



Méthodologie d'aide à l'innovation par l'exploitation des brevets et des phénomènes physiques impliqués

Ulises Valverde

► To cite this version:

Ulises Valverde. Méthodologie d'aide à l'innovation par l'exploitation des brevets et des phénomènes physiques impliqués. Génie des procédés. Ecole nationale supérieure d'arts et métiers - ENSAM, 2015. Français. NNT : 2015ENAM0037 . tel-01295004

HAL Id: tel-01295004

<https://pastel.hal.science/tel-01295004>

Submitted on 30 Mar 2016

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.

École doctorale n° 432 : Sciences des Métiers de l'ingénieur

Doctorat ParisTech

THÈSE

pour obtenir le grade de docteur délivré par

l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Spécialité “ Conception ”

présentée et soutenue publiquement par

Ulises Yosafat VALVERDE JIMENEZ

Le 10 décembre 2015

Méthodologie d'aide à l'innovation par l'exploitation des brevets et des phénomènes physiques impliqués

Directeur de thèse : **Jean-Pierre NADEAU**

Co-encadrement de la thèse : **Dominique SCARAVETTI**

Jury

M. Mauricio CAMARGO, Professeur, ERPI, Université de Lorraine

M. Denis CAVALLUCCI, Professeur, LGéCo, INSA de Strasbourg

M. Stéphane NEGY, Professeur, Laboratoire de Génie Chimique, INP-ENSIACET

M. Jean-Pierre NADEAU, Professeur, I2M, Arts et Métiers ParisTech

M. Dominique SCARAVETTI, Maître de Conférences, I2M, Arts et Métiers ParisTech

M. Jean-François LEON, Ingénieur Docteur, Galtenco Solutions

M. Mathieu Becue, Responsable opérationnel Plateforme Via Inno, Université de Bordeaux

Président

Rapporteur

Rapporteur

Examineur

Examineur

Examineur

Invité

T
H
È
S
E

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de thèse, Monsieur Jean-Pierre Nadeau qui fut pour moi un soutien tout au long de ces trois ans de travail. J'aimerais également lui exprimer ma gratitude pour sa grande disponibilité, ses conseils et sa grande patience envers moi. J'ai été extrêmement sensible à ses qualités humaines, d'écoute et de compréhension. Son aide a été précieuse pour moi.

Ce travail n'aurait pu être mené à bien sans l'aide matérielle de la société Galtenco Solutions. J'exprime ma gratitude à Monsieur Jean-Francois Leon directeur de la société, non seulement pour son soutien matériel mais aussi pour tous les conseils et direction pendant la durée de cette thèse. Travailler avec lui a été une expérience bénéfique pour moi, bien que parfois difficile, mais je tiens à le remercier de toute la connaissance qu'il a patiemment partagé avec moi.

J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur Dominique Scaravetti qui m'a donné des conseils très pertinents, j'ai beaucoup apprécié sa vision nouvelle et fraîche qui a complété mes travaux pour bien réussir ma présentation.

J'exprime tous mes remerciements à l'ensemble des membres de mon jury : Messieurs Denis Cavallucci, Stéphane Negny et Mauricio Camargo, leurs critiques et commentaires seront d'une grande utilité pour faire évoluer mes travaux de thèse.

Je souhaiterais aussi adresser ma gratitude à Monsieur Matthieu Bécue membre invitée, qui a pris le temps de lire ce document de thèse et qui a voulu participer à l'évolution de ces travaux.

Je remercie infiniment ma chère épouse Angélique, qui a commencé cette aventure avec moi et qui a supporté tous les hauts et les bas passés dans cette expérience. C'est elle qui a toujours été à mes côtés pour m'écouter, me supporter, me consoler et sa participation dans les nombreuses corrections de ce document a été essentielle. Je l'a remercie infiniment, et je suis conscient que cette période aurait été plus difficile sans elle à mes côtés.

Mes remerciements vont aussi à ma famille, Ana, Abril et Mauro, qui même à la distance ont toujours été là pour me soutenir. Tout ce que je suis je le dois à mes parents, un grand merci à ma sœur qui est un rayon de bonheur dans ma vie.

J'exprime aussi mes remerciements à ma belle famille Evelyne et Michelle, qui ont toujours eu un mot de courage et la patience suffisante avec moi dans les moments difficiles.

Ces remerciements seraient incomplets si je n'en adressais pas mes gratitude à Monsieur et Madame Bixby, Monsieur et Madame Razafindrabe et Monsieur et Madame Licois pour tous les précieux conseils et leur aide pour m'installer dans ce pays.

Enfin, je remercie toutes les personnes formidables que j'ai rencontré par le biais de l'ENSAM et I2M-IMC. Je pense à Nisrine une amie formidable, à Ernesto un collègue et un ami très sincère, sans oublier Mehdi, Mehrez, Lina,... Pour tous les bons moments que nous avons passé ensemble.

«Lorsque je médite sur toute les choses merveilleuses que les êtres humains ont saisi, recherché, et fait, j'ai tendance à reconnaître encore plus clairement que l'intelligence humaine ne peut qu'être le résultat d'un Créateur»

Galileo Galilei

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
------------------------------	----------

CHAPITRE 1 LA RECHERCHE D'INFORMATIONS ET LES METHODES D'EXPLOITATION DES CONNAISSANCES.	7
---	----------

1.1 PREAMBULE	7
1.2 METHODES INFORMATIQUES POUR LA RECHERCHE D'INFORMATIONS, L'ANALYSE ET L'EXTRACTION DE CONNAISSANCES	8
1.2.1 LA RECHERCHE D'INFORMATION	8
1.2.2 L'ENRICHISSEMENT DE REQUETES	9
1.2.3 L'EXTRACTION DE CONNAISSANCES (« KNOWLEDGE DISCOVERY »)	11
1.2.3.1 L'exploration de données (« Data Mining »)	11
1.2.3.2 La Fouille de Textes (« Text Mining »)	12
1.2.4 LA LINGUISTIQUE INFORMATIQUE	12
1.2.4.1 L'analyse lexicale	13
1.2.4.2 L'analyse syntaxique	13
1.2.4.3 L'analyse sémantique	13
1.2.4.4 Le Traitement de Langage Naturel (« Natural Language Processing »)	14
1.2.5 L'APPRENTISSAGE AUTOMATIQUE (« MACHINE LEARNING »)	14
1.2.6 LES ONTOLOGIES	15
1.3 LES BREVETS SOURCE D'INFORMATIONS ET CONNAISSANCE	15
1.3.1 L'IMPORTANCE DES BREVETS	16
1.3.2 LA STRUCTURE D'UN DOCUMENT DE BREVET	16
1.3.3 LES COLLECTIONS DES BREVETS	17
1.3.3.1 La classification de brevets	21
1.3.4 SELECTION DES MOTS CLES PERTINENTS	22
1.3.4.1 Sélection des mots clés par l'étude du contexte	22
1.3.4.2 Sélection des mots clés par la créativité et les effets physiques	23
1.3.5 L'ANALYSE DES BREVETS	24
1.3.5.1 Utilisation de la métrologie scientifique	25
1.3.5.1.1 L'analyse de citations	25
1.3.5.1.2 L'analyse des réseaux	26
1.3.5.1.3 Les familles des brevets	27
1.3.5.2 La recherche des brevets	28
1.3.5.3 La sélection pertinente des brevets	28
1.3.5.4 L'extraction d'informations à partir de brevets	29
1.3.5.4.1 Extraction des fonctions	29
1.3.5.4.2 Extraction de fonctions, comportements et structures (model FBS)	30
1.3.5.4.3 Extraction des mots clés significatifs-rares	32
1.3.5.4.4 Extraction des mots-clés technologiques	32
1.3.5.5 Identification des obstacles dans l'analyse de brevets	33
1.3.6 L'EXPLOITATION DES BREVETS	34
1.3.6.1 Tendances/lois d'évolution	34
1.3.6.2 Les arbres des technologies	36
1.3.6.3 La veille des brevets	36
1.3.6.4 Classification de brevets selon les principes inventifs TRIZ	37
1.3.6.5 Les tendances technologiques	38
1.3.6.5.1 Identification des domaines d'application technologique	38

1.3.6.5.2	La prévision technologique	38
1.3.7	BILAN DES TECHNIQUES ET OBJECTIFS TROUVES DANS LA LITTERATURE	39
1.4	LA RECHERCHE D'INSPIRATION	41
1.5	BILAN ET POSSIBILITES D'AMELIORATION	42
1.6	SYNTHESE ET DEFINITION D'UNE METHODE GENERALE	45

CHAPITRE 2 PHASE 1 – DEFINITION DU PROBLEME **47**

2.1	DEFINITION DETAILLEE DU PROBLEME A ETUDIER	47
2.1.1	EXPRESSION DU PROBLEME	48
2.1.2	LISTE DE CONTRAINTES	48
2.1.3	SITUATIONS DE VIE, MILIEUX EXTERIEURS ET RESSOURCES EXISTANTES	49
2.2	RECHERCHE DE L'EXISTANT	51
2.2.1	MOTS CLES INITIAUX	51
2.2.2	SITES WEB POUR UNE RECHERCHE ROBUSTE	51
2.2.3	OUTILS DE RECHERCHE DE L'EXISTANT	54
2.3	PREMIERS ELEMENTS DE STRUCTURATION DE LA BASE DES MOTS CLES	55
2.4	LIVRABLES PHASE 1	56
2.5	EXEMPLE D'APPLICATION : SEPARATEUR BI-PHASIQUE	57
2.5.1	DESCRIPTION DU PROBLEME	58
2.5.2	LES CONTRAINTES ASSOCIEES	59
2.5.3	SITUATION DE VIE, MILIEUX EXTERIEURS ET RESSOURCES	60
2.5.4	RECHERCHE DE L'EXISTANT	63
2.5.5	LIVRABLES PHASE 1 - APPLICATION	63
2.6	CONCLUSION	64

CHAPITRE 3 PHASE 2 – RECHERCHE ET ANALYSE **67**

3.1	PREMIERE RECHERCHE DES BREVETS	67
3.2	PREMIERE ANALYSE DES BREVETS	68
3.3	DECOMPOSITION FONCTIONNELLE DES FONCTIONS PRINCIPALES	69
3.4	LES MOTS-CLES ISSUS DE L'ANALYSE PHYSIQUE DES CONVERTISSEURS	71
3.5	BASE DE DONNEES DES CONVERTISSEURS ENERGETIQUES	72
3.6	RECHERCHE ITERATIVE ET ANALYSE DE BREVETS	74
3.6.1	IDENTIFICATION ET SELECTION DES BREVETS PERTINENTS	74
3.6.2	PREMIERES INFORMATIONS ET CONNAISSANCES RECUPEREES : GRILLE D'ANALYSE	75
3.6.3	POINT D'ARRET	76
3.7	DEFINITION DE LA MATRICE DES DECOUVERTES	76
3.8	LIVRABLES PHASE 2	77
3.9	APPLICATION AU SEPARATEUR BI-PHASIQUE	77
3.9.1	PREMIERE RECHERCHE ET ANALYSE DE BREVETS	78
3.9.2	L'ANALYSE PHYSIQUE ET LA DECOMPOSITION FONCTIONNELLE DE LA FONCTION PRINCIPALE	78
3.9.3	STRUCTURATION DE LA MATRICE DES DECOUVERTES	80
3.9.3.1	Structuration des colonnes	80
3.9.3.2	Structuration des lignes	82
3.9.4	RECHERCHE ET ANALYSE DE BREVETS PERTINENTS	83
3.9.5	BASE DE MOTS CLES COMPLETE	86
3.9.6	MATRICE DES DECOUVERTES COMPLETE	87
3.10	LIVRABLES PHASE 2	91
3.11	CONCLUSION	92

CHAPITRE 4	PHASE 3 – INNOVATION, OPPORTUNITES ET SOLUTIONS	95
4.1	EXPLOITATION DE LA MATRICE DES DECOUVERTES	95
4.1.1	ANALYSE TEMPORELLE DES BREVETS	96
4.2	OPPORTUNITES D’EVOLUTION	97
4.2.1	AXE 1 : OPPORTUNITES LIEES AUX CELLULES VIDES DE LA MATRICE DES DECOUVERTES	97
4.2.2	AXE 2 : OPPORTUNITES ISSUES DES TENDANCES D’EVOLUTION	97
4.2.2.1	Lois d’évolution TRIZ	98
4.2.2.2	Heuristiques de conception	99
4.2.2.3	Règles de l’art de l’ingénieur	106
4.2.2.4	Fiches des tendances d’évolution	108
4.2.3	AXE 3 : OPPORTUNITES PAR LE CHANGEMENT DE CONVERTISSEUR ENERGETIQUE	112
4.3	SOLUTIONS INNOVANTES	112
4.4	APPLICATION AU SEPARATEUR BI-PHASIQUE	112
4.4.1	L’EVOLUTION TEMPORELLE DES BREVETS PERTINENTS	112
4.4.2	A LA RECHERCHE DES OPPORTUNITES D’EVOLUTION - APPLICATION DES TROIS AXES	116
4.4.2.1	Exemple d’application du premier axe	116
4.4.2.1	Exemple d’application du deuxième axe	118
4.4.2.1	Exemple d’application du troisième axe	124
4.4.3	EXEMPLE DE SOLUTIONS INNOVANTES	125
4.5	LIVRABLES PHASE 3 - APPLICATION	127
4.6	CONCLUSION	128
CHAPITRE 5	SYNTHESE	131
5.1	SYNOPTIQUE GENERAL DE LA METHODE	131
5.2	METHODOLOGIE INTERACTIVE	134
5.2.1	METHODOLOGIE DECOMPOSEE EN MODULES INTERACTIFS	134
5.2.2	VISION DU TRAVAIL COLLABORATIF	138
5.3	CONCLUSION	138
CHAPITRE 6	CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES	141
6.1	CONTEXTE	141
6.2	CONTRIBUTIONS	142
6.2.1	UNE METHODE STRUCTUREE	142
6.2.2	LA BASE DE CONNAISSANCES	142
6.2.3	LA BASE DE CONVERTISSEURS D’ENERGIE	143
6.2.4	LA MATRICE DES DECOUVERTES	143
6.2.5	LES TENDANCES D’EVOLUTION	143
6.2.6	L’OUTIL INTERACTIF	143
6.3	APPLICATIONS	144
6.4	LIMITES ET PERSPECTIVES	145
REFERENCES		147
ANNEXES		I
ANNEXE A	FICHES DES TENDANCES D’EVOLUTION	I

Liste des figures

FIGURE 1 SYNOPSIS DES TRAVAUX PROPOSES DANS LA THESE	5
FIGURE 2 ADAPTATION DE DEUX ETAPES DANS LE PROCESSUS DE RECHERCHE D'INFORMATION (GOMEZ 2010).....	9
FIGURE 3 SYNOPSIS DE CERTAINES METHODES, TECHNIQUES ET LEURS OBJECTIFS ASSOCIES EN MATIERE D'ANALYSE DE BREVETS. ..	40
FIGURE 4 RESUME DE TRAVAUX A REALISER	45
FIGURE 5 METHODE PROPOSEE EN TROIS PHASES	46
FIGURE 6 SITES PERTINENTS POUR LA RECHERCHE DE L'EXISTANT, PARTIE 1.....	52
FIGURE 7 SITES PERTINENTS POUR LA RECHERCHE DE L'EXISTANT, PARTIE 2.....	53
FIGURE 8 OUTIL DE « RECHERCHE DE L'EXISTANT ».....	54
FIGURE 9 STRUCTURE DE LA BASE INITIAL DE MOTS CLES.....	56
FIGURE 10 LISTE DE LIVRABLES DE LA PHASE 1.....	56
FIGURE 11 SEPARATEUR BI-PHASIQUE ACTUEL DU PROJET PAZFLOR (SOURCE TOTAL).	57
FIGURE 12 CARTE HEURISTIQUE DES RESSOURCES DU SYSTEME DE SEPARATION BI-PHASIQUE.....	62
FIGURE 13 EXTRAIT DE REQUETES UTILISEES DANS LA PHASE DE DEFINITION.	63
FIGURE 14 BASE DE DONNEES INITIALES DE MOTS CLES	64
FIGURE 15 LISTE DE LIVRABLES DE LA PHASE 1 - APPLICATION	64
FIGURE 16 SYNOPSIS DE LA METHODE PROPOSEE – PREMIERE PHASE.....	65
FIGURE 17 METHODE PROPOSEE EN TROIS PHASES: PREMIERE PHASE REALISEE	66
FIGURE 18 EXPLOITATION DES MOTS CLES, OUTIL « RECHERCHE DES BREVETS ».....	68
FIGURE 19: DECOMPOSITION ENERGETIQUE CTOC DE LA REALISATION D'UNE FONCTION.....	71
FIGURE 20 EXTRAIT DE LA BASE DE DONNEES DES CONVERTISSEURS ENERGETIQUES.	73
FIGURE 21 OUTIL DE RECUPERATION DE BREVETS PERTINENTS ET GRILLE D'ANALYSE.	75
FIGURE 22 : CONCEPT DE MATRICE DES DECOUVERTES	77
FIGURE 23 LISTE DE LIVRABLES DE LA PHASE 2.....	77
FIGURE 24 : DECOMPOSITION D'UN SYSTEME APPLIQUE A UN SEPARATEUR BI-PHASIQUE.....	79
FIGURE 25 : CONCEPT DE SEPARATION BI-PHASIQUE PAR CENTRIFUGATION	79
FIGURE 26 EXEMPLE DE RECUPERATION DE BREVET ET REMPLISSAGE DE LA GRILLE D'ANALYSE	84
FIGURE 27 EXEMPLE D'APPLICATION, RECHERCHE ET ANALYSE PAR L'EXPLOITATION DE NOUVEAUX MOTS-CLES. (A) ANALYSE DU BREVET CN202052637 (YUHONG ET AL. 2011) ; (B) ANALYSE DU BREVET US4154972 (JOZEF-K 1979)	85
FIGURE 28 EXEMPLE D'APPLICATION, RECHERCHE ET ANALYSE PAR L'EXPLOITATION DE NOUVEAUX MOTS-CLES - ANALYSE DU BREVET CN202666475 (SUN ET AL. 2013).....	86
FIGURE 29 BASE DE DONNEES DE MOTS CLES COMPLETE: SEPARATEUR BI-PHASIQUE	87
FIGURE 30 MATRICE DES DECOUVERTES DES SEPARATEURS BI-PHASIQUES (FLUX DE GAZ PREDOMINANT) (VERT - UTILE, ORANGE - PEUT ETRE UTILE, ROUGE - PAS UTILE, BLANC - PAS DEFINI).	89
FIGURE 31 MATRICE DES DECOUVERTES DES SEPARATEURS BI-PHASIQUES (FLUX DE LIQUIDE PREDOMINANT) (VERT - UTILE, ORANGE - PEUT ETRE UTILE, ROUGE - PAS UTILE, BLANC - PAS DEFINI).	90
FIGURE 32 LISTE DE LIVRABLES DE LA PHASE 2 - APPLICATION	91
FIGURE 33 METHODE PROPOSEE EN TROIS PHASES: DEUXIEME PHASE ACCOMPLIE.....	93
FIGURE 34 SYNOPSIS DE LA METHODE PROPOSEE – DEUXIEME PHASE	94
FIGURE 35: CONCEPT DE LA CLASSIFICATION TEMPORELLE DE BREVETS (PP-PHENOMENES PHYSIQUES ; T – TECHNOLOGIES ASSOCIES)	96
FIGURE 36 REPRESENTATION D'UNE BRANCHE DES HEURISTIQUES.	105
FIGURE 37 TENDANCE D'EVOLUTION T4	110
FIGURE 38 TENDANCE D'EVOLUTION T4 (CONTINUATION)	111
FIGURE 39 EXTRAIT DE CLASSEMENT TEMPOREL PAR PHENOMENE PHYSIQUE (ENTRE 1973 ET 2012).....	113
FIGURE 40 L'EVOLUTION TEMPORELLE DES TECHNOLOGIES DE SEPARATION BI-PHASIQUE (VERT - UTILE, ORANGE - PEUT ETRE UTILE, ROUGE - PAS UTILE, BLANC - PAS DEFINI).	115
FIGURE 41 EXEMPLE DE CELLULES VIDES DE LA MATRICE DES DECOUVERTES	116
FIGURE 42 JONCTION EN T BREVET WO2006098637 (A1), (EIVIND AND HANNIBAL 2006)	117
FIGURE 43 EXTRAIT DE L'EVOLUTION TEMPORELLE DE SYSTEMES A HELICES	119
FIGURE 44 BREVET DE19650359A1 (1998) – RECUPERATION LATERALE	119
FIGURE 45 BREVET RO119248B1 (2004): RECUPERATION PAR LE BAS.....	120
FIGURE 46 BREVET MY123978 (A) (2006): INTEGRATION DE NIVEAUX HIERARCHIQUES (ROSA, FRANÇA, AND RIBEIRO 2001) ..	121
FIGURE 47 EXTRAIT DE L'EVOLUTION TEMPORELLE DES SYSTEMES A PLATEAUX, DEFLECTEURS, PALES,.....	122
FIGURE 48 BREVET DE4214094C1 (1993) : GESTION DES TRANSITOIRES	123

<i>FIGURE 49 BREVET US4816146A (1989): EVOLUTIONS DE LA FORME</i>	<i>123</i>
<i>FIGURE 50 BREVET US5507858A (1996): GESTION DES TRANSITOIRES</i>	<i>124</i>
<i>FIGURE 51 EXEMPLE DE L'UTILISATION DE LA BASE DE DONNEES DES CONVERTISSEURS.</i>	<i>125</i>
<i>FIGURE 52 SEPARATEUR BI-PHASIQUE: NOTRE APPROCHE D'INNOVATION.</i>	<i>126</i>
<i>FIGURE 53 SYSTEME BI-PHASIQUE EN OFFSHORE, CONCEPT D'INTEGRATION AVEC UN ECHANGEUR DE CHALEUR.</i>	<i>127</i>
<i>FIGURE 54 METHODE PROPOSEE EN TROIS PHASES: TROISIEME PHASE ACCOMPLIE</i>	<i>128</i>
<i>FIGURE 55 SYNOPTIQUE DE LA METHODE PROPOSEE – TROISIEME PHASE</i>	<i>129</i>
<i>FIGURE 56 : SYNOPTIQUE DE LA METHODE PROPOSEE</i>	<i>133</i>
<i>FIGURE 57 METHODOLOGIE INTERACTIVE</i>	<i>134</i>
<i>FIGURE 58 TRAVAIL COLLABORATIF EN UTILISANT LES TECHNOLOGIES « TOUCH SCREEN »</i>	<i>138</i>

Liste des tableaux

<i>TABEAU 1 BASE DE DONNEES DE BREVETS MULTINATIONALES (ADAPTATION EN FRANÇAIS DE LA LISTE ORIGINAL DU GROUPE PIUG)</i>	18
<i>TABEAU 2 RESSOURCES.....</i>	50
<i>TABEAU 3 SECTIONS PERTINENTS DU BREVET.....</i>	69
<i>TABEAU 4 EXEMPLES DE VARIABLES CONJUGUEES PERTINENTES.....</i>	72
<i>TABEAU 5 ETAT DE LA RECHERCHE INITIALE : FONCTIONS, CONCEPTS ET PHENOMENES PHYSIQUES IMPLIQUES.....</i>	78
<i>TABEAU 6 LA PHYSIQUE GENERALE DE LA SEPARATION BI-PHASIQUE.....</i>	81
<i>TABEAU 7 STRUCTURATION DES COLONNES DE LA MATRICE DES DECOUVERTES, CAS G/L ET L/G.....</i>	82
<i>TABEAU 8 STRUCTURATION DES LIGNES DE LA MATRICE DES DECOUVERTES, CAS G/L ET L/G.....</i>	83
<i>TABEAU 9 ETAT DE LA RECHERCHE COMPLETE PAR LA PHASE 2 : FONCTIONS, CONCEPTS, PHENOMENES PHYSIQUES IMPLIQUES ET PARAMETRES PHYSIQUES PERTINENTS.</i>	92
<i>TABEAU 10 LOIS D'EVOLUTION DE LA THEORIE TRIZ.....</i>	98
<i>TABEAU 11 LE DOUZE GROUPES DE REGLES DE POLOVINKIN (1988).....</i>	100
<i>TABEAU 12 LES NEUF GROUPES DE REGLES DE POLOVINKIN ; (CARVALHO, WEI, AND SAVRANSKY 2004) ET (SAVRANSKY 2000) .</i>	102
<i>TABEAU 13 BRANCHE 1 DE L'HEURISTIQUE A.....</i>	103
<i>TABEAU 14 BRANCHE 2 DE L'HEURISTIQUE A.....</i>	103
<i>TABEAU 15 BRANCHE 3 DE L'HEURISTIQUE A.....</i>	104
<i>TABEAU 16 EXTRAIT DES REGLES DE CONCEPTION LIEES A LA CONCEPTION DES RESERVOIRS A PRESSION [ADAPTATION DES TRAVAUX DE (MARTINEZ 2014)].....</i>	107
<i>TABEAU 17 DESCRIPTION DE GROUPES DES TENDANCES D'EVOLUTION PROPOSEES.....</i>	108
<i>TABEAU 18 LIVRABLES DE LA PHASE TROIS.....</i>	127
<i>TABEAU 19 DESCRIPTION DES DIFFERENTS MODULES QUI CONSTITUENT LA METHODOLOGIE INTERACTIVE.....</i>	135

Introduction Générale

Problématique de recherche

Actuellement, grâce au développement des technologies de l'information, nous nous trouvons dans une époque « numérique » où la connaissance est disponible partout et pour tous. Le challenge est de trouver la bonne information qui correspond aux attentes de l'utilisateur.

