] Savransky, S.D., The modem matrix, (<http://jps.net/TRIZ/matrix93.htm>)
- [13] Suh, B.P. The Principles of Design, Oxford University Press, 1990.
- [14] Taguchi, G. System of Experimental Design: Engineering Methods to Optimize Quality and Minimize Cost. American Supply Institute, 1987.
- [15] Teminko, J., Zusman, A., Zlotin, B., Step-by-step TRIZ: Creating Innovatives Solution Concepts, Responsible Management Inc., 1997.
- [16] Terninko, J. The QFD, TRIZ and Taguchi Connection : Customer-Driven Robust Innovation, The Ninth Symposium on Quality Function Deployment, 1997 (<http://www.mv.com/ipusers/rm/qfdtriz4.html>).
- [17] Zusman, A., Zlotin, B., Overview of Creative Methods, Triz Journal. July 1999, (<http://www.triz-journal.com>)
- [18] Zusman, A., Zainev, G., Clark, D., TRIZ in Progress: Transactions of the Ideation Research Group, Ideation International Inc., 1999.
- [19] Wallas, G. The Art of Thought, Londres, 1926.
- [20] *** TechOptimizer 3.0 Software Manual, Invention Machine Corporation (<http://www.invention-machine.com>)
- [21] *** Contradiction Matrix (<http://triz-journal.com/archives/97jul/matrix.html>)