La recherche de solutions innovantes à des problèmes complexes est aujourd'hui un des principaux objectifs des bureaux de conception et de toutes les entreprises qui cherchent à survivre dans ce monde concurrentiel.

Les brevets constituent un gisement d'informations transformables en connaissances exploitables pour résoudre des problèmes industriels. Il existe beaucoup de méthodes et techniques qui analysent et exploitent les brevets de différentes façons selon les objectifs recherchés, mais peu de méthodes s'inscrivent dans la phase de recherche initiale d'évolution de concepts. Elles n'intègrent pas d'approche physique fine pour cibler la pertinence des résultats trouvés.

Le développement d'une méthode et d'outils de recherche pour exploiter les informations contenues dans les brevets et, ensuite, les traduire en connaissances intéressantes par une approche physique fine permettra d'aider les industriels dans le chemin de la recherche des solutions pertinentes pour la résolution de problèmes complexes.

Cadre de recherche

Ces travaux de thèse ont été réalisés sur le site d'I2M du campus Arts et Métiers Paris Tech de Bordeaux, en collaboration avec GALTENCO Solutions, une PME girondine créée pour proposer des solutions innovantes pour résoudre des problèmes industriels. L'entreprise a des compétences reconnues dans le secteur de l'exploration et de la production pétrolière, sur les procédés de forage et d'exploration ainsi que les outils et méthodes liés à la production d'hydrocarbure. On peut citer en particulier, les problèmes de séparation de l'eau et des hydrocarbures, la maîtrise des déplacements des différentes entités en fond de puits, la pérennité des composants, la maîtrise de l'étanchéité,....

L'évolution des systèmes existants et la conception de nouveaux systèmes impliquent, en particulier, l'utilisation de systèmes à base d'électronique de puissance, de gradient de variables d'état, de propagation d'ondes ou de ressources inhérentes au confinement à forte profondeur.

La mise au point de nouvelles solutions dans ce secteur implique une connaissance approfondie de la physique couplée des transferts énergétiques (mécaniques, thermiques et de matière) et des systèmes associés de transformation d'énergie à base d'énergie

électrique ou de ressources différentielles de variables d'état (température, pression, concentration,...)

La direction de GALTENCO SOLUTIONS a voulu organiser et structurer son processus d'innovation afin d'optimiser la recherche de concepts, les performances et la fiabilité des propositions.

A cette fin, il a été nécessaire d'analyser, de structurer, d'infléchir et de rationaliser le processus de conception préliminaire et surtout de construire les bases de connaissances.

C'est dans ce contexte que la thèse s'est déroulée, nous positionnons notre approche de recherche dans le cadre d'un projet innovant en offshore profond. Le cas d'application concerne un système de séparation bi-phasique d'un mélange huile/gaz.

Objectifs de recherche et verrous scientifiques

L'enjeu de la thèse consiste à intégrer une méthodologie originale s'appuyant sur les acquis et méthodes de Galtenco Solutions et d'I2M-IMC (département Ingénierie Mécanique et Conception, IMC). Ces travaux impliquent l'adaptation et l'évolution des méthodologies dans le contexte de la PME, la réalisation des nouvelles bases de connaissances physiques qui définiront les procédures d'intégration et l'implémentation des outils.

La méthode développée doit améliorer la pertinence des résultats trouvés en utilisant les bases de données des brevets pour son utilisation dans différents champs de recherche.

Les verrous scientifiques à ouvrir pour réaliser ces objectifs sont :

- Exprimer les nouveaux mots clés liés à la réalisation et à l'évolution de la ou des fonctions pertinentes d'un groupe de brevets par l'analyse physique,
- Construire les bases de données nécessaires à l'analyse physique (base des convertisseurs d'énergie),
- Définir une procédure d'analyse des résultats obtenus (matrice des découvertes) pour dégager des opportunités d'évolution,
- Améliorer l'expression des tendances d'évolution,
- Proposer une méthodologie globale outillée.

Organisation des travaux proposés

La thèse s'articule autour de sept chapitres représentés de manière synthétique sur la Figure 1. Le premier chapitre présente différentes approches pour la recherche d'informations et l'extraction de connaissances pour les activités de conception. Les trois chapitres suivants expliquent la méthodologie proposée en trois sections. Un cas d'application concernant les séparateurs de mélanges bi-phasique, illustre la méthode. Les deux derniers chapitres récapitulent la méthode proposée.

Le premier chapitre présente la vision globale, l'originalité, la contribution de notre approche et le positionnement de notre méthode par rapport aux méthodes d'analyse existantes. Dans un premier temps, l'analyse de techniques utilisées pour la recherche d'informations nous donne un aperçu des différentes façons de rechercher et extraire de façon pertinente l'information contenue dans le web.

Dans un deuxième temps, nous nous centrons sur les brevets, leur importance, les collections, les classifications,... Ensuite, nous étudions les grands axes trouvés dans la littérature pour l'analyse et l'exploitation des brevets. Nous présentons les différentes approches existantes en matière d'extraction et d'exploitation de connaissances notamment dans les activités de conception.

Dans un troisième temps, nous plaçons notre approche par rapport aux différentes méthodes et techniques étudiées. Nous introduisons la nécessité d'une méthode efficace qui analyse les informations existant dans les textes de brevets et les traduit en connaissances de grande valeur sur la base d'une approche physique originale. Une méthode de recherche d'inspiration nous donnera une perspective d'amélioration de la méthode proposée dans cette thèse. A la fin de ce premier chapitre, nous spécifions les travaux à faire et nous présentons la définition de la méthode générale.

Le deuxième chapitre présente la première de trois phases de la méthode proposée. Nous analysons un problème industriel complexe de manière détaillée en nous appuyant sur les outils de l'analyse de situations de vie, la décomposition fonctionnelle et finalement une recherche approfondie de l'existant grâce aux outils développés dans le cadre de cette thèse. Cette analyse intensive permettra le début de la structuration d'une base de données des mots clés qui sera utilisée pour rechercher des brevets pertinents liés au problème industriel complexe étudié. Le cas du séparateur de mélanges bi-phasiques illustre notre méthode.

Le troisième chapitre détaille la deuxième phase de notre approche. Nous abordons la recherche et l'analyse de brevets. Grâce aux premiers éléments de la base des mots clés récupérés dans la première phase, nous réalisons une première recherche et analyse des brevets en utilisant les techniques et les outils développés. Nous introduisons la décomposition fonctionnelle et l'analyse physique qui nous permettent d'analyser le problème industriel complexe de façon détaillée et de dégager des mots clés physiques qui seront ensuite ajoutés à la base de données des mots clés. Une autre base de données dite des « convertisseurs énergétiques », permettra, d'une part, de contribuer à l'analyse physique du système, et, d'autre part, de trouver des opportunités d'évolution en changeant de convertisseur. Les brevets trouvés considérés comme pertinents seront classés dans une matrice de découvertes construite à partir des concepts technologiques trouvés et des mots clés dégagés par l'analyse physique. Nous utilisons le séparateur bi-phasique pour illustrer cette phase.

Le quatrième chapitre consiste en la troisième phase de la méthode ici présentée. Ce chapitre est basé sur l'innovation, les opportunités d'évolution et les solutions envisageables. Dans ce chapitre nous exploitons la matrice des découvertes et nous définissons trois différents axes pour la recherche des opportunités d'évolution. Dans le premier axe, pour cibler les opportunités d'évolution, la matrice des découvertes sera exploitée de plusieurs façons : ligne de temps, cases vides,... Dans le deuxième axe, nous définissons les tendances d'évolution issues de la compilation des lois d'évolution de la théorie TRIZ, des heuristiques de conception et des règles de l'art de l'ingénieur ainsi huit tendances d'évolution (présentées sous la forme de fiches) ressource la méthode. Dans le troisième axe, la base de données de convertisseurs énergétiques sera exploitée pour changer (ou faire évoluer) le concept en utilisant la logique de la décomposition

fonctionnelle. A la fin de ce chapitre, nous continuons avec notre cas d'application pour montrer l'intérêt de la méthode.

Le cinquième chapitre propose un synoptique qui aborde de manière générale le déroulement de la méthode et permet de faire la synthèse des trois phases. Puis nous présentons une vision interactive qui facilite et accélère l'utilisation de la méthode. Cela constitue l'ébauche d'un outil interactif qui permettra aussi le travail collaboratif.

Le sixième chapitre conclut sur nos contributions et présente également nos projets et perspectives.

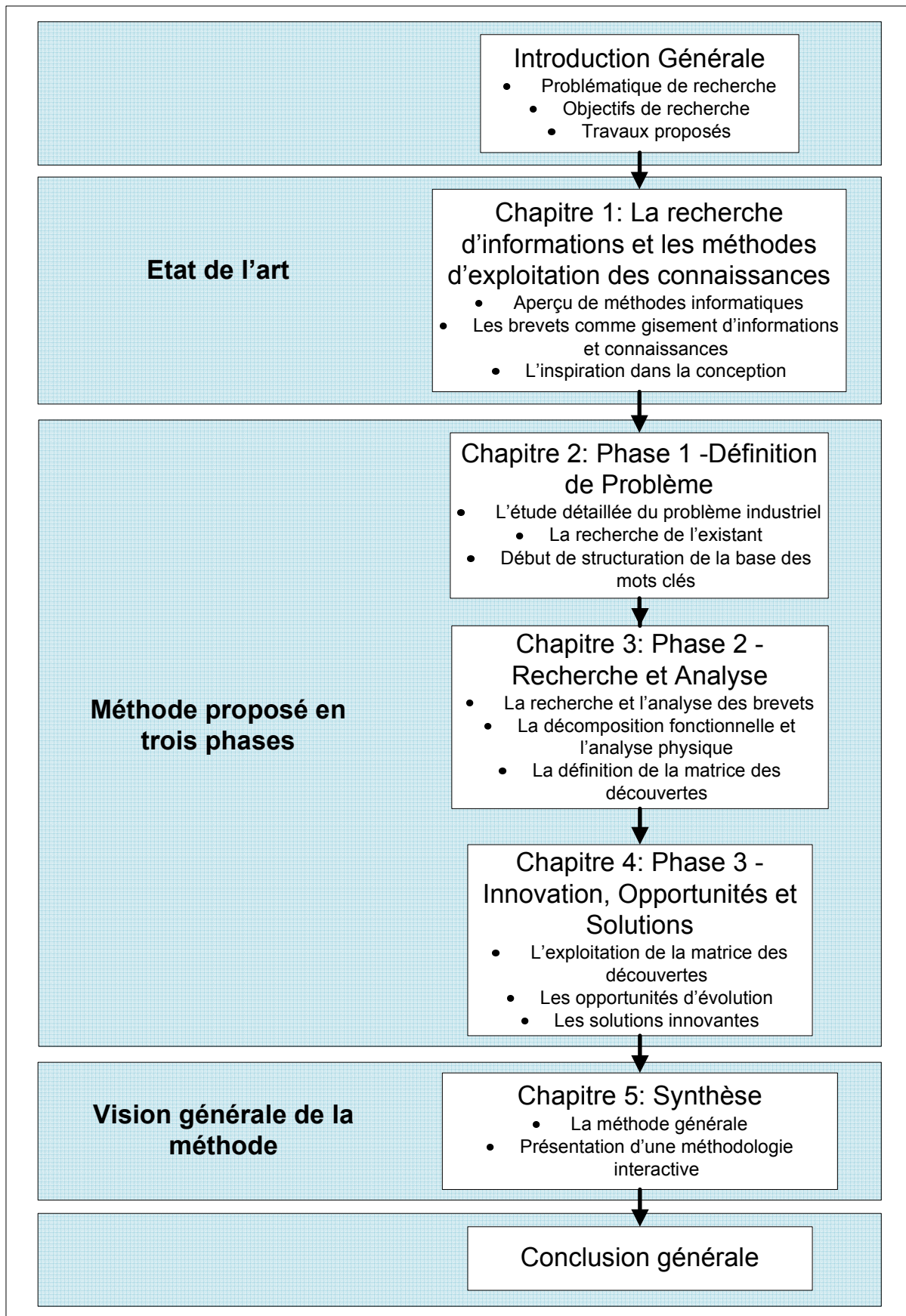


Figure 1 Synoptique des travaux proposés dans la thèse

Chapitre 1 La recherche d'informations et les méthodes d'exploitation des connaissances.

1.1 Préambule

La recherche de solutions à des problèmes techniques de plus en plus complexes devient un axe incontournable pour les entreprises dans un monde concurrentiel. Dans cette époque « numérique » une grande quantité d'information est à la portée de tous. Le vrai défi est de trouver l'information pertinente parmi la multitude de données disponibles. Certaines solutions aux problèmes industriels peuvent être trouvées par la recherche de connaissances sur différentes sources d'information comme les bases de données des brevets, les revues spécialisées, et toutes celles accessibles par les moteurs de recherche.

L'innovation et la créativité sont un point central pour les industriels qui cherchent des solutions innovantes à leurs problèmes, les questions sont toujours les mêmes, dans quels domaines a-t-on besoin d'innover ou de générer de nouvelles idées ?, que doit-on innover ?, et comment doit-on innover ? Différentes méthodologies et techniques ont été développées pour répondre à ces questions : brainstorming¹, benchmarking, Delphi, 6 sigma, check-lists, etc. (Chulvi and Vidal 2011).

Les brevets sont une large source de connaissances techniques gratuites qui décrit, détaille et dévoile des technologies employées et fournit des solutions aux problèmes posés. (White 2010) précise que les brevets divulguent des informations qui ne sont pas publiées dans des revues scientifiques ou dans les comptes-rendus de conférences, 80% de l'information contenue dans les brevets n'est pas publiée ailleurs.

La téléologie des brevets était l'innovation, cependant ils ne jouent plus le rôle des instruments juridiques de la propriété industrielle (par ses sigles en anglais IP²), ils sont exploités à des fins commerciales, stratégiques, pour fournir un avantage concurrentiel aux industriels,... Les brevets sont donc un gisement d'informations et de connaissances potentiellement exploitables, plusieurs auteurs cherchent à analyser les informations contenues dans les documents de brevets, puis les traduire en connaissances pertinentes pour accomplir plusieurs objectifs notamment dans les activités de conception.

Les progrès dans le champ de l'intelligence artificielle ont permis le développement des outils informatiques qui permettent de réduire ou même d'éliminer l'intervention humaine.

¹ Aussi connu comme remue-ménages, est une technique de créativité de groupe qui aboutit à une liste d'idées spontanées pour trouver une solution à un problème donné.

² IP est l'acronyme anglais de : Intellectual Property

Ainsi, afin de sélectionner la connaissance pertinente parmi des milliers des brevets dans plusieurs bases de données répandues partout le monde, les textes des brevets peuvent être analysés grâce au développement de la linguistique informatique qui permet le traitement du langage naturel.

Ce premier chapitre est consacré aux différentes méthodes utilisées pour la recherche d'informations, l'extraction de connaissances et l'inspiration de concepteurs. Nous nous centrons principalement sur l'analyse et l'exploitation des brevets, nous commençons par décrire brièvement les techniques informatiques couramment utilisées pour faciliter ces tâches.

1.2 Méthodes informatiques pour la recherche d'informations, l'analyse et l'extraction de connaissances

Afin d'introduire les techniques et méthodes existantes dans le domaine de l'informatique, nous considérons pertinent de définir deux concepts clés, l'information et la connaissance.

Le concept d'information³ possède plusieurs sens, elle désigne le message à communiquer et les symboles utilisés pour l'écrire. Du point de vue des sciences de l'information, elle doit satisfaire à deux exigences : d'une part, l'information doit être le résultat d'une transformation des structures cognitives d'un générateur (par l'intention, les modèles des états de la connaissance des destinataires et dans le forme de signes) et, d'autre part, elle doit affecter et transformer l'état des connaissances du destinataire lorsque elle sera perçue (Ingwersen and Järvelin 2005).

La connaissance est la sensibilisation ou la compréhension de quelqu'un ou quelque chose, i.e. des faits, d'informations, de descriptions, ou de compétences acquises par l'expérience ou par l'éducation par le moyen de la perception, de la découverte et de l'apprentissage. (Ingwersen and Järvelin 2005) définissent la connaissance comme la compréhension totale d'un individu de lui-même et du monde autour de lui à un moment donné dans le temps, en incorporant la pensée et la cognition ainsi que les propriétés intuitives émotionnelles et de la mémoire consciente ou subconsciente (connaissances tacites).

1.2.1 La recherche d'information

La notion classique de Recherche d'Information (RI) ou IR⁴ par ses sigles en anglais, suppose un individu avec un besoin d'information, puis le même individu (ou un assistant) génère un requête issue de ce besoin, un système de RI gère cette requête en s'appuyant sur une collection de documents. Un bon système de RI renvoie des documents pertinents directement liés à la requête initiale, ces systèmes prennent les informations d'entrée, puis

³ Du latin « informare », signifie « donner forme à » ou « se former une idée de »

⁴ IR est l'acronyme anglais de : Information Retrieval

le traitement de la requête, normalement en texte « libre », réalise la recherche et récupère l'information. Cette façon d'interagir avec les utilisateurs est aujourd'hui la manière la plus populaire et la plus puissante, notamment avec les moteurs de recherche (Melucci and Baeza-Yates 2011).

Sur la Figure 2, la recherche d'information est décrite de façon structurée en deux phases par (Gomez 2010). La phase de recherche commence par le besoin d'information d'un utilisateur, ensuite une requête est constituée puis la recherche de l'information est lancée. La recherche est basée sur l'indexation des métadonnées ou des textes intégraux (ou basée sur un autre contenu). La phase d'indexation a pour objectif la représentation correcte du contenu des ressources disponibles sur une base de données ou n'importe quel corpus⁵ de documents. La comparaison de la requête d'utilisateur et de l'index des documents répond à la recherche réalisée par l'utilisateur, elle donne des réponses (possiblement pertinentes) en fonction de la requête utilisée initialement.

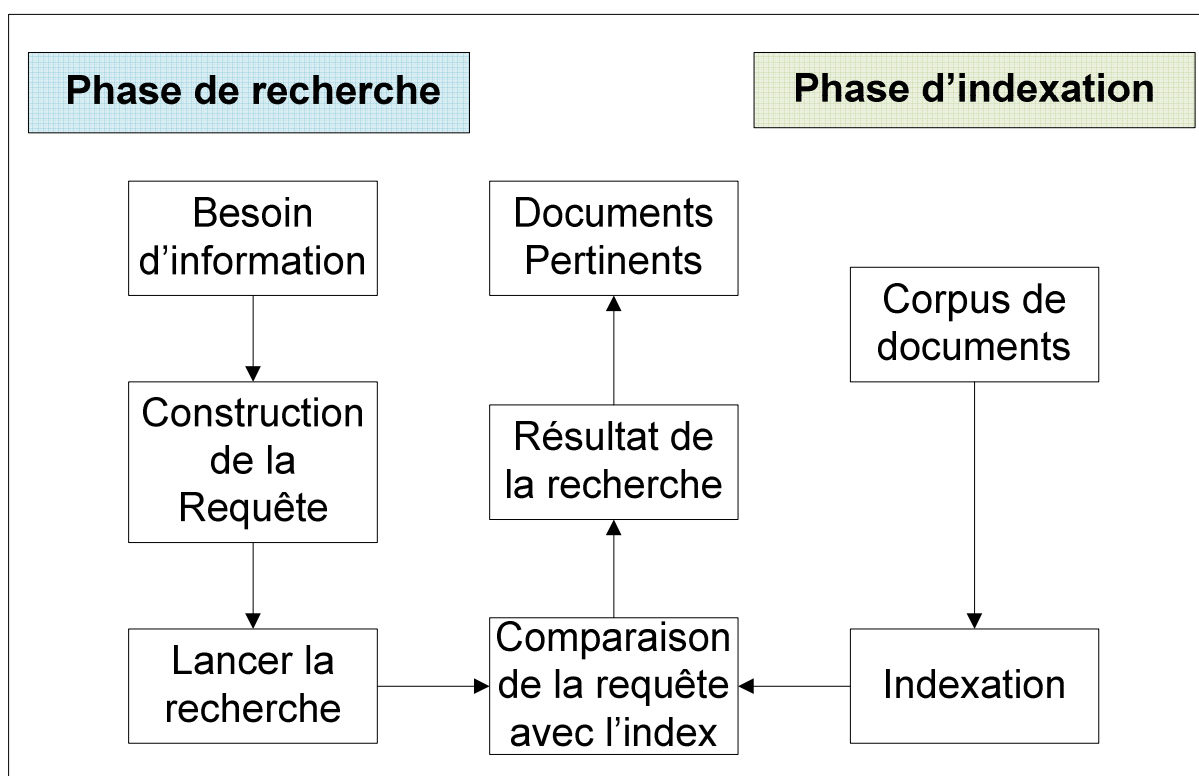


Figure 2 Adaptation de deux étapes dans le processus de recherche d'information (Gomez 2010)

1.2.2 L'enrichissement de requêtes

Pour améliorer la pertinence des résultats récupérés dans la RI, et pour mieux répondre aux besoins d'information des utilisateurs, leur requête initiale peut être améliorée, complétée ou enrichie. Par définition, l'enrichissement des requêtes - ou traduit

⁵ Grande quantité de matériau linguistique attesté / Collection de ressources d'information

littéralement de l'anglais comme l'expansion des requêtes (QE⁶ par ses sigles en anglais) - est le processus de reformulation d'une requête initiale pour améliorer les performances de récupération, ou autrement dit, pour raffiner leur pertinence dans les activités de RI. En ce qui concerne les moteurs de recherche sur le web, l'expansion de requêtes consiste à évaluer la saisie de l'utilisateur (les mots tapés dans la zone de recherche) et à compléter/améliorer la requête de recherche pour trouver plus des documents.

Les méthodes d'enrichissement de requêtes sont directement liées au domaine de l'informatique, principalement au domaine de traitement du langage naturel (Section 0) et bien entendu à la RI. Elles permettent la reformulation de la requête initiale pour la modifier ou la compléter avant de lancer la recherche. Elles proposent aussi des nouveaux termes en pondérant les résultats sur la base de leur pertinence. Des moyens d'enrichissement de requête sont donc fournis aux utilisateurs pour ajouter ou compléter sa requête initiale avec de nouveaux termes.

Selon (Gomez 2010), ils existent trois différents types d'enrichissement de requêtes : manuelle (interaction entre l'utilisateur et le système de recherche), automatique (proposition automatique de termes par le système) et interactive (interaction entre le système et l'utilisateur pour enrichir le choix de termes pour la requête). Il y a deux différentes approches, les méthodes basées sur les résultats de la recherche (choix de l'utilisateur ou construction du profil utilisateur en fonction de ses actions) et les méthodes basées sur les ressources externes (bases de connaissances, thésaurus, ontologies,...) qui utilisent des liens sémantiques entre les termes du document et les requêtes.

L'auteur précise que ces deux approches présentent des limitations considérables. Premièrement, les ontologies (Section 1.2.6) sont utilisées pour trouver des termes proches sémantiquement, c.à.d. des termes qui n'ont pas été utilisés dans la requête initiale mais qui peuvent donner des résultats proches. Les méthodes basées sur les ontologies peuvent retourner des documents non pertinents (trop généraux) ou limiter excessivement la quantité de documents récupérés (trop spécifiques). Deuxièmement, l'utilisation du profil de l'utilisateur (i.e. réseaux sociaux, comptes,...) permet de cibler les termes à enrichir, les résultats présentés prennent en compte la recherche faite par l'utilisateur et les distances sémantiques entre utilisateurs similaires. Cette approche est limitée par le temps d'apprentissage machine nécessaire pour réaliser l'étude des utilisateurs et leurs habitudes de recherche.

Pour pallier ces limitations, l'auteur propose une méthode d'enrichissement/expansion de requêtes basée sur les comportements des utilisateurs. Son approche prend en compte tous les mots-clés utilisés dans la requête initiale, puis il exploite les technologies du Web Sémantique⁷ (« Semantic Web⁸»). Son approche est basée principalement sur la popularité

⁶ QE est l'acronyme anglais de : Query Expansion

⁷ Aussi connu comme toile sémantique.

⁸ Le Web sémantique est un ensemble de technologies et de normes qui permettent aux machines de comprendre le sens ou signification (sémantique) des informations sur le Web. Il est basé sur l'idée d'ajouter des métadonnées sémantiques et ontologiques à la World Wide Web.

(haute incidence) des concepts et des ontologies de référence. Son objectif est d'enrichir la requête de l'utilisateur en fournissant des résultats liés à la requête initiale et en donnant une liste des termes associés (mots-clés similaires) à chaque terme utilisé dans la requête.

A ce stade, nous pouvons nous apercevoir de l'importance du développement des méthodes automatiques pour l'amélioration de la recherche et récupération de documents pertinents, cependant, nous voulons souligner l'importance de la sélection pertinente des mots clés initiaux pour cibler correctement le champ de recherche.

1.2.3 L'extraction de connaissances (« Knowledge Discovery »)

La découverte de connaissances ou KD⁹ par son sigle en anglais, est un domaine interdisciplinaire qui met l'accent sur les diverses méthodologies pour extraire des connaissances utiles à partir de données, il est souvent associé à l'exploration de données. (Melucci and Baeza-Yates 2011) constatent l'intention de ce domaine d'aller plus loin que l'extraction des informations dans les documents récupérés, son objectif est la récupération de nouvelles connaissances, c.à.d. des déclarations valables et intéressantes sur le domaine en question. Les auteurs le décrivent comme un processus semi-automatique dans lequel les humains interprètent les patrons générés (à partir des entrées) par les processus de découverte de connaissances. Les entrées sont des données en provenance de base des données mais aussi des données semi-structurées et non-structurées, i.e. les documents utilisés dans la RI, et la connaissance stockée dans des bases de connaissances.

1.2.3.1 L'exploration de données (« Data Mining »)

L'exploration de données (connue aussi comme : fouille de données, forage de données, extraction de connaissances à partir de données) signifie extraire des informations à partir des données significatives provenant de la masse de données générées par les humains en tout temps, afin de transformer ces informations en structures compréhensibles pour leur utilisation ultérieure. Elle est un sous-champ de l'informatique, elle implique des méthodes issues de l'intelligence artificielle, l'apprentissage automatique (Section 1.2.5), les statistiques et des systèmes de base de données. Elle permet la découverte de patrons dans les mégadonnées (« Big data¹⁰ »).

Une définition intéressante donnée par (Ahlemeyer-Stubbe and Coleman 2014) dans le milieu industriel énonce :

« L'exploration de données est un processus qui utilise plusieurs méthodes d'analyse de données pour découvrir l'inconnu, l'inattendu (imprévu), des patrons pertinents et des relations dans les données. Elle peut être utilisée pour faire des prédictions valides et exactes. Les données sont collectées à partir de toutes sortes de périphériques d'entrée, elles doivent être analysées,

⁹ KD est l'acronyme anglais de : Knowledge Discovery

¹⁰ Ensembles de données volumineuses, aussi appelées données massives.

traitées et converties en information utile pour renseigner, instruire, répondre ou autrement dit, pour aider à la compréhension et à la prise de décision. »

1.2.3.2 La Fouille de Textes (« Text Mining »)

La fouille de textes fait aussi partie du domaine de l'intelligence artificielle, elle est une spécialisation de l'exploration de données (« Data Mining »). Elle permet la découverte et l'extraction d'information de haute qualité (information pertinente, nouvelle et intéressante), c.à.d. des connaissances non triviales du texte libre ou non structuré. Cela englobe tout, de la recherche d'information (i.e. des documents, sites web, base de données des brevets,...) à la classification des textes, des entités, des relations,...(Anne and Stephen 2009). Son objectif primordial est, essentiellement, de convertir le texte en données pour l'analyse, par l'intermédiaire de l'application de traitement du langage naturel et les méthodes analytiques¹¹. Dans la pratique, « Text Mining » met un ensemble d'étiquettes sur chaque document et les opérations de découverte sont effectuées sur ces étiquettes. La pratique habituelle est de mettre des étiquettes sur les mots dans le document. Ensuite, le document en format texte peut être exploité par les mots-clés qui ont été extraits par la fouille de textes (B. Yoon and Park 2004).

1.2.4 La Linguistique Informatique

La linguistique est une science des langues naturelles, une science appartenant aux sciences humaines, plus précisément, elle couvre un ensemble de différentes sciences connexes.

La linguistique informatique est étroitement liée à la linguistique appliquée et à la linguistique en général. Elle est un champ interdisciplinaire basée sur une modélisation symbolique (à base de règles) ou statistique du langage naturel établi dans une perspective informatique. Elle peut être considérée comme synonyme du traitement automatique du langage naturel, puisque la tâche principale de la linguistique informatique est juste la construction de programmes informatiques pour traiter des mots et des textes en langage naturel (Igor and Alexander 2004).

En ce qui concerne la RI, la linguistique joue un rôle très important pour les concepteurs des systèmes. Les prochains paragraphes présentent l'analyse lexicale, syntaxique et sémantique utilisée pour réduire l'ambiguïté de la langue dans le traitement des textes.

¹¹ Processus générique qui combine la puissance de la méthode scientifique avec l'utilisation du processus formel pour résoudre tout type de problèmes.

1.2.4.1 L'analyse lexicale

L'analyse lexicale est le processus de conversion d'une séquence de caractères à une séquence de chaînes de caractères qui possèdent un sens (lexèmes¹² ou entités lexicales, connu en anglais comme « Tokens »). Elle permet l'association des variantes lexicales et morphologiques des termes reliés à un même concept (De Bellis 2009). Les programmes d'ordinateur et les pages web peuvent être analysées lexicalement par un « Tokenizer¹³ ». Un analyseur lexicale crée des lexèmes à partir d'une séquence de caractères d'entrée puis les lexèmes sont traités par l'analyseur syntaxique pour construire la structure de données (i.e. des arbres d'analyse ou des arbres de syntaxe abstraite).

1.2.4.2 L'analyse syntaxique

L'analyse syntaxique met en évidence la structure d'un texte, elle analyse les chaînes de symboles en langage naturel ou en langage informatique conforme aux règles de la grammaire formelle. Les mots en langage naturel dans les textes sont reliés pour former des phrases, des propositions et des sentences, conformément aux règles syntaxiques. L'indexation automatique met en œuvre le module analyseur, mieux connu en anglais comme « Parser¹⁴ ». Il est capable d'aller au-delà d'une simple comptabilisation de la fréquence de mots en attribuant une structure grammaticale à des segments significatifs du texte (De Bellis 2009).

1.2.4.3 L'analyse sémantique

L'analyse sémantique consiste en un processus linguistique de mise en relation des structures syntaxiques (i.e. niveaux de phrases, clauses, phrases et paragraphes) avec leurs significations indépendantes de langage. Elle implique également la suppression de fonctionnalités spécifiques à des contextes linguistiques et culturels, dans la mesure où c'est possible. Les éléments de langage et le sens figuré, considérés comme culturels, sont souvent aussi convertis en significations relativement invariantes dans l'analyse sémantique.

L'analyse sémantique permet de surmonter des ambiguïtés sémantiques dans l'interprétation des structures des textes. Les mots organisés en phrases syntaxiques ordonnées amènent des concepts, mais ces concepts ne sont pas univoquement intégrés dans les mots et les phrases. Il y a des mots qui partagent la même orthographe tout en portant des significations distinctes, des mots qui adressent le même concept malgré des orthographes différentes, et des phrases dont la structure sous-jacente peut être comprise de différentes façons. Pour faire face à des ambiguïtés sémantiques au niveau du mot, les systèmes de récupération d'informations généralement recourent à des dictionnaires et thésaurus¹⁵ des domaines spécifiques, qui fournissent les spécifications sémantiques et les

¹² Unité de sens lexical, un lexème est la partie minimale d'un mot, la plus part du temps, il est la racine de ce mot.

¹³ Programme qui réalise l'analyse lexicale, aussi connu comme analyseur syntaxique ou scanner.

¹⁴ Programme informatique que réalise une analyse syntaxique.

¹⁵ Répertoire des mots regroupés en fonction de leur similitude de sens.

variantes pour les entrées simples. Dans les applications avancées, des études d'intelligence artificielle introduisent des bases de connaissances complexes pour représenter la structure conceptuelle d'un domaine, ses principaux concepts, et le réseau de leurs interrelations (De Bellis 2009).

1.2.4.4 Le Traitement de Langage Naturel (« Natural Language Processing »)

Le traitement intelligent du langage naturel est basé sur la science de la linguistique informatique, elle est connue comme Traitement de Langage Naturel (NLP¹⁶) ou Traitement Automatique des Langues (TAL) en français. Par définition, NLP est la tentative d'extraire, analyser et représenter de façon complète le sens des documents électroniques. NLP fait généralement usage de concepts linguistiques comme partie du discours¹⁷ (substantif, verbe, adjectif,...) et la structure grammaticale (soit représentée comme des phrases comme le syntagme nominal¹⁸ ou syntagme prépositionnel¹⁹, ou les relations de dépendance comme le sujet-de ou l'objet-de)(Anne and Sthephen 2009).

L'objectif principal de la recherche liée au NLP est de permettre aux ordinateurs d'accomplir le traitement du langage humain et le comprendre pour faciliter l'interaction entre les ordinateurs et les humains.

1.2.5 L'apprentissage automatique (« Machine Learning »)

L'apprentissage automatique (ML²⁰ par ses sigles en anglais), explore la construction et l'étude des algorithmes qui peuvent apprendre et faire des prédictions sur les données. Ces algorithmes apprennent un certain comportement (le comportement d'un programme informatique) basé sur des critères d'optimisation. Cela peut aller d'une simple décision (oui ou non) à un choix rationnel de la prochaine action à réaliser d'un robot. ML est appliqué dans divers domaines y compris la reconnaissance de formes, le traitement de langage, l'exploration de données, les jeux informatiques,... D'autres auteurs travaillent sur l'apprentissage des habilités motrices aux robots. (Stalph 2014) identifie certains points clés pour l'apprentissage machine, la première clé dans l'apprentissage consiste à mémoriser afin d'agir de manière optimale ou rationnelle dans des situations connues. Ensuite la généralisation afin d'agir dans des situations connexes ou inconnues.

¹⁶ NLP est l'acronyme anglais de : Natural Language Processing.

¹⁷ Catégorie grammaticale, catégorie lexicale, classe grammaticale ou espèce grammaticale.

¹⁸ Groupe nominal constitué de plusieurs mots et dont le noyau est un nom (commun) qui fonctionne comme un pronom.

¹⁹ Syntagme dont le noyau est une préposition. Complément circonstanciel, il fonctionne comme adverbe modifiant un verbe. Il fonctionne aussi comme adjectif modifiant un nom.

²⁰ ML est l'acronyme anglais de : Machine Learning

1.2.6 Les Ontologies

Le terme « ontologie » trouve son origine dans la philosophie où il fait référence à l'étude de l'être ou de l'existence et à l'organisation de la réalité. Le terme a été introduit dans l'ingénierie par le biais de l'intelligence artificielle où il fait référence à la représentation du monde réel dans les programmes informatiques. Une ontologie peut être comprise comme la façon d'organiser des concepts connexes. Les ontologies sont destinées à l'organisation de concepts sous une spécification commune (couvrant souvent un domaine complet) afin de faciliter le partage des connaissances. Les ontologies peuvent être considérées comme des médiateurs dans la représentation des connaissances par le biais de concepts. Par conséquent, les ontologies se placent entre les concepts (qu'elles transcendent²¹) et le domaine des connaissances qui les englobent (dans lequel elles sont incorporées) (Jakus et al. 2013).

Une définition qui décrit pertinemment les propriétés clés des ontologies est énoncée par (Jakus et al. 2013) :

« Une ontologie est une spécification formelle et explicite d'une conceptualisation partagée. »

- *Les ontologies sont des conceptualisations. Elles sont des modèles abstraits comprenant des concepts qui sont pertinents pour décrire le monde réel. En tant que tel, les ontologies agissent comme une sorte de substitut de la réalité.*
- *Les ontologies sont explicites. Les concepts, les relations et d'autres composants de l'ontologie sont définis explicitement.*
- *Les ontologies sont formelles. Elles sont destinées à être traitées par les ordinateurs, par conséquent, l'utilisation du langage naturel ne convient pas en raison de son ambiguïté, son incohérence et son spécification incomplète.*
- *Les ontologies sont partagées. Elles capturent la connaissance consensuelle établie par un groupe d'utilisateurs impliqués. Par conséquent, en choisissant une ontologie spécifique, l'utilisateur fait un engagement envers un ensemble de termes, ou des engagements ontologiques, qui déterminent « comment » et « que » percevoir de la réalité. »*

1.3 Les brevets source d'informations et connaissance

Jusqu'ici nous avons abordé différentes techniques informatiques issues de l'intelligence artificielle. Ces techniques sont utilisées par différents auteurs intéressés dans l'extraction de connaissance à partir de documents de brevets. L'objectif de cette section, dans un premier temps, est de montrer l'intérêt des brevets comme source d'informations

²¹ Penser le particulier sous le général (un individu sous une espèce, une espèce sous un genre), source : <http://www.cnrtl.fr/>

techniques, et, dans un deuxième temps, présenter les différentes approches qui analysent les brevets pour divers objectifs (planification technologique, transfert technologique, prévision technologique,...) et finalement l'exploitation de brevets dans le domaine de la conception. A cette fin, généralement, les lois d'évolution de la théorie TRIZ sont utilisées (Section 1.3.6.1).

1.3.1 L'importance des brevets

Aujourd'hui, les brevets jouent un rôle très important dans beaucoup de secteurs tels que l'industrie, le business, le droit, la politique (Tseng, Lin, and Lin 2007), et particulièrement intéressant pour le monde académique (Fantoni et al. 2013). Les documents de brevets sont un réservoir précieux de connaissances techniques et commerciales (B. Yoon and Park 2004), ils sont une source potentielle pour localiser la connaissance (Cavallucci, Rousselot, and Zanni 2011) et ils contiennent une grande quantité d'informations techniques non disponibles ailleurs (Fantoni et al. 2013). Ils ont un rôle fondamental dans le support des activités de conception car ils fournissent des solutions existantes à divers problèmes (Russo and Montecchi 2011a).

Les brevets ont des aspects intéressants souvent cachés à l'intérieur des textes (Cavallucci, Rousselot, and Zanni 2011), s'ils sont soigneusement analysés, ils peuvent fournir des renseignements technologiques et des relations entre eux, révéler des tendances commerciales, inspirer des nouvelles solutions industrielles, ou aider à la réalisation d'une politique d'investissement (Tseng, Lin, and Lin 2007). Cependant, la recherche de brevets peut conduire à une longue liste de documents à analyser. Localiser manuellement des brevets innovants dans des grandes bases de données en les explorant un par un peut devenir une tâche complexe et fastidieuse (Z. Li et al. 2012). En général, les brevets sont longs et riches en terminologie technique de telle sorte que l'analyse demande beaucoup d'effort (Tseng, Lin, and Lin 2007). En outre, l'extraction efficace de l'information est une tâche difficile, car les brevets généralement sont écrits en utilisant un vocabulaire, un style, et une stratégie particulière pour décrire l'invention (Russo, Montecchi, and Ying 2012).

C'est, entre autres, pour ces raisons que les ingénieurs de brevets, les décideurs, les concepteurs,... sont dans l'attente de différentes méthodes, de techniques et d'outils automatiques pour accéder à la connaissance contenue dans les brevets (Tseng, Lin, and Lin 2007).

1.3.2 La structure d'un document de brevet

Un brevet typique est composé de trois sections de base (De Bellis 2009) :

1. Une page de titre, contenant des données bibliographiques et des informations pratiques et utiles pour identifier le document sans ambiguïté: titre, résumé, numéro de classification, nom et adresse (inventeur, déposant, titulaire), date de demande, date de priorité, date de délivrance, numéro de demande, et le numéro de brevet. Quand un brevet est accordé, la page de titre contient également une liste de références bibliographiques fournies par l'examineur de brevets, ils sont les

composants basiques de la plupart des analyses de citation de brevet (Section 1.3.5.1.1).

2. La description de l'invention, expliquant comment le fabriquer et l'utiliser. Cela comprend des dessins, des spécifications techniques, et les références à la littérature pertinente fournis par l'inventeur (dispersés à travers tout le texte). Elle renseigne sur le contexte dans lequel s'inscrit l'invention (l'état de la technique²²) et indique clairement la différence entre la technique préexistante et ce que l'invention apporte de nouveau, d'avance en matière de développement technique (Ottawa University 2015). Elle comprend précisément :
 - a. Le titre de l'invention
 - b. Une déclaration des antériorités du brevet
 - c. Le domaine de l'invention
 - d. Un résumé de l'invention en termes généraux
 - e. Des dessins avec des descriptions brèves
 - f. Une description détaillée de l'invention
3. Les revendications définissent la portée ou les limites du brevet, c.à.d. les caractéristiques spécifiques de l'invention pour laquelle la protection juridique est demandée. Les violations possibles du brevet sont vérifiées contre les déclarations dans cette section.

1.3.3 Les collections des brevets

Ils existent plusieurs bases de données de brevets avec de caractéristiques différentes, i.e. le nombre de documents disponibles, les bureaux de brevets associés, les langages, les pays d'origine, l'accès ou abonnement (gratuit, payant), les documents proposées (brevets, des informations techniques, scientifiques,...), les outils proposés (recherche, analyse sémantique, analyse de citations, statuts juridiques,...),...

Le groupe PIUG²³ est une organisation mondiale sans but lucratif, il est dédié aux personnes intéressées par l'information contenue dans les brevets. Il présente une liste (mise à jour régulièrement) de différentes bases de données de brevets multinationales. Le Tableau 1 montre une compilation des bases de données de brevets disponibles sur le web (gratuites et payantes) et leurs principales caractéristiques (Wolff 2015).

²² Ce qui était connu avant l'invention

²³ PIUG est l'acronyme anglais de : Patent Information Users Group

Tableau 1 Base de données de brevets multinationales (adaptation en français de la liste original du groupe PIUG)

BASE DE DONNEES - CARACTERISTIQUES PRINCIPALES	
AmberScope	Permet la visualisation interactive de connexions de citations entre : US, WO, EP, JP et d'autres brevets.
Aureka	Plateforme d'analyse et gestion (de la compagnie Thomson Reuters) [HORS SERVICE]
CAPLUS	Couverture mondiale d'information en matière de brevets dans plusieurs disciplines scientifiques.
Delphion	(De la compagnie Thomson Reuters) [HORS SERVICE]
DEPATISnet	Offre un accès gratuit aux données bibliographiques et au texte intégral de brevets en format PDF (principalement en allemand) à partir de plusieurs autorités de délivrance de brevets (CH, EP, FR, GB, JP, US, WO)
Derwent World Patents Index	Base de données complète et approfondie des documents de brevet d'une grande valeur ajoutée publiée au niveau mondiale.
Designs in orbit.com	Permet la recherche des designs industriels au niveau mondial, elle couvre plusieurs autorités de brevets (i.e. BX, CA, CH, CN, DE, ES, UE, FR, GB, JP, KR, RU, US, et WO)
Dialog	Un service d'information en ligne avec plus d'un milliard de documents uniques (données scientifiques; techniques, brevets, marques déposées,...)
EAPATIS	Base de données Eurasiatique, accès gratuit (enregistrement requis) aux résumés et des données bibliographiques des brevets EAPO. L'accès payant permet l'accès à 30 bureaux des brevets, inclus l'EAPO, les pays de l'ancienne union soviétique et leurs certificats d'invention à partir de 1924.
edital.com	Recherche de marques déposées, designs en ligne, élaboration de statistiques. Cette base couvre plus de 250 registres.
Equerion	Offre de fichiers mise à jour mensuellement en provenance de plusieurs pays de l'Amérique Latine
Espacenet	Service de recherche et téléchargement de brevets.
European Patent Foundation	Base de données continuellement mise à jour de toutes les demandes de brevet déposées dans l'union Européenne depuis 1978. Présentée dans un format amical avec une plateforme de recherche associée.
IFI CLAIMS Classic	Base de données des brevets américains soigneusement organisée, les données sont complètes et fiables, plus de 50 ans d'indexation dans le domaine de la chimie. Amélioration de titres de brevets qui facilite la recherche et améliore la pertinence.
IFI CLAIMS Global Patent Database	Base de données mondiale complète, elle combine des informations à partir de plusieurs sources nationales et internationales dans un format XML propre (ST.36). Les statuts juridiques, les réaffectations, les images sont aussi incluses.
Innography	Permet l'accès aux brevets corrélés, les litiges, la recherche et l'analyse d'entreprises.
INPADOC	Famille de brevets et les statuts juridiques.
IP.com	La bibliothèque de la propriété intellectuelle est une base de données internationale libre (gratuite) de plus de 10 millions de brevets et publications relatifs à la propriété industrielle.

IPEXL Patent Search	Service de recherche libre centré sur les bureaux de brevets asiatiques, il offre un support multilingue.
Linux Foundation Patent Commons	Base de données des brevets informatiques, les propriétaires des brevets se sont engagés à ne pas appliquer les brevets si les conditions "open-source" sont respectées.
MAREC	Il est composé par 19 million de documents de brevets de différentes langues. Il est normalisé au format XML hautement spécifique (IRF). Il est une subdivision de la base Alexandrie, un centre de stockage global contenant des informations techniques, commerciales et scientifiques de haute qualité.
MARPAT on STN	Une base de données de brevets des structures chimiques, complexe et au même temps robuste, couramment utilisé pour la récupération de brevets à travers une structure de recherche nommée CAS.
MicroPatent	(De la compagnie Thomson Reuters)
Nordiskapaten	Base de données libre, elle permet la recherche de brevets, uniquement disponibles dans les langues du Danemark, Norvège, Suède et Finlande.
orbit.com	Version avancée de la base de données QPAT. En utilisant des autres bases de données, cette base couvre plus de 60 millions de documents regroupés dans plus de 40 millions d'inventions, 18 millions d'images en provenance de 90 bureaux de brevets. Elle donne des informations concernant les statuts juridiques, des dessins, des modèles industriels,... Elle permet aussi la surveillance de brevets, la recherche par citations,....
PatBase	Base de données complète disponible en texte intégral des brevets, elle couvre plus de 30 millions de familles de brevets.
Patent Fetcher	Publications de brevets américains et étrangers gratuits en format PDF.
Patent Imaging Corporation's Patent Bank	Service de recherche de brevets.
Patent Integration	Elle fournit une recherche de brevets standards dans 16 millions de brevets en provenance des Etats Unis, Europe, Japon et à l'International. Elle permet la visualisation de populations de brevets basées sur la fouille de textes et la création des tableaux (riches) de brevets.
Patent Lens	Base de données Australienne gratuite. Elle offre des textes complets et la recherche des brevets dans WO, EP, AU, et US.
Patents.com	Un site de recherche globale de brevets gratuit
PATENTSCOPE® Search Service	Permet la recherche gratuite de textes complets de brevets dans le monde entier, en provenance de plus de 40 bureaux de brevets.
PATONline	Base de données de l'Université Technique d'Ilmenau, elle peut être consultée en anglais ou en allemand. Elle contient des documents en provenance de DE, EP, WO, US, JP, DD, FR, RU, SU, et GB.

PatSeer	Base de données de brevets avec une couverture globale, elle inclut plus de 17 collections en texte intégral, plus de 100 collections bibliographiques, traductions automatiques, documents PDF, dessins, familles (simples ou prolongés) avec un statut juridique, arbre d'entreprises, outils d'analyse sémantique,... Elle possède aussi des capacités uniques comme l'analyse multidimensionnelle (X vs Y) à l'aide de cartes, champs personnalisés, catégorisations hiérarchiques, la citation et les arbres de familles, l'analyse de co-citations,...
PharmaValet	Base de données des brevets de médicaments approuvés par le gouvernement américain et canadien. Elle possède des caractéristiques élargies pour la recherche d'un brevet de médicament, i.e. La condition juridique, les synonymes, les structures chimiques, classe thérapeutique,... [HORS SERVICE]
PROPIS	Base de données payante, permet l'accès au P et TS de la Suisse. Elle permet l'accès à des brevets, et à de la littérature technique et scientifique.
QPAT	Avec l'utilisation de plusieurs bases de données, cette base couvre plus de 60 millions de documents regroupés dans plus de 40 millions d'inventions, 18 millions d'images en provenance de 90 bureaux de brevets. Elle donne des informations concernant les statuts juridiques, des dessins, des modèles industriels,... elle permet aussi la surveillance de brevets, la recherche par citations,....
RAPID	Base de données multi-source payante, permet l'accès aux brevets et d'autres données. Elle donne accès à un espace de travail collaboratif, et à toutes les informations concernant les brevets (statut juridique, le registre Européen, le PDF,...).
Research Disclosure	Opéré par Questel, fournit un moyen rentable de créer des publications défensives pour empêcher les concurrents de breveter les mêmes inventions. Leur concept se base sur les détails de l'invention et la citation de l'art antérieur pour protéger entièrement l'idée à breveter.
SurfIP (IP Office of Singapore)	Base de données de brevets internationaux gratuits, elle permet l'accès à des marques déposées, la recherche de dessins,... Elle cible les inventions en Asie. [HORS SERVICE]
STN International	Service de base de données en ligne, elle fournit de l'information scientifique et technique en matière de brevets.
Thomson CompuMark	Marques déposées et droits d'auteur. (De la compagnie Thomson Reuters).
Thomson Innovation	Un seul outil intégral qui combine la propriété intellectuelle, la littérature scientifique, les données commerciales et les actualités avec l'analyse, la collaboration et des outils d'alerte.
TotalPatent	Base de données qui contient des documents en provenance de 30 autorités en texte intégral et 100 autorités en brevets bibliographiques. Elle possède plus de 50 millions de fichiers PDF, plus de 40 millions de familles de brevets. Elle propose plusieurs options de recherche, y compris une recherche sémantique puissante basée sur l'expertise des créateurs. Elle peut être liée à divers outils comme PatentOptimizer, SciVerse Scopus,....
WIPS	Base de données payante de la Corée, elle permet l'accès à plusieurs documents de brevets de différents pays développés.

Actuellement la collection de brevets la plus complète est l'INPADOC²⁴ (Documentation de brevets International), de l'office européen des brevets (OEB) ou par son sigle en anglais EPO²⁵. Elle est mise à jour régulièrement, elle contient les familles de brevet, les numéros de priorité de demande, les numéros de publication, les numéros de demande, les statuts juridiques et les informations supplémentaires. INPADOC intègre de nos jours, des données de brevets de 42 offices de brevets provenant de 80 pays (OuYang and Weng 2011).

Espacenet, développé par l'EPO, est un service gratuit pour la recherche de documents de brevets (inclut les demandes des brevets), en 2015 il contient plus de 90 millions de documents brevets du monde entier. Nous utiliserons dans les prochains chapitres ce service et cette base de données développée par l'EPO pour la collecte de brevets.

1.3.3.1 La classification de brevets

Le gigantesque corpus des brevets internationaux contient aujourd'hui environ 90 million de documents, pour faciliter la recherche, chaque brevet est analysé manuellement et classé par un code spécifique appelé « classe de brevet » (PC²⁶). Un système de classification est un système de codes qui regroupe les inventions selon le domaine technique (Ottawa University 2015).

- Le Code International des Brevets²⁷ (CIB) ou IPC²⁸ selon ses sigles en anglais, a été créée par l'Arrangement de Strasbourg de 1971. C'est un système hiérarchique de symboles indépendants de la langue pour le classement des brevets et des modèles d'utilité selon les différents domaines technologiques auxquels ils appartiennent. La CIB divise la technologie en huit sections comptant environ 70,000 subdivisions. À chaque subdivision est attribué un symbole consistant en des chiffres arabes et des caractères latins :
 - o A: Nécessités courantes de la vie
 - o B: Techniques industrielles; transports
 - o C: Chimie; métallurgie
 - o D: Textiles; papier
 - o E: Constructions fixes
 - o F: Mécanique; éclairage; chauffage; armement; sautage
 - o G: Physique
 - o H: Électricité
- Le système de classification américain de brevets (USPC²⁹ par ses sigles en anglais) est un système conçu pour l'organisation des documents de brevets américains et

²⁴ INPADOC est l'acronyme anglais de : International Patent Documentation

²⁵ EPO est l'acronyme anglais de : Europe Patent Office

²⁶ PC est l'acronyme anglais de : Patent Class

²⁷ Source : <http://www.wipo.int/classifications/ipc/fr/>

²⁸ IPC est l'acronyme anglais de : International Patent Classification.

²⁹ USPC est l'acronyme anglais de : US Patent Classification System

d'autres documents techniques basés sur un sujet commun. Le système contient 450 classes et 150,000 sous-classes.

- Un nouveau système de classification des brevets appelé « la Classification Coopérative des Brevets » (CPC³⁰) existe depuis janvier 2013, il a pour objectif la normalisation des systèmes de classification de tous les grands bureaux de brevets. La plupart des stratégies de brevets sont basées sur le code PC comme filtre pour les résultats parce qu'il vise le cœur de l'invention et décrit de façon concise ce que les brevets contiennent à l'intérieur. La sélection des codes PC pertinents est une tâche cruciale, difficile et peu d'outils ont été développés à cet effet (Montecchi, Russo, and Liu 2013).

1.3.4 Sélection des mots clés pertinents

Dans la recherche de brevets, la sélection correcte de mots clés est une partie cruciale pour arriver à des résultats pertinents. Afin de raffiner la récupération des brevets intéressants, des techniques comme le brainstorming ont été exploitées pour sélectionner des mots clés pertinents pour lancer les recherches, mais même des ingénieurs expérimentés peuvent être indécis face à cette sélection cruciale. Si les mots-clés ne sont pas sélectionnés correctement, alors les brevets trouvés peuvent être nombreux (recherche pas assez ciblée) ou peu nombreux (recherche mal ciblée). Cela est généralement déterminé par les mots-clés utilisés lors de la description de l'invention dans les brevets (différents styles de rédaction et de façon de décrire l'invention, plusieurs langages, utilisation de différents termes pour protéger l'invention,...). Avoir un bon portefeuille de mots-clés pertinents pour lancer la recherche dans des énormes bases de données des brevets est une tâche difficile (Y.-R. Li, Wang, and Hong 2009).

Nous avons choisi deux approches particulières et intéressantes en matière de sélection des mots clés ; la première est une méthode qui cherche à cartographier les connaissances, et la seconde une méthode qui intègre les effets physiques.

1.3.4.1 Sélection des mots clés par l'étude du contexte

(Costantini, Crespi, and Curci 2015) proposent une nouvelle méthode de sélection par mots-clés pour être utilisée dans les domaines complexes et transversaux (ou existe une définition complexe en ce qui concerne leurs caractéristiques technologiques et dynamiques). Ils cherchent à améliorer la façon dont les données de brevets sont organisées actuellement dans les bases de données de brevets. Leur méthode, divisée en quatre étapes, est basée sur la pertinence de mots clés sélectionnés plutôt que sur les codes CIB.

Dans la première étape, les auteurs réalisent une analyse approfondie d'un secteur donné, l'objectif est d'identifier les activités pertinentes qui ont lieu dans un système d'innovation technologique spécifique. Il vise à remettre en cause la pertinence de ce

³⁰ CPC est l'acronyme anglais de : Cooperative Patent Classification

secteur, à identifier les principales tendances au niveau international, à identifier la dynamique entre l'offre et la demande sur le marché, à identifier le cadre de politique sectoriel et toute information nécessaire pour représenter l'environnement global du secteur en question.

La deuxième étape consiste à identifier les principaux biens et services (produits, systèmes,...) dans le secteur étudié, afin de définir un ensemble de mots-clés que seront ensuite utilisés pour interroger la base de données de brevets. Les auteurs précisent que les mots clés identifiés sont des mots clés généraux sans ambiguïté, directement liés au secteur d'étude, donc principalement les noms commerciaux et scientifiques des produits finaux.

La troisième étape, selon les auteurs, permet de définir les aspects pertinents qui caractérisent le secteur, ce qui permet une classification logique de mots clés dans des groupes significatifs et cela mène à l'identification de la structure de la base de données à proposer. Cette étape permet la construction de la liste des mots clés qui repose sur l'évaluation de la documentation pertinente, les auteurs ciblent les phases individuelles de la chaîne de valeur de la production.

La dernière étape consiste en valider les mots clés récupérés par des outils/instruments et l'opinion des experts. L'ensemble de mots clés sera ensuite utilisé pour interroger les moteurs de recherche de brevets. La phase finale est validée par un panel d'experts qui compare la pertinence des brevets récupérés (en termes de cohérence) par leur méthode et par la méthode actuelle de classification de brevets.

Les auteurs affirment que leur approche donne des meilleurs résultats que l'utilisation de codes CLB, en fournissant des informations concernant la structure (du secteur étudié), la composition, et la dynamique d'un domaine technologique complexe et transversal.

1.3.4.2 Sélection des mots clés par la créativité et les effets physiques

(Russo and Montecchi 2011b) proposent une méthode pour trouver des mots clés liés à la fonction principale d'un système technique. Ils cherchent à cibler les mots-clés pertinents du système étudié pour une recherche de brevets efficace. Pour atteindre cet objectif ils proposent trois approches de créativité :

- **Approche Linguistique :** On cherche les relations sémantiques des « comportements³¹ » (acquis grâce aux méthodes de créativité) de la fonction principale en étude (Section 1.3.5.4.2). Cette approche utilise différentes bases de connaissances spécialisées (dictionnaires lexicales et sémantiques). Les auteurs précisent que l'utilisation seule d'une approche linguistique n'est pas complète ni exhaustive.

³¹ Les attributs qui peuvent être obtenus à partir de la structure de l'objet de conception.

- **Approche d'Ingénierie :** On exploite les solutions inventives standards de la théorie TRIZ (Section 1.3.6.1) afin de suggérer une liste de comportements alternatifs pour exécuter la fonction de l'étude en question.
- **Approche Multi-Vision :** Une dernière approche vient compléter leur méthode en utilisant une vision abstraite du problème à un niveau supérieur, c.à.d. traiter un comportement en utilisant la question « pourquoi ? » élargie le nombre de solutions possibles, et la question « comment ? » permet d'une manière spécifique d'atteindre l'objectif du système étudié (Méthode « Why-How »³²).

Une base de données des effets physiques amène des autres mots clés pour ensuite extraire la connaissance à partir d'une base de données de brevets. Un algorithme spécifique gère ces mots-clés et crée un groupe de requêtes pour identifier les brevets essentiels pour réaliser un état de l'art d'un produit, la conception de nouveaux produits, la génération d'idées, le transfert et prévision technologique... En ce qui concerne la RI les auteurs ont intégré des techniques d'enrichissement des requêtes (basés sur la sémantique).

En ce qui concerne les effets physiques, les auteurs ressource leur méthode en utilisant une base de données d'effets physiques composée par des mots-clés en forme de verbes, adverbes, adjectifs et par des mots clés liés à une technologie spécifique. Elle est classée en fonction de leur type d'interaction: i.e. mécanique, acoustique, thermique, chimique, électrique, électromagnétique, et biologique. Elle est obtenue par fusion de différentes connaissances des bases de données existantes d'effets physiques.

Dans leurs travaux plus récents, (Russo, Montecchi, and Ying 2012) ont informatisé leur méthode donnant lieu à un logiciel qui support la recherche d'information. Une particularité de cet outil (qui inclut des améliorations à leur méthode) est la possibilité d'élargir leur champ de recherche en allant d'un champ spécifique à une recherche plus générale. Cela veut dire que les concepteurs peuvent aller vers des autres champs de recherche ou des nouveaux effets physiques sont utilisés pour la même fonction étudiée.

1.3.5 L'analyse des brevets

Dans cette section nous aborderons plusieurs manières d'analyser les brevets et d'extraire les informations contenues dans les documents de brevets, couramment trouvés dans la littérature. Nous citons les différents objectifs des approches compilées dans cette section et la Figure 3 montre le bilan de ces objectifs et les techniques informatiques associées.

³² Méthode proposée par C.W.Bytheway dans son ouvrage : FAST : An Intuitive Thinking Technique

1.3.5.1 Utilisation de la métrologie scientifique

La métrologie scientifique est riche en termes faisant allusion à divers domaines de recherche, i.e. la Bibliométrie³³, la Scientométrie³⁴, l'Infométrie³⁵, la Webométrie³⁶, la Netométrie, la Cybermétrie. L'objectif de chaque domaine de recherche est d'analyser, quantifier et mesurer les phénomènes de communication pour construire des représentations formelles précises de leur comportement pour des fins explicatives, évaluatives, et administratives (De Bellis 2009).

Maintenant nous abordons les travaux des divers auteurs qui utilisent l'analyse bibliométrique de brevet et des approches qui cherchent à améliorer l'efficacité de l'analyse de brevets.

1.3.5.1.1 L'analyse de citations

Plusieurs champs de recherche utilisent des méthodes bibliométriques pour explorer l'impact de leur domaine, l'impact d'un ensemble d'individus, ou l'impact d'un document particulier. L'analyse de citations, connue en anglais comme « Citation Analysis » utilise ordinairement des méthodes bibliométriques. L'analyse de citations peut être définie comme la comptabilisation (évaluation) de la fréquence des citations (des documents, patrons, graphiques,...) dans les articles et les livres.

En ce qui concerne l'analyse des brevets (« Patent Citation Analysis³⁷»), l'outil le plus fréquemment utilisé est l'analyse de citations. (B. Yoon and Park 2004) identifient certains inconvénients cruciaux de l'analyse des citations de brevet :

- La difficulté de saisir la relation globale entre tous les brevets parce que l'analyse de citation indique simplement des liens individuels entre deux brevets particuliers,
- Lié au premier problème, la portée de l'analyse et de l'information potentiellement intéressante est limitée car l'analyse des citations prend seulement en compte des informations référencées et citées,
- L'analyse de citation n'a pas la capacité de considérer la relation interne entre les brevets. Elle prend en compte seulement l'existence ou la fréquence des citations, elle peut donc produire des indices superficiels ou même trompeurs,

³³ L'analyse statistique et mathématique des publications écrites (i.e. livres, articles,...)

³⁴ La science de mesurer et d'analyser la science, la technologie et l'innovation.

³⁵ L'étude des aspects quantitatifs de l'information sous quelque forme que ce soit.

³⁶ La Webométrie et des termes frères comme la Netométrie et la Cybermétrie sont un prolongement de méthodes de l'Infométrie et de concepts pour toute transaction d'information ayant lieu sur internet.

³⁷ Exécution d'une analyse bibliométrique sur les brevets, c.à.d. lier les brevets dans une base de données des brevets.

- L'analyse de citation est une tâche qui prend beaucoup de temps, car elle a besoin d'une recherche exhaustive.

On trouve dans la littérature diverses approches basés sur l'analyse de citations qui cherchent à satisfaire les demandes constantes des industriels dans les activités de conception, i.e. le développement de nouveaux produits (NPD³⁸),.... Généralement ces approches cherchent à améliorer la recherche actuelle et à surmonter les diverses limitations de l'analyse des citations. Elles proposent l'utilisation conjointe des diverses méthodes, détaillées dans les prochaines sections.

1.3.5.1.2 L'analyse des réseaux

L'analyse des réseaux (« Network Analysis³⁹ ») est une technique quantitative dérivée de la théorie des graphes⁴⁰, elle facilite l'analyse des interactions (arêtes) entre les acteurs (nœuds). Malgré qu'elle partage des points communs avec l'analyse de citations, (B. Yoon and Park 2004) précisent que l'analyse de réseau possède des avantages relatifs considérables :

- L'analyse des réseaux montre la relation entre les brevets de façon visuelle donc l'utilisateur peut comprendre intuitivement la structure générale d'une base de données des brevets (du domaine d'étude),
- L'analyse des réseaux enrichit l'utilité potentielle de l'analyse des brevets, car elle prend en compte plusieurs mots-clés (pour construire la relation de brevets) et produit des indicateurs plus significatifs.
- L'analyse des réseaux est plus économique en termes de temps de recherche et de coût, car elle transforme les documents originaux en données structurées grâce à la technique de fouille de textes. Elle permet aux concepteurs la récupération de brevets pertinents sans passer du temps à la lecture de tout le contenu des brevets.

Basée sur l'analyse des réseaux (B. Yoon and Park 2004) proposent une approche alternative pour pallier les limitations de l'analyse de citations dans le champ de l'analyse de brevets. Leur approche commence par la collecte et le prétraitement des données. Ils sélectionnent le domaine des brevets d'intérêt est puis ils recueillent tous les brevets en format de texte électronique liés à ce domaine. Ensuite, ils transforment les données brutes (brevets récupérés) en données structurées ; étant donné que les documents originaux sont exprimés en format de langage naturel, ils doivent être transformés en données structurées

³⁸ NPD est l'acronyme anglais de : New Product Development

³⁹ L'analyse de réseau permet d'analyser les entités liées les unes aux autres sous la forme de traces graphiques pour montrer leurs interdépendances et les interrelations.

⁴⁰ Une théorie informatique et mathématique qui étudie les graphiques (des structures mathématiques utilisées pour modéliser les relations entre les objets par paires). Les graphiques sont constitués de « sommets » ou « nœuds » et des lignes appelés « arêtes » qui les relient.

de manière à être analysés et exploités. Pour accomplir cette tâche (transformation des données brutes en données structurées), ils utilisent la fouille de textes pour extraire les mots clés du document de brevet (pour identifier des mots-clés et pour mesurer la similitude entre les brevets). Après, ils génèrent un réseau de brevets composé des nœuds (brevets) et des liens (relation entre les brevets). Selon les auteurs, une analyse intuitive et complète est possible à partir du modèle visuel du réseau. Finalement, ils précisent que sur la base de certains indices quantitatifs, ils réalisent une analyse des brevets en profondeur pour obtenir des informations quantitatives pour la prise de décision. Les auteurs affirment que leur méthode peut être utilisée dans le développement de nouveaux produits, la génération des nouvelles idées et la gestion de la technologie.

Nous présentons un autre exemple d'utilisation de l'analyse des réseaux des brevets (aussi connu par ses sigles en anglais comme NPA⁴¹) dans le cadre de la recherche de tendances technologiques dans plusieurs domaines industriels. (Chang, Wu, and Leu 2012) utilisent l'analyse des réseaux de brevets pour apercevoir les relations entre les documents et ensuite étudier les tendances technologiques repérées dans un domaine technologique donné. Ils suggèrent l'utilisation de la fréquence d'occurrence des mots-clés dans les documents de brevets, c.à.d. une comptabilisation des mots clés répétés. Cette approche par analyse des réseaux permet de cibler les points clés technologiques même pour les non-experts du domaine d'étude en question.

1.3.5.1.3 Les familles des brevets

Une famille de brevets⁴² (« Patent Family ») (dérivé du concept de priorité⁴³) est définie par (OuYang and Weng 2011) comme un groupe de publications de brevets connexes décrivant la même invention. C'est un ensemble de brevets déposés dans divers pays pour protéger une invention unique. Elle peut être aussi une série de demandes de brevets issue de la même technologie de base et de ses portefeuilles de brevets pertinents dans d'autres pays. Complémentairement, une famille de brevet peut être globalement définie comme un portefeuille de brevets similaires ou connexes d'une entreprise.

Des informations sur la famille de brevet d'une invention (brevet) particulière peuvent être récupérées rapidement à travers l'INPADOC. Dans les activités de conception, elle contribue à déployer une stratégie corporative de brevets et permet l'exploration des brevets les plus représentatifs. Cependant, (OuYang and Weng 2011) identifient certaines limitations dans l'étape de sélection de brevets pertinents à être analysés pour la conception de nouveaux produits, i.e. divers critères d'évaluation provenant de différents pays, divers problèmes de traduction, une description médiocre de revendications de brevets,... ce qui limite considérablement la sélection de brevets intéressants.

Pour aborder cette problématique, ils proposent un nouveau modèle d'analyse de brevets qui combine les familles de brevets avec l'analyse de citations. Leur approche est

⁴¹ NPA est l'acronyme anglais de : Network Patent Analysis

⁴² « Patent families », source : <https://www.epo.org/searching/essentials/patent-families.html>

⁴³ Première demande de dépôt du brevet

une procédure d'analyse systématique qui exploite l'information disponible dans les familles de brevets. Leur objectif est d'améliorer l'efficacité de l'analyse des brevets en identifiant correctement les brevets d'un concurrent industriel afin de contourner le brevet⁴⁴. Ils précisent que l'intégration des familles de brevets avec l'analyse de citations permet d'analyser la valeur réelle des brevets. Les auteurs considèrent que les citations de brevets facilitent la découverte de l'évolution du développement technologique, et la fréquence des brevets qui sont cités, révèle leur importance technologique. Leur approche est limitée par la nécessité de plusieurs experts expérimentés dans le domaine de l'étude, pour évaluer quels sont les brevets clés représentatifs de la famille de brevets.

1.3.5.2 La recherche des brevets

Nous avons présenté dans les Sections 1.2.1 et 1.2.2 la RI et l'enrichissement de requêtes utilisé de manière courante et générale dans les moteurs de recherche dans le web. En ce qui concerne l'analyse de brevets, (Montecchi, Russo, and Liu 2013) proposent un outil de recherche des brevets sémantique appelé KOM⁴⁵. Cet outil utilise de nombreuses bases de connaissances (i.e. dictionnaires, thesaurus techniques, ontologies de conception,...) pour effectuer une recherche de brevet conceptuelle. La recherche conceptuelle extrait le concept derrière les requêtes des utilisateurs et renvoie les résultats correspondant aux mots-clés directement utilisés dans la requête plus d'autres résultats en relation à ces mots-clés (enrichissement de la requête initiale). Pour augmenter le nombre des résultats, la requête initiale suivra une expansion de termes possibles avec laquelle un brevet peut exprimer le même concept. Plus l'expansion de la requête est élevée, plus les résultats seront nombreux mais la précision peut diminuer.

Les auteurs constatent que le langage des brevets peut être extrêmement différent (même en décrivant une invention connexe), un même concept peut être exprimé différemment. Pour limiter les brevets non pertinents, ils introduisent des outils sémantiques (Tagger⁴⁶ et Parser⁴⁷). Leur méthode est utilisée pour l'extraction de connaissances dans les brevets. La connaissance technique contenue dans les brevets peut être exploitée dans différentes activités de conception comme le développement de nouveaux produits, la prévision et le transfert technologique.

1.3.5.3 La sélection pertinente des brevets

(Choi et al. 2012) présentent une approche de fouille de textes basée sur des structures Sujet-Action-Objet (SAO⁴⁸). Leur approche commence par la sélection des documents de brevet. Leur objectif est de sélectionner les brevets pertinents depuis une base de données de brevets, puis les récupérer par le moyen d'une requête de récupération. La requête est

⁴⁴ Aussi connu en anglais comme : Design-around

⁴⁵ KOM est l'acronyme anglais de : Knowledge Organizing Module

⁴⁶ Un « Tagger » est un programme informatique qui attache des étiquettes aux constituants grammaticales du texte

⁴⁷ Un « Parser » est un programme informatique qui analyse la syntaxe d'un texte (analyseur syntaxique)

⁴⁸ SAO est l'acronyme anglais de : Subjet-Action-Objet

composée de mots-clés liés à la technologie ciblée, et des informations bibliographiques telles que le CIB. Ensuite, ils extraient les structures SAO à partir des brevets sélectionnés en utilisant le traitement de langage naturel, ils considèrent pour l'extraction toutes les parties du document de brevet (résumés, revendications et description). Ensuite, ils utilisent la fouille de textes pour analyser les structures SAO. Ils classent les structures SAO dans une matrice construite à partir de la mesure de similarité sémantique entre les structures, puis des étapes de catégorisation des structures et d'identification des types d'implications technologiques (ou perspectives technologiques) permettent la construction d'un arbre des technologies amélioré (diagrammes fournisseurs d'information technologique qui utilisent les métadonnées technologiques). Leur méthode peut être utilisée pour supporter la prise de décisions et pour la planification technologique.

1.3.5.4 L'extraction d'informations à partir de brevets

Dans la vaste littérature de l'analyse de brevets plusieurs auteurs extraient des informations à partir de brevets en utilisant les techniques informatiques (le traitement de langage naturel, la fouille de textes,...) décrites et définies dans les sections précédentes. Nous présentons quelques méthodes intéressantes et pertinentes des auteurs qui extraient les informations pour ensuite être traduites en connaissances utiles (Section 1.3.6) pour accomplir plusieurs objectifs.

1.3.5.4.1 Extraction des fonctions

La fonction traduit l'action que réalise un système, elle s'exprime par un verbe et un complément. Exprimer les fonctions d'un système permet d'utiliser ensuite les méthodes d'innovation et de conception définies dans les normes ISO 9000 ou développées par les différents laboratoires de recherche (en particulier I2M-IMC) ou par les nombreux cabinets de conseil.

(1) Par l'analyse de similarité fonctionnelle

(Park, Yoon, and Kim 2013) utilisent le traitement de langage naturel et l'analyse de similarité fonctionnelle pour extraire des informations concernant les fonctions à partir de différentes sections du texte de brevet (titre, résumé, description et revendications). Leur approche divisée en quatre phases commence par la définition de la fonction spécifique d'une technologie destinée au transfert technologique. Tous les brevets liés à cette technologie sont ensuite collectés. Ensuite, des informations sur les fonctions dans les textes des brevets sont extraites. Tous les brevets liés à une certaine technologie qui permettent de réaliser la fonction préalablement définie par les experts sont identifiés. Finalement, leur méthode permet de cibler les industries d'application potentielles pour faciliter le transfert de technologie aux industriels.

(2) Par les structures SAO

Les structures SAO sont couramment utilisées pour représenter les fonctions liées aux technologies. Elles sont composées d'un Sujet (syntagme nominal), Action (syntagme verbal)

et l'Objet (syntagme nominal), cette structure simple décrit explicitement les relations entre composants qui apparaissent dans les textes de brevet.

(Park et al. 2012) proposent une approche basée sur l'extraction des structures SAO ; Ils les extraient à partir des textes de brevets en exploitant le traitement du langage naturel. Les auteurs précisent que l'expertise et les constatations inventives sont extraites à partir d'une collection de brevets pertinents. Cette méthode est utilisée pour le renseignement/veille des brevets (Section 1.3.6.3).

Les travaux plus récents de (Park, Ree, and Kim 2013) complètent l'approche en utilisant les techniques de fouille de textes et les tendances d'évolution TRIZ (Section 1.3.6.1) pour le transfert technologique. Leur approche cherche à identifier les brevets prometteurs, elle est divisée en quatre étapes : la définition de la technologie et la récupération des brevets ; l'extraction d'informations concernant les fonctions ; l'identification de brevets et des industries liés aux fonctions et finalement, l'évaluation d'applicabilité de la technologie trouvée. Les tendances sont utilisées comme critères d'évaluation afin d'évaluer les technologies trouvées dans les brevets.

1.3.5.4.2 Extraction de fonctions, comportements et structures (model FBS)

Selon (Gero 1990) le résultat de l'activité de conception est la description de la conception, elle est généralement représentée graphiquement, numériquement ou textuellement. Le but de la description de la conception est le transfert des informations suffisantes à propos de l'artefact conçu de sorte qu'il peut être fabriqué ou construit, c.à.d. la transformation des fonctions dans des descriptions de conception, de manière que l'artefact décrit soit capable de produire les fonctions. Gero affirme que dans la conception tout schéma doit au moins être en mesure d'intégrer la fonction, la structure, le comportement et description de la conception.

Basé sur les concepts proposés par John S. Gero, dans la science de conception, l'ontologie FBS⁴⁹ (fonction – comportement – structure) est une ontologie de conceptualisation des objets de conception en trois catégories ontologiques (Gero and Kannengiesser 2004):

- La Fonction (F) est le but final de l'objet de conception, i.e. dans la conception de fenêtres, ils existent différentes fonctions comme fournir la lumière du jour, contrôler la ventilation, donner accès à une vue (à l'extérieur).
- Les Comportements (B) sont les attributs qui peuvent être obtenus à partir de la structure de l'objet de conception, i.e. dans l'exemple de la conception de la fenêtre, les comportements de la structure comprennent le flux lumineux transmis, le taux de ventilation et les différents apports solaires.

⁴⁹ FBS est l'acronyme anglais de : Function-Behaviour-Structure, une méthodologie de représentation et modélisation des produits et procédés.

- La Structure (S) est les composants de l'objet de conception et ses relations, i.e. en continuant avec l'exemple de conception de fenêtre, la structure de l'artefact est le vitrage, le châssis et leur topologie.

(Fantoni et al. 2013) adoptent les concepts de l'ontologie FBS pour le développement de nouveaux produits. Ils détectent et extraient de manière automatique des informations concernant les fonctions, les comportements et les états du système à partir du texte de brevet. Leur objectif est de fournir un outil pratique pour faciliter, et accélérer l'analyse humaine dans le grands corpus de documents de brevets. Les auteurs affirment que leur approche peut assister diverses activités de conception (la comparaison de produits, la génération de l'innovation,...)

Un autre exemple pertinent, est l'approche de (Russo and Montecchi 2011b) qui cherchent à trouver des solutions alternatives et non conventionnelles aux problèmes industrielles, en fouillant les bases de données de brevets. Ils proposent une modification de l'ontologie FBS (au niveau Fonctionnel, Comportemental-Physique et Structurel) qui sera ensuite exploitée pour classer toutes les informations recueillies à partir du texte de brevet. Ensuite, un algorithme spécifique fournit à la fois la recherche de brevets et la classification sous la forme d'un diagramme en forme d'arbre.

La version modifiée de l'ontologie FBS (pour les auteurs FB-Ph-S) est définie par les auteurs en quatre niveaux :

- **La Fonction** : Définie comme la fonction principale d'un système ou produit. Elle doit représenter les exigences du concepteur en termes de concepts fonctionnels.
- **Le Comportement** : Dans le contexte de l'analyse des brevets les auteurs l'interprètent comme une modification séquentielle des états, c.à.d. le comportement d'un système sera décrit par tous les moyens par lesquels il est possible d'atteindre l'objectif de conception définie par une fonction.
- **L'Effet Physique** : D'une part, les effets physiques sont les lois de la nature qui gouvernent les changements d'état. Les effets physiques peuvent être décrits quantitativement à l'aide des lois physiques qui régissent les grandeurs physiques concernées. D'autre part, les phénomènes physiques sont la cause de la transition d'un état à une autre. Donc, l'activation d'un effet physique est nécessaire pour créer des phénomènes physiques et des changements d'état. Un comportement (d'un système ou produit) peut être décrit par son état initial et un ensemble de phénomènes physiques.
- **La Structure** : Décrit les comportements du système et ses relations. Grâce à la structure d'un système, les transformations (modifications des paramètres de conception) fournies par les comportements à travers les effets physiques pour accomplir la tâche de conception (fonction principale), peuvent exister.

Les auteurs assurent que cette approche ontologique basée sur les mots clés physiques et les mot clés associés aux comportements, produit de meilleurs résultats que les approches traditionnelles (réduction de 80% de brevets non pertinents) (Russo and Montecchi 2011a).

1.3.5.4.3 Extraction des mots clés significatifs-rares

(Y.-R. Li, Wang, and Hong 2009) proposent une méthode pour l'extraction des mots-clés significatifs-rares, basée sur le Text Mining combinée avec une méthode appelée « Chance Discovery ». Une chance dans la « découverte fortuite⁵⁰ » signifie comprendre un événement/situation de inaperçu qui peut être incertain, mais importante pour prendre une décision, en d'autres termes c'est la découverte des informations sur un événement ou une situation importante dans la prise de décisions (Yukio 2006).

Ils utilisent cette combinaison des méthodes pour sélectionner les mots-clés les moins fréquemment utilisés par les scientifiques et les technologues dans la rédaction des brevets. Les auteurs assurent obtenir des résultats intéressants en utilisant un répertoire des mots clés complémentaires aux mots-clés classiques utilisés pour décrire les inventions dans les brevets. Les auteurs précisent que cette approche est utile pour le management de la technologie, le développement de nouveaux produits, la violation de brevet,...

1.3.5.4.4 Extraction des mots-clés technologiques

(Tian, Zhiping, and Zhengyin 2013) proposent une approche qui extrait automatiquement des termes technologiques pour aider les gestionnaires de produits et les concepteurs à acquérir des informations technologiques pertinentes (des principes d'invention et leurs effets) depuis les documents de brevet. Ils utilisent seulement les résumés et les revendications des brevets car ils considèrent que ces parties reflètent des concepts technologiques clés et ils décrivent l'essence de l'invention. Ils utilisent des logiciels de « Data Mining » et l'annotation sémantique pour construire une base de données de brevets. Leur module de récupération de l'information des brevets peut être utilisé dans la génération de solutions innovantes, la conception des produits et le développement de nouvelles technologies.

Leur méthode se compose de trois étapes : la préparation du brevet, l'extraction de caractéristiques techniques et la classification des brevets puis la construction de la base de connaissances. Dans la première étape, ils travaillent sur la stratégie de recherche de brevet, la sélection d'une base de données de brevet adaptée à leurs besoins, puis la construction de leur répertoire des brevets. Ensuite, une étape de filtrage est imposée, les brevets non pertinents et répétés sont supprimés. Finalement, ils extraient et classifient les informations essentielles bibliographiques du brevet.

⁵⁰ Le défi de découvrir les événements qui permettent de prévoir l'avenir d'un système complexe et dynamique, tel que l'environnement social et naturel dans lequel des diverses décisions sont faites. Dans le domaine de l'intelligence artificielle, de la physique, de la sociologie et de la linguistique, l'être humain a besoin d'interagir avec l'environnement pour découvrir les chances (Yukio 2003).

Dans la deuxième étape, ils utilisent l'annotation sémantique (« Semantic Annotation⁵¹») (soit manuel, semi-automatique ou automatique) pour marquer le contenu des brevets. Les auteurs utilisent l'approche semi-automatique, un groupe d'experts marque manuellement un certain nombre de brevets pour réaliser une classification préliminaire (Base de connaissances préliminaire). « Data Mining » est ensuite utilisé pour acquérir automatiquement des caractéristiques de groupes de mots et des relations entre les concepts. Ils regroupent les brevets et ils construisent un système de classification des connaissances. A la fin de cette étape, les auteurs combinent de façon manuelle les deux bases de connaissances.

Dans la dernière étape les auteurs construisent un système d'extraction des brevets. Ils précisent que, grâce à leur base de connaissances, les utilisateurs peuvent exploiter les brevets par les mots-clés (recherche traditionnelle), les codes de classification (CIB), et par le contenu technique du brevet (leur contribution).

1.3.5.5 Identification des obstacles dans l'analyse de brevets

(Cavallucci, Rousselot, and Zanni 2011) utilisent le concept « goulot⁵²», ou « goulot d'étranglement⁵³ », un terme courant en production pour décrire un point que limite les performances globales du système ou le flux de production d'une entreprise. Ils appliquent ce concept pour décrire les principaux obstacles d'utilisation des brevets. Ils décrivent les différents goulots comme suit :

- Le premier obstacle est relié aux différentes langues inaccessibles et à la mauvaise numérisation de textes de brevet. Premièrement, les concepteurs cherchent l'information des brevets de façon exhaustive, donc ils ont besoin des outils capables de faire face aux différentes langues. Actuellement une grande quantité des documents de brevet rédigés en chinois sont pratiquement inaccessibles et parfois leurs inventions ignorées par les concepteurs. Selon les auteurs, les outils existants ne sont pas aussi développés que pour les langues Indo-Européens. Deuxièmement, certains brevets ne sont pas disponibles gratuitement en texte intégral et d'autres brevets, principalement les anciens, sont mal numérisés ce qui génère des « bruits » au moment de la reconnaissance automatique des textes.
- Le deuxième obstacle est relié à la notion de pluridisciplinarité dans divers domaines spécifiques. Le modèle de représentation de connaissances ne sera pas le même pour diverses intervenants clés d'un projet. Par conséquent, au moment de l'extraction de la connaissance, les mots clés récupérés reflèteront le sens donné par les rédacteurs de brevet et non précisément le sens voulu par l'entreprise.

⁵¹ L'annotation ou marquage (« Tagging ») s'agit d'attacher des noms, attributs, commentaires, descriptions,... à un document. Il fournit des métadonnées à des données déjà existantes. Source : <http://ontotext.com/products/ontotext-semantic-platform/semantic-annotation/>

⁵² Utilisé dans la Théorie des Contraintes (TOC en anglais)

⁵³ Mieux connu en anglais comme : Bottleneck

- Le troisième obstacle est relié aux systèmes conceptuels différents pour les différents experts. La littérature en ingénierie des connaissances⁵⁴ propose divers approches pour faire face à l'acquisition de connaissances à partir de plusieurs sources. Appliqué aux brevets, lorsque les documents proviennent de différents domaines, le risque d'avoir des recommandations⁵⁵ contradictoires provenant de différentes sources est faible, alors qu'il peut y avoir des points de vue complémentaires. Mais, avec des sources de connaissances provenant de domaines proches, le risque est élevé et, par conséquent, il existe un besoin d'outils pour gérer ces différences.
- Le quatrième obstacle est la gestion de conflits d'expertise. Selon les auteurs ces conflits peuvent apparaître parce que les experts évoluent dans un contexte différent ou parce que certains d'entre eux utilisent un raisonnement scientifique, tandis que les autres un raisonnement empirique.

Pour pallier certains de ces obstacles, les auteurs présentent une méthode de conception inventive à base d'ontologies que vise à extraire et représenter le savoir-faire des experts de certains domaines de connaissances. Leur logiciel « TRIZAcquisition » est basé sur cette approche, ils contribuent aux communautés d'innovation assistée par ordinateur⁵⁶.

1.3.6 L'exploitation des brevets

Jusqu'ici nous avons observé que les brevets sont riches en informations et en connaissances potentiellement exploitables. Dans la littérature existent plusieurs approches qui cherchent à transformer les informations en connaissances utiles. Nous complétons la section d'analyse des brevets précédente avec différentes approches qui exploitent les brevets (connu en anglais comme « Patent Mining »). Nous commençons par introduire les tendances d'évolution qui sont exploitées par divers auteurs dans le domaine de la conception.

1.3.6.1 Tendances/lois d'évolution

Une tendance peut être définie comme l'acheminement progressif d'une entité, dans le contexte technique, elle peut être définie comme « l'identification anticipée de la transformation progressive d'un système technique ».

Les brevets ont servi comme une source d'inspiration pour en déduire des tendances d'évolution des systèmes techniques. Dans les années quarante, l'ingénieur et scientifique

⁵⁴ Aussi connu en anglais come : Knowledge Engineering (KE), Il fait référence à tous les aspects techniques, scientifiques et sociaux impliqués dans la construction, entretien et utilisation des systèmes à base de connaissances.

⁵⁵ Dans ce contexte, c'est le rapport entre termes et concepts utilisés par les experts dans les systèmes conceptuels.

⁵⁶ Aussi connu en anglais comme : Computer Aided Innovation.

russe Genrich Altshuller, après avoir étudié plus de 40.000 brevets développa des lois objectives⁵⁷ qui décrivent l'évolution des systèmes techniques. Il comptait sur son observation, l'analyse des brevets, et l'étude de l'existant (Savransky 2000).

Dans des travaux plus récents (D. Mann 2002) a cherché à faire évoluer la théorie soviétique en adaptant et complétant les lois classiques de TRIZ. Il a proposé un classement en 30 tendances d'évolution techniques génériques et 20 tendances commerciales (champ du business). Souvent rencontré dans la littérature comme « tendances d'évolution actualisés/réorientées par Mann », ils font référence à la classification faite par l'auteur en trois catégories ; espace, temps et interface.

Diverses méthodes d'analyse basent leurs approches sur les lois d'évolution TRIZ. Notamment (D. L. Mann 2003) propose une méthode de conception pour permettre aux industrielles d'identifier la maturité relative de leurs systèmes actuels, et d'identifier les domaines où un potentiel évolutif⁵⁸ existe. Le terme « potentiel évolutif » introduit par l'auteur, est défini comme la différence entre la maturité relative du système actuel et le point où il a atteint les limites de chaque tendance d'évolution. Sa méthode est principalement utilisée pour l'évolution des systèmes techniques complexes. Elle permet aux industriels, premièrement, d'identifier les zones où leurs systèmes techniques peuvent potentiellement évoluer pour la génération de la valeur, et deuxièmement, de leur faire connaître si les limites d'évolution ont été déjà atteintes.

Dans le cadre des activités de conception, ses travaux ont été considérablement utilisés par plusieurs auteurs qui, de façon automatique, identifient des tendances d'évolution dans les textes des brevets, i.e. (Yoon, Janghyeok, and Kim 2012), (Park, Ree, and Kim 2013), (J. Yoon and Kim 2011). Ces auteurs basent leurs approches sur les tendances de Mann afin d'identifier des évolutions techniques. Leurs outils utilisent les diverses techniques informatiques qui seront abordées dans les sections suivantes.

Les lois d'évolution ont été aussi exploitées par des auteurs qui utilisent des méthodes non-automatiques. Basé sur le principe selon lequel les lois d'évolution TRIZ décrivent l'état d'évolution d'un système ou un produit, (Zouaoua-ragab 2012) utilise les lois d'évolution pour prédire des futures générations de produits. Elle compile plusieurs définitions de lois d'évolution en provenance de divers auteurs, puis elle modélise les cinq premières lois. L'objectif de son approche est de guider les concepteurs vers l'identification de la plus grande quantité de développements possibles de produits innovants. Pour la collecte de données, son approche non automatique, utilise des enquêtes et l'extraction d'information manuelle.

⁵⁷ Elles sont connues comme : Les lois d'évolution de la théorie TRIZ

⁵⁸ Toutes les étapes d'évolution non exploitées

1.3.6.2 Les arbres des technologies

(Choi et al. 2012) définissent un arbre⁵⁹ des technologies (« TechTree ») comme un diagramme d'interconnexion qui exprime les relations entre les composants de produits, les technologies ou les fonctions d'une technologie dans un domaine technologique spécifique. Un arbre des technologies identifie les technologies stratégiques de base, il est utile pour supporter la prise de décision dans un marché donné pour des organisations à capacités particulières.

Cependant, les arbres des technologies existants exagèrent généralement la connaissance qualitative et expert-dépendante plutôt que d'intégrer l'information quantitative et objective. En outre, le processus traditionnel de l'élaboration d'un arbre des technologies nécessite de grandes quantités d'informations, qui coûtent considérablement en termes de temps, et ils ne peuvent pas fournir des informations intégrées à partir d'une variété de perspectives technologiques simultanément.

1.3.6.3 La veille des brevets

Le renseignement ou la veille des brevets, nommé en anglais « Patent Intelligence », est la transformation du contenu des brevets en connaissance technique, commerciale et juridique. Il est considéré comme un facteur clé pour obtenir un avantage concurrentiel dans les marchés technologiques compétitifs. En raison de leur simplicité et leur facilité d'utilisation les outils existants de renseignement de brevet basés sur des mots-clés sont largement utilisés.

Prenons comme exemple les travaux de (Bécue, Flamand, and Frigant 2013). Les auteurs cherchent à améliorer l'analyse de brevets par le biais d'une méthodologie d'exploitation des informations financières et réglementaires d'un groupe de brevets d'un domaine innovant. Les auteurs affirment qu'une vision financière et réglementaire enrichit l'analyse des brevets car, dans un premier temps, cette vision permet de mesurer la maturité technologique et de recenser les acteurs qui ont des ambitions innovantes et, dans un deuxième temps, elle contribue, par les acteurs impliqués, à la découverte des différents chemins d'innovation. Les auteurs précisent que, pour un renseignement (intelligence) économique efficace, il est primordial de comprendre l'environnement réglementaire du domaine technologique étudié.

Bien que les différentes approches d'analyse et d'exploitation des brevets basées sur le renseignement des brevets sont amplement utilisées et aboutissent à des résultats encourageants, (Park et al. 2012) identifient des limitations concernant le manque de représentation des concepts technologiques clés et des connaissances inventives par le fait d'être basé seulement sur la fréquence d'occurrence (apparition) des mots-clés préalablement définis. Ils proposent une méthode qui construit des cartes de brevets

⁵⁹ Une arborescence en informatique est une structure de données récursive, il existe deux catégories d'éléments : les feuilles ou nœuds externes et les nœuds internes.

(« Patent Map⁶⁰ ») ou des cartographies de brevets (« Patent Landscape⁶¹ ») et des réseaux de brevets (« Patent Network⁶² ») en utilisant l'analyse sémantique et les structures SAO. Leur système permet l'identification des tendances technologiques et des brevets pertinents, la détection de nouvelles technologies, et l'identification d'une potentielle violation de brevet. Leur méthode est utilisée pour la planification technologique (« Technology Planning⁶³») afin d'aider les experts dans la formulation des stratégies technologiques.

1.3.6.4 Classification de brevets selon les principes inventifs TRIZ

Divers auteurs ont cherché à lier la classification de brevets basée sur le code CIB aux différentes visions de TRIZ. Leur objectif est d'assister les utilisateurs TRIZ.

(Loh, He, and Shen 2006) ont proposé une classification automatique des brevets en utilisant les 40 principes inventifs de la théorie TRIZ. Par le biais de techniques d'apprentissage machine, ils ont montré des résultats de classification selon les 6 premiers principes d'invention à partir du document des brevets de l'USPTO⁶⁴.

Suivant la même logique, (Z. Li et al. 2012) présentent un « Framework⁶⁵ » plus récent, qui intègre des modèles d'apprentissage automatique, l'exploration de données, le traitement du langage naturel, les métriques de citations de brevets, pour l'extraction de données de brevets et leur classification dans plusieurs catégories d'inventivité. Ils cherchent à classer les brevets selon leur niveau d'invention, connu dans le cadre TRIZ comme LOI⁶⁶ (afin de caractériser la créativité d'un concept de conception). Pour surmonter la problématique courante de recherche de brevets liée à la grande quantité de brevets non pertinents récupérés, les auteurs présentent en cadre de travail pour assister les concepteurs dans la phase de sélection de brevets pertinents ou de « grande valeur ». Les auteurs cherchent à intégrer leur approche dans des futurs systèmes de Conception Assisté par Ordinateur (CAO) pour fournir aux concepteurs les moyens de trouver des solutions alternatives (les plus innovantes) et pour stimuler leur créativité dans la phase de conception.

⁶⁰ Modèle graphique pour la visualisation de brevets. Il est utile pour identifier les brevets dans un domaine technologique particulier, vérifier leurs caractéristiques, dégager des relations entre brevets,...

⁶¹ Aperçu graphique de la situation des brevets d'une technologie donnée dans une région, un pays ou mondialement.

⁶² Processus de construction de vastes réseaux de brevets qui montrent les domaines technologiques centrés sur ces réseaux.

⁶³ Processus qui définit les objectifs de développement de la technologie et formule des stratégies spécifiques sur la façon d'acquérir, gérer et exploiter les technologies (Park et al. 2012).

⁶⁴ USPTO est l'acronyme anglais de : United States Patent and Trademark Office

⁶⁵ (1) Comme Cadre de travail, est un ensemble normalisé des concepts, pratiques et critères pour aborder une problématique ; (2) Comme Structure logicielle, est un ensemble cohérent de composants logiciels structurels pour la génération des fondations de l'architecture d'un logiciel.

⁶⁶ LOI est l'acronyme anglais de : Level of Invention, défini comme un degré d'inventivité, soit le degré relatif de changements d'un système par rapport à un système précédent.

1.3.6.5 Les tendances technologiques

Par définition la technologie est la connaissance systématique appliquée pour modifier, contrôler, ou ordonner des éléments du milieu physique ou social. Cela inclut les systèmes matériels, les systèmes d'analyse régulation et gestion.

En observant l'histoire de notre société, nous pouvons nous apercevoir que durant une longue période de temps les personnes se sont adaptées aux changements technologiques rapides. Nos arrière grands-parents sont nés à l'époque des voitures à cheval puis du transport automobile et ont vu le premier homme sur la lune et, actuellement, le changement radical de l'informatique et des technologies de l'information. Malgré les impacts de l'évolution technologique, les sociétés et les individus n'ont pas beaucoup appris sur la façon d'anticiper et de planifier la technologie (Roper et al. 2011).

Les deux sections suivantes présentent des approches liées à ce souhait d'anticipation technologique.

1.3.6.5.1 Identification des domaines d'application technologique

Dans l'industrie, l'identification des domaines dans lesquels une technologie donnée peut être potentiellement appliquée a de plus en plus d'importance. (Park, Ree, and Kim 2013) affirment que les entreprises ont une compréhension insuffisante des applications potentielles (dans d'autres domaines) de leurs technologies, en raison de la multiplicité des technologies et terminologies techniques existant dans différents champs industriels. Les auteurs ont constaté que les technologies industrielles peuvent être liées aux différents champs d'application par l'utilisation d'un point de vue fonctionnel car les fonctions utilisées sont généralement similaires. Leur approche à base d'extraction des structures SAO (section 1.3.5.4.1) permet la récupération des informations pertinentes qui seront ensuite transformées en connaissances utilisées pour les futurs transferts de technologie.

1.3.6.5.2 La prévision technologique

La prévision de la technologie ou « TF⁶⁷ » par son sigle en anglais est un processus qui anticipe le sens générique ou spécifique de l'évolution technologique d'un produit ou famille de produits, il est centré sur les inventions et les innovations.

Pour (Verhaegen et al. 2009) les tendances d'évolution TRIZ leur permettent de prédire des améliorations en identifiant le potentiel évolutif (d'une famille de produits) décrit par (D. L. Mann 2003). Leur approche cherche à catégoriser les brevets selon plusieurs tendances connues (sur la base de compétence intrinsèques des experts TRIZ). Ils analysent les brevets à travers un algorithme (basé sur « Text Mining » et NLP) qui extrait les informations pertinentes d'un produit pour être ensuite comparées aux tendances TRIZ.

⁶⁷ TF est l'acronyme anglais de : Tecnology Forecasting

Leur approche collecte les brevets concernés (produit ou famille de produits) à partir des codes CIB (ou autres classifications) et les différents sections du texte de brevet. Les brevets récupérés sont soumis au marquage (avec un tagger) de la partie du discours (POS⁶⁸ par ses sigles en anglais), afin d'identifier les adjectifs. Ces adjectifs sont utilisés par les auteurs pour identifier les tendances TRIZ concernés et les phases de tendance dans les brevets, cette tâche n'est pas automatique. Les auteurs précisent que leur méthode peut être incorporée dans la phase de spécification de la conception du produit pour assister les ingénieurs de conception.

Il existe un vrai intérêt pour l'identification et la classification des tendances d'évolution à partir de documents des brevets par plusieurs chercheurs et industriels. Dans des travaux plus récents, (J. Yoon and Kim 2011) présentent une approche automatique qui extrait des relations binaires entre brevets en utilisant le traitement de langage naturel et la similarité sémantique⁶⁹ (ou proximité sémantique⁷⁰) pour déterminer ensuite les tendances d'évolution spécifiques de TRIZ. Leur approche manque de précision au niveau de l'identification correcte de tendances. Pour améliorer leur approche initiale, ils proposent un système l'utilisation des structures SAO (Park et al. 2012).

L'analyse temporelle de brevets pour l'identification des points clés technologiques (densité de brevets trouvés dans une courte période) est un des points intéressants de leur approche. Cette analyse leur permet l'identification des technologies prometteuses dans les zones sous-développées technologiquement. Basé sur cette méthode, les auteurs ont conçu un outil de veille (renseignement) technologique, connu en anglais comme « Technology Intelligence⁷¹ ». Les auteurs affirment que l'outil « TrendPerceptor » permet l'analyse de grandes quantités d'informations pour générer des informations utiles et donc assister aux concepteurs dans la prise de décision (l'évaluation des technologies et la prévision) (Yoon, Janghyeok, and Kim 2012).

1.3.7 Bilan des techniques et objectifs trouvés dans la littérature

Les différentes approches d'analyse et l'exploitation de brevets retrouvés dans la littérature ont été de grande utilité pour comprendre la façon dont les informations sont extraites, puis transformées en connaissances pertinentes et utilisables pour accomplir différents objectifs parmi lesquels se distinguent les activités de conception.

Le synoptique de la Figure 3 présente un résumé des approches abordées. Cette étude (non exhaustive) de l'existant en matière de l'analyse des brevets a été construite en adressant deux questions principales qui expliquent la logique du graphe. D'abord la

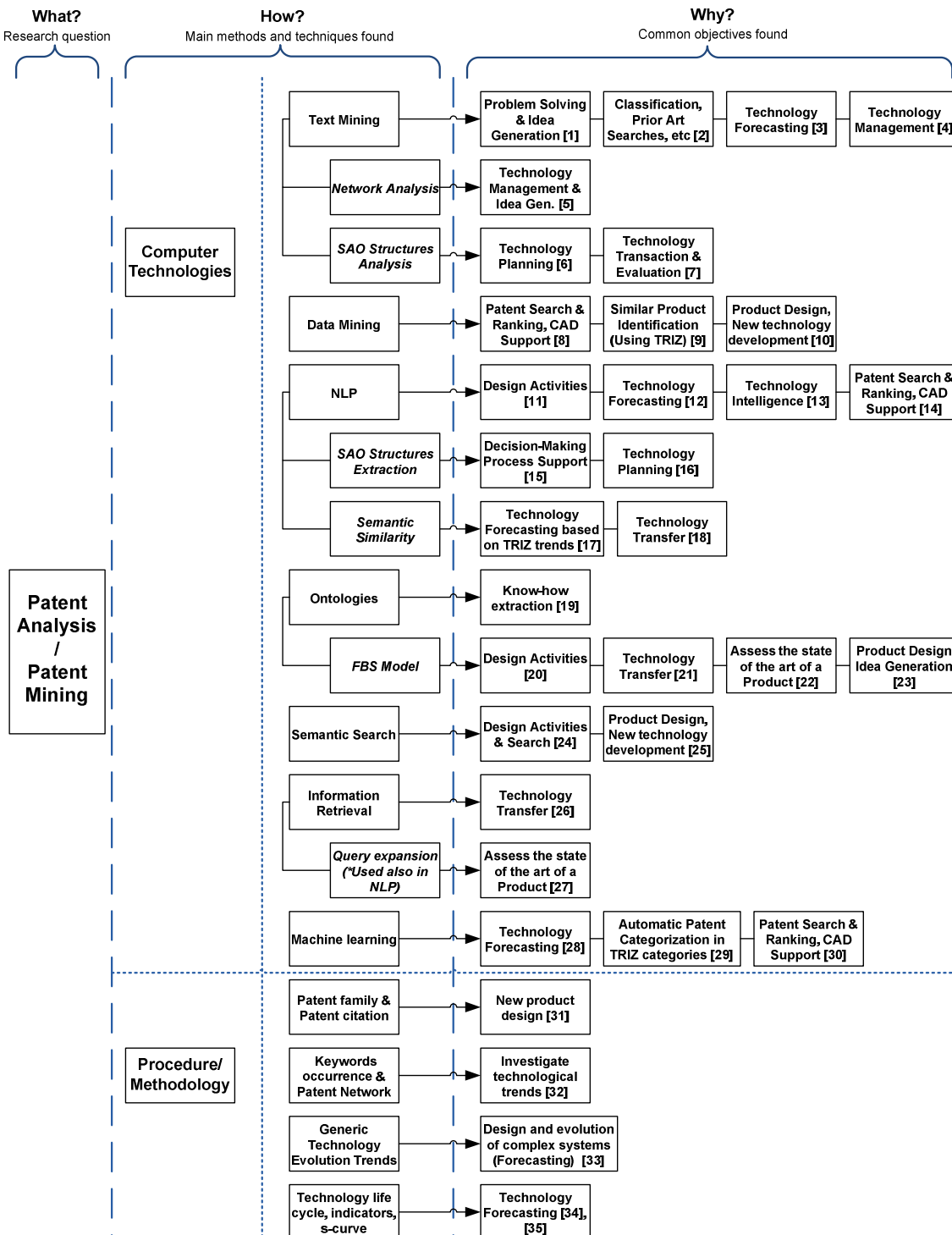
⁶⁸ POS est l'acronyme anglais de : Part-of-Speech

⁶⁹ Aussi connu comme : Semantic Sentence Similarity

⁷⁰ Il est la métrique définie sur un ensemble de documents, termes ou concepts. La notion de distance fait référence à la ressemblance de sens ou contenu sémantique.

⁷¹ La veille scientifique et technique est une activité qui permet aux entreprises l'identification d'opportunités et menaces qui pourraient avoir, respectivement, des effets positifs ou négatifs. Elle consiste à s'informer de façon systématique sur les techniques les plus récentes.

question "comment?", montre les méthodes et les techniques couramment utilisées dans la littérature, et la question "pourquoi?" met en évidence les objectifs et la perspective d'utilisation de plusieurs auteurs.



[1] – (Paul Armand Verhaegen et al. 2011); [2] – (Tseng, Lin, and Lin 2007); [3] – (Gao et al. 2013); [4] – (Y.-R. Li, Wang, and Hong 2009); [5] – (E. Yoon and Park 2004); [6] – (Choi et al. 2012); [7] – (Park, Ree, and Kim 2013); [8] – (Z. Li et al. 2012); [9] – (P. A. Verhaegen et al. 2011); [10] – (Tian, Zhiping, and Zhengyin 2013); [11] – (Fantoni et al. 2013); [12] – (P.-A. Verhaegen et al. 2009); [13] – (Yoon, Janghyeok, and Kim 2012); [14] – (Z. Li et al. 2012); [15] – (Park et al. 2013); [16] – (Choi et al. 2012); [17] – (J. Yoon and Kim 2011); [18] – (Park, Yoon, and Kim 2013); [19] – (Cavallucci, Rousselot, and Zanni 2011); [20] – (Fantoni et al. 2013); [21] – (Russo, Montecchi, and Ying 2012); [22] – (Russo and Montecchi 2011); [23] – (Russo, Davide, and Montecchi 2011); [24] – (Montecchi, Russo, and Liu 2013); [25] – (Tian, Zhiping, and Zhengyin 2013); [26] – (Russo, Montecchi, and Ying 2012); [27] – (Russo and Montecchi 2011); [28] – (Cunningham 2009); [29] – (Loh, He, and Shen 2006); [30] – (Z. Li et al. 2012); [31] – (OuYang and Weng 2011); [32] – (Chang, Wu, and Leu 2012); [33] – (Mann 2003); [34] – (Yü and Fan 2012); [35] – (Gao et al. 2013)

Figure 3 Synoptique de certaines méthodes, techniques et leurs objectifs associés en matière d'analyse de brevets.

1.4 La recherche d'inspiration

Dans le contexte de la conception créative, la recherche de l'inspiration peut être définie comme la recherche de la stimulation de l'originalité et la créativité. Le procédé d'inspiration est une part crucial dans les activités de conception.

(Setchi and Bouchard 2010) présentent un approche basée sur la sémantique et les ontologies pour l'inspiration de concepteurs dans les phases de créativité. Les auteurs précisent que les sources d'inspiration aident les concepteurs dans la définition du contexte de leurs designs et leur permet de réfléchir sur l'impact émotionnel de leurs nouveaux produits. L'observation et l'interprétation des différentes sources d'inspiration, permet aux concepteurs de former vocabulaires et termes, des palettes de couleurs, des planches tendance⁷² avec des images qui expriment leurs sentiments, inspirent leur créativité et les permet de communiquer des concepts de design.

L'approche présentée par les auteurs se situe dans le cadre d'un outil informatique appelé TRENDS⁷³, un projet de recherche de l'Union Européenne qui vise à assister les concepteurs dans la phase d'inspiration, leur fournir un certain degré de sérendipité⁷⁴ et stimuler leur créativité. Leur approche se concentre sur un algorithme de recherche d'images basé sur la sémantique et l'utilisation d'ontologies. Ils améliorent les différentes approches basées sur les algorithmes sémantiques déroulés généralement en quatre étapes:

- Création d'une collection de documents et d'images collectées du web.
- Identification des mots clés et des expressions couramment utilisés dans le texte autour de l'image (pour chaque document).
- Identification des concepts les plus populaires sur chaque document.
- Classification des concepts identifiés en les reliant aux images de la collection.

L'ontologie utilisé par les auteurs « OntoTag » utilise des concepts d'une ontologie lexicale polyvalente appelée « OntoRo ». Cette ontologie ne repose pas sur l'apprentissage machine ni sur la disponibilité des tags⁷⁵ du corpus. Selon les auteurs, sa principale

⁷² Aussi connu en anglais comme : Moodboard, est une grande feuille (carnet ou cahier de tendance) sur laquelle sont collées des photos et des matières pour la mode, la décoration,.... L'harmonie d'éléments permet l'inspiration de designers.

⁷³ Logiciel interactif pour l'élaboration des tableaux de tendances de conception dédié aux concepteurs de produits. Source : <http://www.trendsproject.org/>

⁷⁴ Le dictionnaire de la langue française le définit comme : Fait de faire une découverte (scientifique ou invention technique) par hasard et par sagacité, souvent alors que l'on cherchait autre chose (concours de circonstances fortuit).

⁷⁵ Une Tag est une étiquette ou marqueur qui fait référence à un mot-clé significatif assigné à une entité d'information (i.e. image, vidéo,...). Elle est une métadonnée qui décrit une caractéristique d'une entité, elle facilite le regroupement des informations.

innovation réside dans l'utilisation de la monosémie⁷⁶ et la polysémie⁷⁷ des mots comme une mesure de sa probabilité d'appartenir à un certain concept.

Les auteurs affirment que la recherche fondée sur des concepts, l'extraction d'image basée sur le contenu et la recherche par mots clés, est un outil efficace pour les concepteurs impliqués dans les tâches de créativité. Leur méthode complète les méthodes traditionnelles en fournissant des images très variées avec une valeur d'inspiration élevée. Leur approche a été testée dans le cadre de l'industrie automobile.

1.5 Bilan et possibilités d'amélioration

Dans les diverses approches d'analyse de brevets présentés, tous commencent par la sélection de mots clés, ou bien, par la fonction principale de l'étude traduite en mots clés. Normalement, les résultats finaux sont influencés par cette sélection initiale. Nous constatons que l'autocritique de performances, exactitude, pertinence,... faite par les divers auteurs dans l'analyse de brevets, est limitée par le manque d'approche structurée pour sélectionner correctement la fonction et les mots clés initiaux. Nous présentons quelques exemples :

- La méthode de recherche de solutions innovantes (Tian, Zhiping, and Zhengyin 2013) à partir de l'extraction de mots clés technologiques (Section 1.3.5.4.4), manque de précision et de critères quantitatifs pour aider les experts à la sélection correcte des mots-clés pour la classification des brevets proposés par les auteurs. Leur base de connaissances est construite sur la base des jugements subjectifs, ce qui rend la classification technologique imprécise.
- La méthode d'identification des domaines potentiels d'application d'une technologie donnée (Section 1.3.5.4.1) (Park, Ree, and Kim 2013), déclare :

« La fonction spécifique d'une technologie est définie par des experts.... Les brevets qui contiennent la fonction doivent être ensuite identifiés... La mesure de similarité fonctionnelle sera ensuite utilisée pour identifier les brevets qui comprennent la fonction. »

Il est évident que si la fonction initiale n'est pas correctement choisie leur méthode orientera vers une mauvaise direction, donnant lieu à des résultats non pertinents.

- Finalement, nous abordons l'approche ontologique pour la génération d'idées systématiques pour la conception de produits basée sur la recherche de brevets présentée par (Russo and Montecchi 2011b), (Russo and Montecchi 2011a), (Russo, Montecchi, and Ying 2012) (Section 1.3.5.4.2). Très peu de méthodes utilisent des bases de connaissances des effets physiques. Leur approche et les diverses techniques de créativité contribuent aux systèmes d'invention assistée par ordinateur

⁷⁶ Propriété pour un mot de posséder un seul sens.

⁷⁷ Propriété pour un mot de posséder en fonction du contexte plusieurs sens selon l'emploi du mot.

(« Computer Aided Inventig System »). Ils ont pour objectifs : premièrement, d'aider les concepteurs de produits dans la phase de créativité et de résolution de problèmes, deuxièmement, d'améliorer les outils existants de développements des systèmes à base de connaissances (pour la conception intelligente) et troisièmement, de donner des solutions non basées sur l'amélioration des inventions existantes mais plutôt orientées vers de nouvelles technologies (saut technologique). Leur méthode trouve ses limites au moment de définir la fonction principale du système ou produit en question. La sélection correcte de la fonction principale dépend entièrement du jugement et de l'expérience de l'utilisateur. Sur la base d'une mauvaise définition, leur méthode et par conséquent les résultats seront influencés négativement. Leur méthode a besoin d'être structurée à travers des méthodes de conception inventive afin d'aborder efficacement les tâches de résolution de problèmes.

Jusqu'ici nous avons constaté que la recherche traditionnelle de brevets par mots clés, repose sur les compétences des utilisateurs, concepteurs, experts,... et donc trouver les bons mots clés pour aboutir à des résultats pertinents peut devenir une tâche complexe et un risque de passer à côté de résultats potentiellement pertinents est importants. En ce qui concerne l'utilisation traditionnelle de codes CIB comme méthode de recherche de brevets, plusieurs auteurs critiquent et mettent en évidence sa pertinence et son utilité comme moyen de recherche exhaustive [(Costantini, Crespi, and Curci 2015), (Tseng, Lin, and Lin 2007), (Russo, Montecchi, and Ying 2012),...]. Baser la recherche juste dans cette classification peut limiter la recherche dans d'autres domaines intéressants (trop spécifiques ou trop généraux), par exemple :

- L'approche pour la planification technologique de (Park et al. 2012) (Section 1.3.5.4.1) utilise les requêtes de récupération des brevets composés par l'information textuelle liée à une technologie sélectionnée, les informations bibliographiques, et les codes CIB. Ils génèrent une liste de brevets pertinents en format électronique pour lancer ensuite le traitement de texte automatique. Leur approche manque d'une méthode structurée de sélection de mots clés pour recueillir les brevets pertinents. Une telle approche pourrait améliorer les résultats après le traitement de documents des brevets en évitant les documents divergents.

Dans ce chapitre nous avons abordé différentes approches qui exploitent les informations contenues dans les brevets pour les transformer en connaissances utiles pour accomplir plusieurs objectifs, remarquablement dans les activités de conception. En matière d'exploitation de brevets nous avons constaté que la plupart des méthodes utilisent les lois d'évolution de la théorie TRIZ ou les tendances d'évolution complétées par Mann. Bien que ces méthodes basent leurs approches sur de bons fondements, on peut compléter ces lois par des règles de conception.

Ensuite, il est nécessaire de préciser qu'il existe un lien commun et logique entre les différents auteurs qui analysent et exploitent les brevets. Par exemple (Chang, Wu, and Leu 2012) affirment que l'analyse manuelle des documents de brevets est une tâche longue et laborieuse qui demande une procédure de recherche méticuleuse. Examiner le contenu d'un brevet est une tâche chronophage. Il est donc nécessaire d'utiliser des techniques informatiques pour réduire le temps d'analyse de brevets. Cependant, il existe toujours des

défaillances dans les méthodes qui cherchent à extraire automatiquement des informations à partir de textes de brevets (écrites en langage naturel), voici quelques exemples :

- Concernant l'analyse sémantique, (Fantoni et al. 2013) ont distingué les problèmes suivants : homographie, polysémie, synonymie, nature floue des relations entre les mots dans les langues humaines, synonymie partielle, les relations hiérarchiques (hypéronymie et hyponymie), utilisation de certains jargons,...
- Pour la comparaison automatique de phrases dans les textes de brevet (i.e. les tendances d'évolution comparées aux documents de brevets) plusieurs auteurs utilisent l'analyse de la similarité sémantique. Divers approches basées sur cette technique montrent un manque de précision parfois négligeable et d'autres fois, les effets sur les résultats généraux sont totalement divergentes. Plusieurs auteurs cherchent à améliorer la précision au moment de l'identification de tendances, par exemple l'approche de (Yoon, Janghyeok, and Kim 2012) ici présentée.

Il existe différents points à discuter sur les limites de l'analyse automatique de brevets, cependant, notre critique est limitée aux constatations trouvées dans les approches ici présentées, en aucun cas nous prétendons améliorer cette partie.

Finalement, nous portons un regard particulier sur la notion d'inspiration en conception abordée dans ce premier chapitre. En effet, il existe un vrai potentiel dans l'utilisation des approches ontologiques qui relient des images aux requêtes construites par les utilisateurs/concepteurs afin de stimuler leur créativité. Concernant l'approche proposée par (Setchi and Bouchard 2010) nous constatons plusieurs voies prometteuses, particulièrement la validation initiale des requêtes générées par les utilisateurs par des supports visuels dans la phase de sélection des mots clés initiaux.

Nous terminons cette section par le résumé de travaux à réaliser, illustré sur la Figure 4.

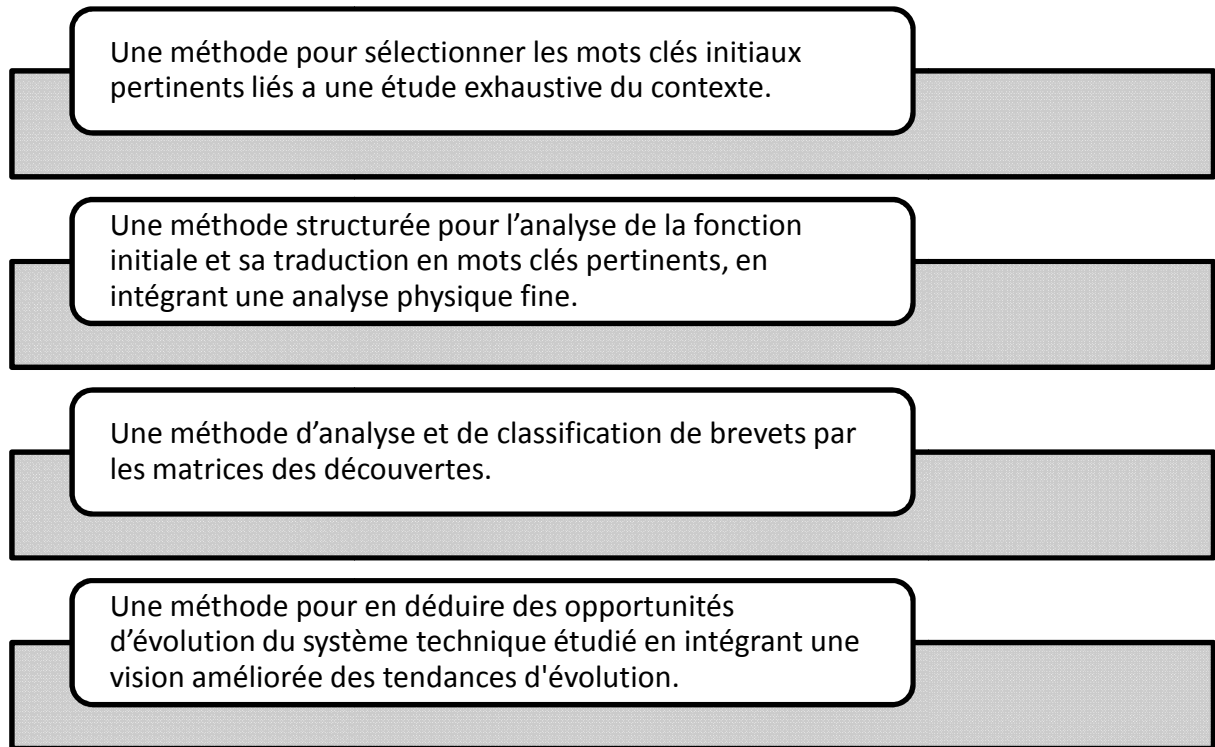


Figure 4 Résumé de travaux à réaliser

1.6 Synthèse et définition d'une méthode générale

Nous proposons une démarche pour améliorer la sélection de mots clés initiaux et une analyse efficace de la fonction initiale en étude. Nous proposons la décomposition fonctionnelle (la méthode CTOC [Pailhès et al. 2011]) et une analyse physique fine. Une meilleure analyse physique des concepts doit augmenter le nombre de mots clés de recherche et améliorer leur pertinence. Cette analyse doit aussi déflorer des pistes d'opportunités d'évolution. Nous cherchons à améliorer la recherche d'informations, puis transformer ces informations en connaissances utiles pour cibler les opportunités possibles d'évolution du système technique en question. Une base de données des convertisseurs énergétiques et des tendances d'évolution de systèmes techniques ressource la méthode.

Selon la méthode CTOC, la réalisation d'une fonction implique une énergie qui sera ensuite convertie, transmise jusqu'à un composant qui agira. L'analyse exhaustive de toutes les possibilités d'énergie initiale, d'énergie transmise et des phénomènes physiques de conversion nous permet de sélectionner des effets physiques. Ces effets physiques impliquent des paramètres pertinents. Les lois de conservation de l'énergie vont ensuite nous permettre de valider ces paramètres et leur pertinence et de définir des comportements recherchés. Les paramètres pertinents et les comportements recherchés constituent les mots-clés à utiliser. Ensuite, nous générons une base de mots-clés itérative qui, à chaque recherche, nous permet de trouver de nouveaux mots clés technologiques qui serviront à raffiner la recherche. A partir des résultats, nous réalisons une classification sous forme de matrice des découvertes structurée par les mots clés. Les concepts trouvés seront

analysés à partir des tendances d'évolution. Les cases vides de la matrice sont des possibilités de nouvelles solutions à envisager.

La Figure 5 présente le concept d'une nouvelle méthode pour résoudre des problèmes techniques complexes en exploitant les brevets. La méthode est divisée en trois phases, définition du problème, recherche et analyse et innovation (opportunités et solutions). Afin d'identifier des concepts innovants les trois phases exploitent les brevets en utilisant des mots clés spécifiques au problème traité, des mots clés issus de la décomposition fonctionnelle et une analyse physique fine du problème en question. Les brevets intéressants sont classés dans les matrices de découvertes structurés selon les phénomènes physiques impliqués et croisés selon les techniques liées trouvées. Ensuite une méthode d'analyse fait ressortir les opportunités d'innovation. Les opportunités d'innovation sont déduites en observant l'évolution temporelle des brevets dans une analyse détaillée effectuée à partir d'une grille de tendances d'évolution, basées sur les lois d'évolution de la théorie TRIZ, les règles de l'art de l'ingénieur (expertise et savoir-faire) et des heuristiques de conception. La méthode est documentée par une base de données des effets physiques de conversion d'énergie et par des fiches d'analyse des tendances d'évolution de systèmes techniques.

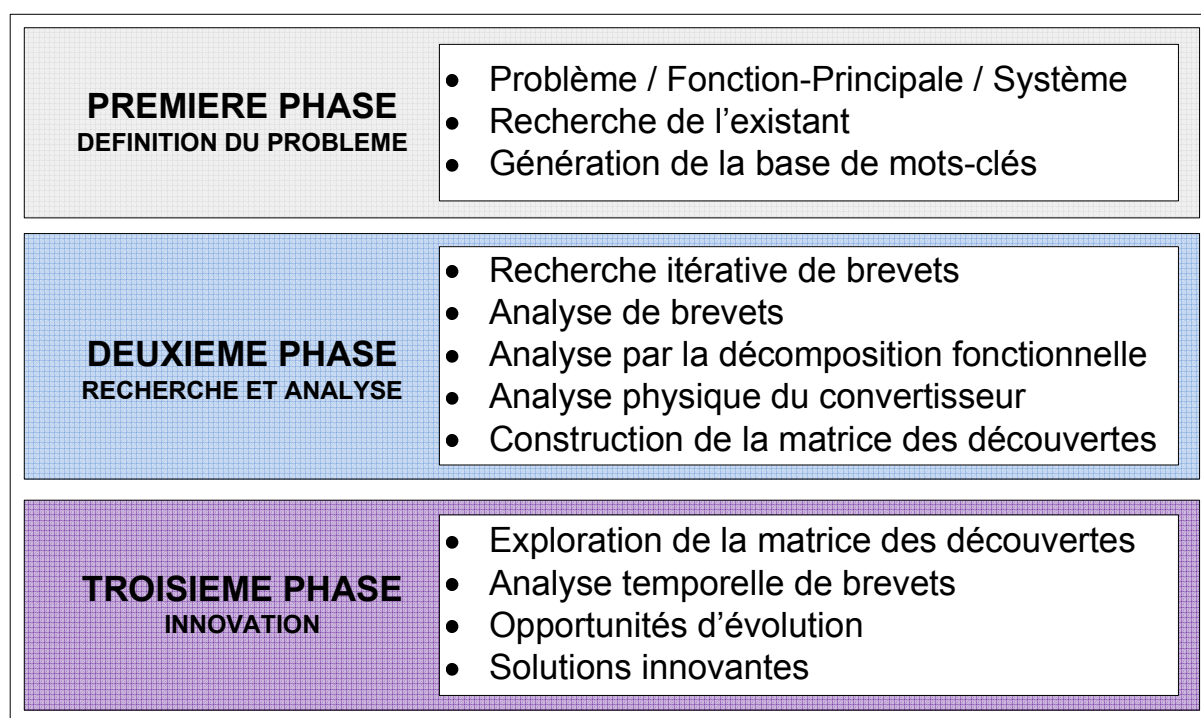


Figure 5 Méthode proposée en trois phases

Chapitre 2 Phase 1 – Définition du problème

Dans le chapitre précédent, nous avons constaté la nécessité de sélectionner correctement les mots clés pour la recherche de concepts et par conséquent la récupération de documents pertinents. Pour répondre à ce besoin, nous commençons notre approche par une analyse détaillée de la fonction à satisfaire et nous fournissons des outils de recherche de l'existant afin d'élargir les champs de recherche. L'utilisation itérative d'une base de données des mots clés et nos outils d'analyse guideront le concepteur dans une recherche ciblée et structurée.

Les livrables de cette phase 1 sont la connaissance approfondie du problème complexe en question et la structuration de la base des mots clés, composé dans un premier temps par les mots clés initiaux et qui sera complété progressivement dans les phases suivantes. Dans les prochaines sections nous parlerons du terme système où nous faisons allusion à un problème complexe à résoudre.

2.1 Définition détaillée du problème à étudier

Le dictionnaire Larousse définit un problème comme « *une question à résoudre dans un domaine quelconque, qui se présente avec un certain nombre de difficultés, d'obstacles* ».

Dans le contexte scientifique (Nickles 1981), présente une liste de constatations logiques, mais très pertinentes, en matière de problèmes :

- *Les problèmes existent et certains sont connus actuellement,*
- *Certains problèmes sont plus profonds que d'autres,*
- *Certains problèmes sont des sous-problèmes de grands problèmes,*
- *Pour un certain sujet, deux intervenants (scientifiques, concepteurs, utilisateurs,...) peuvent avoir le même problème sans connaître les mêmes choses et ils peuvent aborder le problème de différentes façons, même à partir de différents domaines,*
- *Le processus de découverte d'une solution est typiquement structurée dans le temps, plutôt que d'être une expérience psychologique momentanée ou la solution éclate/inspire la pensée d'un individu,*
- *Le raisonnement complexe normalement se produit dans des contextes de résolution de problèmes,*
- *Les problèmes peuvent être reformulés significativement (conceptuellement) de différentes manières, reformulés complètement, transformés, ou réduits à d'autres problèmes (tout en conservant l'essentiel),*

- *Les problèmes peuvent être modelés dans d'autres problèmes, même lorsque les données ou l'objet sont différents.*

Ces constatations nous rappellent l'importance d'identifier correctement le problème, d'aller chercher dans d'autres domaines où le problème a été déjà posé et même résolu, reformuler ou réduire le problème, vérifier si le problème existe vraiment,... Dans l'idéal pour aborder des problèmes industriels complexes nous devons avoir un maximum d'informations liés au problème traité, son environnement, son contexte industriel, économique, politique,... afin de réaliser une recherche exhaustive et, par conséquent, la récupération des informations pertinentes.

2.1.1 Expression du problème

Le problème industriel à résoudre peut être décrit de différentes manières : en exprimant synthétiquement la situation initiale du problème (Nadeau and Pailhès 2010), par l'expression du problème sous la forme d'un verbe plus complément ce que l'on souhaite réaliser, par une description détaillée des exigences fonctionnelles (pour la satisfaction des besoins de clients) (El-Haik 2005) , par une vision cause/effet (Calle-Escobar et al. 2014),...

Dans cette première phase tous les mots clés liés directement ou indirectement au problème en question sont récupérés. Nous réalisons une description détaillée du problème ou de la fonction à étudier, ensuite ce problème/fonction sera décrit par plusieurs mots clés principaux. Ces mots clés peuvent être enrichis avec des mots clés de l'environnement du problème, c.à.d. compagnies impliquées, contexte d'utilisation, milieux extérieurs... Toutes les requêtes possibles seront listées sur un tableau dans un outil de recherche de l'existant pour ensuite être utilisées par plusieurs sites web de façon automatique.

2.1.2 Liste de contraintes

Dans le contexte de conception, (Sallaou 2008) affirme que les contraintes traduisent des limitations sur les variables du problème. Il existe deux types de contraintes, externes, imposées (par un milieu extérieur), et internes (liées aux choix des composants et des interactions). Pour (Scaravetti 2004) une contrainte est une relation entre plusieurs variables, elle limite les choix de valeurs pour les variables. Particulièrement, (Suh 1990) présente deux catégories de contraintes, d'entrée et du système :

- Contraintes d'entrée : limites, restrictions de poids, taille, coût, matériau, performance,
- Contraintes système : imposées par l'environnement d'exploitation, i.e. comportement physique, capacités de production,...

Sur cette phase, il est aussi important d'énumérer toutes les contraintes (d'entrée et du système) associées au problème en question, elles contribuent à l'analyse de l'environnement et au cotexte du problème. Les contraintes donnent aussi des mots clés qui dans certaines conditions peuvent améliorer et cibler la recherche d'informations.

2.1.3 Situations de vie, milieux extérieurs et ressources existantes

Un système tout au long de son cycle de vie, rencontre des situations de vie particulières. (Nadeau and Pailhès 2007) affirment que les concepteurs doivent énumérer et analyser ces situations (ou phases) qui permettent de définir les fonctions de service⁷⁸ que devra assurer le système et les contraintes qu'il devra subir. Une situation de vie concerne une phase globale caractéristique du cycle de vie du produit, elle sera décrite par une succession d'événements élémentaires ou dynamiques (succession des moments significatifs).

Un système, tout au long de son cycle de vie, va ainsi rencontrer, lors de chaque situation de vie, des milieux extérieurs environnants qui vont le contraindre et imposer des fonctionnalités particulières. Ils concernent l'environnement du système (ou produit), i.e. des fluides, le fournisseur d'énergie, l'utilisateur, le milieu ambiant,...(Samet 2010). Il est pertinent de mentionner que l'évolution d'un système est liée à l'évolution de la satisfaction de ses fonctions de service mais aussi des fonctions contraintes imposées par les milieux extérieurs. Cette évolution dépend de critères fonctionnels, de verrous technologiques à faire sauter, de contraintes économiques, sociologiques et même politiques, le merchandising, l'esthétique et l'ergonomie,... (Nadeau and Pailhès 2010).

Les ressources constituent un gisement à la disposition du concepteur, son utilisation peut être instantanée ou décalée. Pour chaque situation de vie, il existe des ressources à lister. L'analyse des ressources permet d'identifier les problèmes liés aux matériaux utilisés, les énergies existantes ou produites, les interactions entre composants et composants d'interaction, l'architecture du système, les ressources inexploitées et les rejets (Samet 2010).

Selon (Savransky 2000) considérer les ressources permet à un concepteur de penser différemment, de façon non conventionnelle ou selon une perspective nouvelle (« Thinking outside the box⁷⁹ »), ce qui est particulièrement important quand un concepteur centre son attention sur un sous-système particulier, une zone opérationnelle et une période du temps, pendant la phase de résolution d'une contradiction d'un problème inventif. En résumé, les ressources concernent tout ce que l'on peut utiliser dans la conception d'un système (ou produit), les accessoires et les milieux extérieurs environnants (Tableau 2).

⁷⁸ Une Fonction Service (FS) exprime l'action attendue du produit sur un élément du milieu extérieur, au bénéfice d'un autre élément de ce milieu, dans une situation de vie particulière (Sallaou 2008)

⁷⁹ L'expression qualifie une façon originale, créative et astucieuse de réfléchir (liée au problème des neuf points proposé par John Adair).

Tableau 2 Ressources

RESSOURCES	
1. Substances	Tous les éléments composant le système (produit et produits accessoires) et son environnement : composants, composants d'interaction, milieux extérieurs. Les milieux extérieurs sont donc des ressources.
2. Energie	Tous champs ou flux d'énergie qui existent ou qui sont produits par le système (produit et produits accessoires) et son environnement. <u>Externe à chaque substance:</u> <i>Contact (musculaire, mécanique, thermique,...)</i> <i>A distance (gravité, inertie, attractions, sons, induction, rayonnement, lumière, magnétisme,...).</i> <u>Interne à chaque substance:</u> <i>Possibilités d'accumulation selon tous les types d'énergie (MATHEM)</i>
3. Informations	Toutes les informations existants ou pouvant être produites dans le système (produit et produits accessoires) et son environnement. Toute caractéristique ou changement de caractéristique permettant d'identifier l'évolution d'un phénomène physique pertinent du fonctionnement.
4. Espace	Tous les espaces utilisables appartenant au système (produit et produits accessoires) et à son environnement. <i>Espace interne aux composants (vide, matière non utilisée),</i> <i>Espace inter-composants,</i> <i>Espace inter produits et produits accessoires,</i> <i>Environnement proche.</i>
5. Temps	Tous les intervalles de temps partiellement ou entièrement inutilisés avant, après ou pendant les situations de vie, durant les transferts entre les moments significatifs lors du fonctionnement ou lors de fonctionnement intermittents.
6. Ressources fonctionnelles	Toutes les fonctions existant dans le système (produit et produits accessoires) ou son environnement et non utilisées dans la situation de vie considérée.
7. Self-service (libre-service)	Toutes les propriétés ou caractéristiques non exploitées: <i>Propriétés physiques des matériaux et de leurs interactions,</i> <i>Propriétés chimiques des matériaux et de leurs interactions,</i> <i>Propriétés géométriques des composants et de leurs interactions.</i>
8. Ressources interactions	Toutes les nouvelles fonctions ou propriétés qui peuvent être obtenues par modification des liaisons entre les composants ou, par modification des composants d'interaction.
9. Ressources organisationnelles	Toutes les structures existantes mais pas totalement employées qui peuvent facilement être intégrées dans les systèmes par une nouvelle combinaison des éléments, par un nouvel agencement des blocs fonctionnels (nouvelle gestion des systèmes ou des opérations).
10. Ressources différentielles	Tous les gradients utilisables pour créer un flux ou générer de nouvelles fonctions pouvant exister entre certains paramètres: <u>a) En substance:</u> <i>Anisotropie, Variations de propriété au sein d'un matériau.</i> <u>b) En champs:</u> <i>Gradient de variables d'état ou de variables pertinentes,</i> <i>Champ non-homogène dans l'espace.</i>
11. Ressources antérieures	Toutes les nouvelles propriétés ou caractéristiques du système (produit et produits accessoires) dues à des évolutions antérieures et restées inexploitées.
12. Rejets	Tous les rejets du système (produit et produits accessoires) et de son environnement qui peuvent être éliminés, réduites ou employés.

2.2 Recherche de l'existant

Rechercher l'existant est une activité classique réalisée par tout individu qui cherche à s'informer sur un sujet particulier. Pour supporter cette activité, il existe plusieurs moteurs de recherche, sites spécialisés, base de données,... et des outils pour compléter et améliorer les requêtes des utilisateurs. Du point de vue de la résolution de problèmes, la recherche de l'existant permet de réaliser un état de l'art d'un problème, d'identifier l'environnement ou contexte du problème, de connaître les travaux connexes, de réaliser l'art antérieur d'une invention, de connaître les problèmes similaires et les solutions associées,...

Du point de vue de l'utilisateur, pour réaliser une recherche pertinente de l'existant, il est nécessaire de sélectionner correctement les mots clés initiaux, d'avoir une démarche structurée de recherche itérative (intégrer les résultats dans les nouvelles requêtes) et de rechercher l'information dans des sites pertinents.

2.2.1 Mots clés initiaux

Dans un premier temps, les mots clés initiaux viennent de l'expression synthétique du problème ou de ce que l'on souhaite réaliser exprimé sous la forme d'un verbe plus complément. Dans un deuxième temps, après une première recherche de l'existant, les mots clés initiaux sont complétés par de nouveaux mots clés grâce à l'interaction avec les sites web (et les dictionnaires, thesaurus,...). Finalement les mots clés initiaux sont raffinés par la comparaison avec les résultats trouvés, c.à.d. si les mots clés initiaux ne donnent pas de résultats cohérents, cela pourrait dire que la requête initiale n'est pas bien formulée ou les mots clés utilisés ne sont pas pertinents pour le problème recherché.

Cette logique initiale de récupération de mots clés est la description classique de recherche d'informations et raffinement de mots clés traditionnellement utilisés consciemment ou inconsciemment par les utilisateurs. Dans cette étape nous cherchons simplement à lister tous les mots clés liés au problème. Chaque itération nous permet de compléter les phrases avec des nouveaux mots clés afin de relancer les requêtes. Cette recherche sera effectuée jusqu'à ce que l'utilisateur juge avoir assez d'informations à analyser dans la prochaine étape.

2.2.2 Sites web pour une recherche robuste

Internet propose un nombre copieux de moteurs de recherche, réseaux sociaux, base de données (des brevets, articles,...). L'information est toujours disponible et partout, dans la recherche d'informations nous sommes rapidement confrontés à la pertinence de la sélection de documents. Il est évident qu'il est nécessaire de rechercher l'information sur les bases de données pertinentes liées aux thématiques recherchées. Nous avons compilé plusieurs sites intéressants pour la recherche d'informations dans le domaine scientifique et technique (Figure 6 et Figure 7).

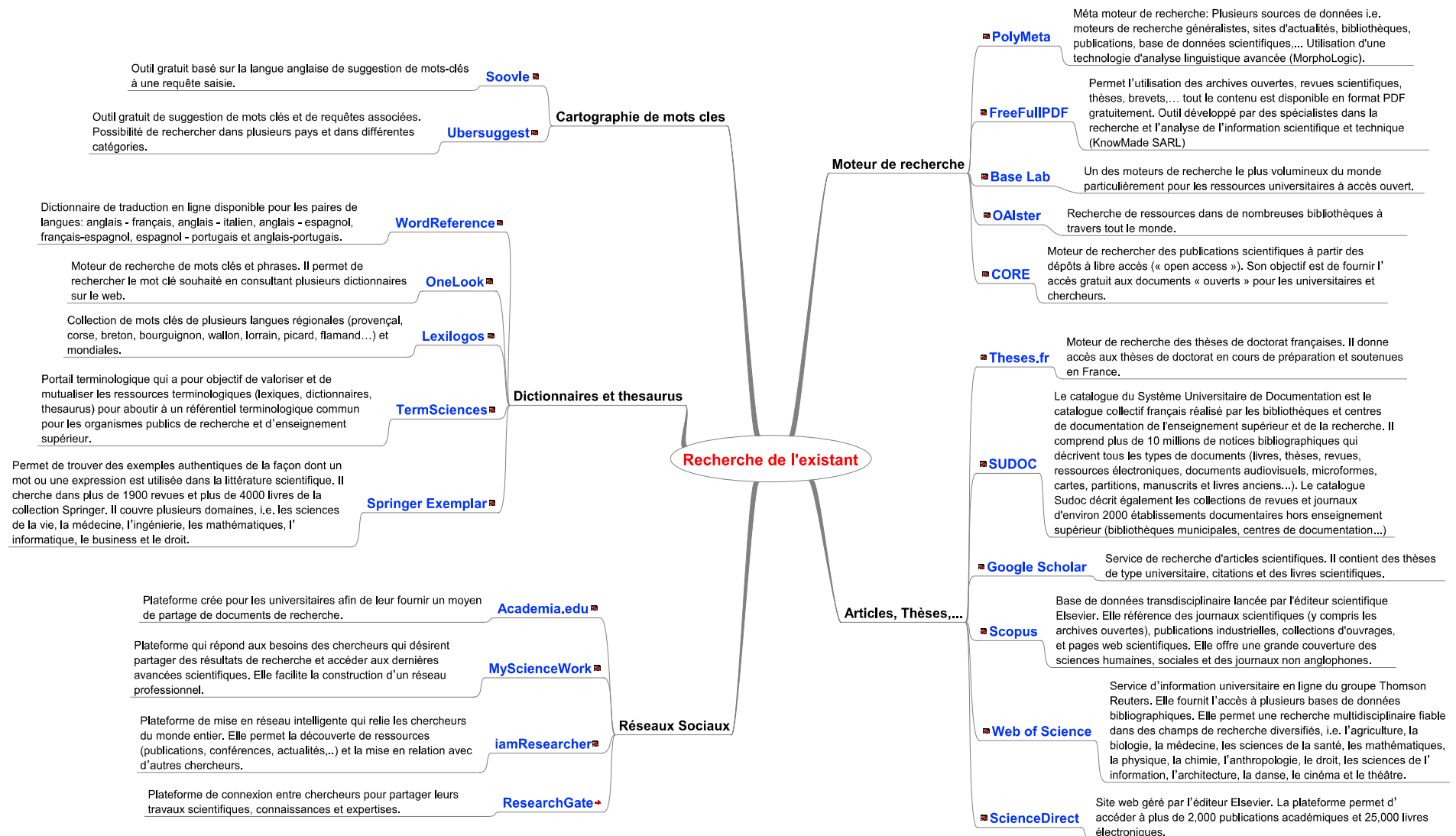


Figure 6 Sites pertinents pour la recherche de l'existant, Partie 1



Figure 7 Sites pertinents pour la recherche de l'existant, Partie 2

Nous proposons différents moteurs de recherche spécialisés dans l'information scientifique et technique, certains d'entre eux adressent directement vers les bibliothèques de plusieurs universités et centres de recherche. Nous proposons aussi la recherche classique par différentes bases de données des articles multidisciplinaires, i.e. l'ingénierie, les mathématiques, l'informatique, la physique, la chimie, les sciences de la vie, la médecine, le business, le droit,... Notamment sur la Figure 7, différents sites d'archives ouvertes ou mieux connues comme « open access », nous permettent d'avoir accès à des publications à accès gratuit, et pluridisciplinaires. La gamme est variée, nous pouvons accéder aux collections d'articles de centre de recherche latino-américains, européens,... et aussi à des collections particulières comme les travaux archéologiques faits mondialement. Finalement nous proposons des outils pour cartographier les mots clés et les phrases, afin de les compléter en analysant comme ils ont été utilisés sur le web dans les moteurs de recherche commerciales (Google, Yahoo,...) Figure 6.

2.2.3 Outils de recherche de l'existant

La recherche de documents n'est pas une tâche facile. Il est clair que rechercher site par site est long et laborieux, plusieurs autres inconvénients évidents existent qui limitent la réalisation d'une recherche exhaustive (en fonction de la technique de recherche utilisée par chacun):

- Ecrire et relancer les mots clés sur chaque site web et une tâche monotone et fastidieuse. Certains utilisateurs peuvent avoir trouvé les informations qu'ils considèrent essentielles et arrêter la recherche dans d'autres sites, où probablement, ils auraient obtenus des informations pertinentes.
- Ne pas garder une trace des mots clés utilisés pour une recherche donnée, peut engendrer une réutilisation inutile de mots clés infructueux (ou inversement avec des mots clés déjà utilisés) et par conséquent une perte de temps significative.

Nous proposons un outil de point de vue « utilisateur » pour améliorer la pertinence de recherches du problème complexe abordé. Nous avons intégré les différents sites présentés précédemment et nous avons automatisé la tâche de recherche en lançant simultanément la même requête sur tous les sites. En outre, elle permet de garder une trace des mots clés utilisés et commenter leur utilité et leur pertinence dans le contexte étudié.

Nous cherchons à structurer la phase de recherche de documents pertinents et à fournir aux utilisateurs un outil (Figure 8) pour réaliser un état de l'art robuste en cherchant dans des champs pluridisciplinaires à l'aide de plusieurs moteurs de recherche, l'utilisateur gardera une trace des mots clés utilisés et pourra poursuivre sa recherche en utilisant des nouveaux mots clés provenant de son analyse (physique par exemple) ou de mots clés trouvés dans les sites proposés par le module.

The screenshot shows the 'Existing ARCH' web application. At the top, there's a header with various logos (L2M, BORDEAUX, etc.) and the title 'A Tool to search knowledge...'. Below this, there's a navigation bar with tabs: 'Moteur de Recherche', 'Archives ouvertes-OA', 'Articles, thèses, ...', 'Brevets', and 'Selection'. Each tab contains a list of search engines or databases with checkboxes. For example, under 'Moteur de Recherche', there are checkboxes for Polymeta, Freepdf, BASELab, CORE, HAL, SCIELO, Scientific R, InfoScience, ASME, Springer, etc. The 'Selection' tab has buttons for 'ALL' and 'NONE'. To the right of the tabs is a large 'SEARCH' button. Below the tabs, there's a section for 'Sujet de Recherche' with a text input field containing 'Système de separation liquide gaz pour l'offshore profond'. Below this, there's a table-like structure with columns for '# Keywords', 'Liste de Mots clés', 'Utile oui/nor', and 'Observations'. The bottom right corner shows 'Compagnies impliquées: FMC, TOTAL'.

Figure 8 Outil de « Recherche de l'existant »

L'analyse de documents récupérés repose entièrement sur les compétences des utilisateurs. L'analyse des documents demande un certain temps d'observation, d'analyse, et d'appropriation de connaissances. Elle demande aussi une forte concentration et compréhension de l'utilisateur qui cherche à découvrir et apprendre. Bien qu'elle dépende des facilités de lecture et compréhension, fondamentalement elle est liée à l'expérience et l'expertise du lecteur en relation au sujet recherché, c.à.d. l'expertise de l'utilisateur influencera les temps d'analyse consacré et la pertinence de documents sélectionnés.

Dans le chapitre précédent nous avons mentionné les différentes techniques de traitement de langage naturel, qui dans ce contexte, peuvent être utilisées pour l'analyse de grandes quantités de documents. Cependant, la portée de nos travaux est limitée par l'analyse de documents manuelle, l'intervention d'experts peut accélérer le temps d'analyse.

2.3 Premiers éléments de structuration de la base des mots clés

Dans cette étape nous cherchons à construire une première base de données de mots clés pertinents, qui sera utilisée pour lancer les requêtes dans les bases de données de brevets. Nous proposons une structure pour classer les mots clés récupérés à partir de l'analyse initiale du problème (mots clés initiaux), de la recherche itérative dans les bases de données de brevets et de l'analyse physique de la fonction principale.

Nous proposons une classification des mots clés récupérés en utilisant seulement quelques éléments de la classe grammaticale (partie du discours). La structure proposée est divisée en sept catégories y compris les substantifs, les verbes, les adjectifs et les adverbes. De la catégorie grammaticale nous n'utilisons pas les pronoms, les interjections⁸⁰, les adpositions (i.e. sur, de, au,...), les conjonctions (i.e. mais, ou, et,...) ni les déterminants (i.e. un, une, les, la,...) ("What Are Parts of Speech?" 2015). Nous cherchons à simplifier la requête et la structure de la manière suivante :

- **Substantifs/noms** : Pour désigner une chose ou une notion, c.à.d. tout mot qui remplit la fonction de nom dans une phrase (un mot clé autre qu'un phénomène physique, système technologique, type ou complément). Il peut être un nom propre, nom commun,... utilisé dans une phrase en tant que nom.
- **Verbes, adjectifs et adverbes** : Dans cette classe nous ajoutons premièrement, tous les mots clés qui expriment une action, un événement/situation ou un état. Ensuite tous les mots qui modifient un nom ou un pronom, c.à.d. qui décrivent les qualités et caractéristiques des noms, des choses ou des concepts. Finalement, tous les mots qui modifient ou précisent le sens d'un verbe, d'un adjectif, d'un autre adverbe ou d'une phrase entière (i.e. rapidement, clairement,...).
- **Phénomènes physiques** : Tous les mots clés (substantifs) qui décrivent les lois de la nature, les changements d'état, les lois physiques et les grandeurs physiques concernées, les caractéristiques de la matière, l'énergie,...
- **Systèmes technologiques** : Chaque mot clés (substantif) qui représente une technologie quelconque, un procédé, ou un moyen pour achever la fonction principale est classé sur cette section.
- **Type** : Les mots clés (substantifs) qui comprennent ou nomment un groupe ou catégorie, i.e. le nom général donné pour classer un groupe (système, dispositif, appareil, instrument,...).

⁸⁰ Mots ou expressions qui expriment une émotion forte, i.e. la surprise, la joie, le dégoût,...

- **Entreprises/Sociétés** : Sur cette catégorie nous classons tous les noms des compagnies, organisations, institutions,... qui ont une liaison directe ou indirecte avec le problème ou système en question.
- **Complément** : Optionnellement, tous les mots clés (substantifs) qui apportent une description plus détaillée ou une spécification du problème en question.

		Database of Keywords...							
BASE DE DONNEES DES MOTS-CLES							RECHERCHE DE BREVETS (CLIQUEZ ICI)		
Generation de la requête									
Fonctionne Principale:									
Convertisseur (Optionnelle):									
Substantif	Verbe / Adjectif /Adverbe	Phénomènes Physiques	Systèmes Technologiques	Type (Singulier/ Pluriel)	Entreprise	Complément			
NN	VB / JJ /RB	PP	TC	T	E	C			
Exemple	Exemple	Exemple	Exemple	Exemple	Exemple	Exemple			

Figure 9 Structure de la base Initial de mots clés.

La Figure 9 illustre la grille de classement des mots clés pertinents. Cette base de mots clés est liée à un module de recherche de brevets qui permet de sélectionner les mots clés et générer les requêtes qui seront lancées automatiquement sur la base de données de brevets (détaillé dans la phase de recherche et analyse). Pour augmenter le nombre de documents et pour élargir le champ de recherche, nous proposons l'utilisation des mots clés en anglais.

Pour illustrer la démarche, la section suivante aborde un cas d'application concernant les séparateurs de mélanges bi-phasiques utilisés dans le contexte d'extraction de minéraux pour l'industrie pétrolier dans l'offshore profond.

2.4 Livrables phase 1

La Figure 10 récapitule les livrables de cette phase.

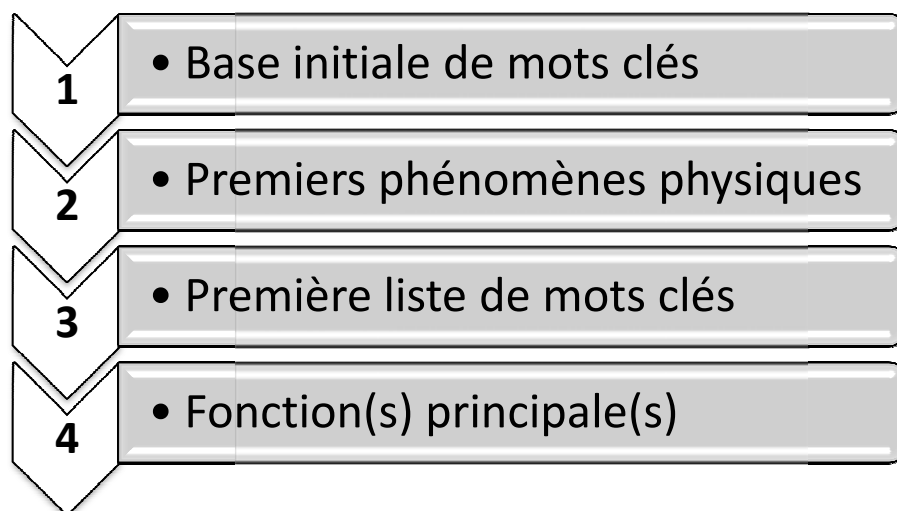


Figure 10 Liste de livrables de la phase 1

2.5 Exemple d'application : Séparateur bi-phasique

Aujourd'hui, en fonction de la production et des réserves pétrolières, les industriels ont la nécessité d'exploiter les réserves jusqu'ici inexploitées. Le traitement du pétrole en offshore à des profondeurs de plus en plus importantes, amène les industriels à la conception de systèmes de séparation complexes.

La Figure 11 correspond à un des séparateurs de mélanges bi-phasiques installé sur le site Pazflor⁸¹ en Angola à environ mille mètres de profondeur. Le projet représente un succès pour les partenaires au niveau économique et au niveau technique (Beckman 2008). La séparation gaz/liquide est la clé pour certains champs pétroliers en offshore profond. Il est en effet primordial de séparer le gaz des liquides au fond de la mer afin de pouvoir pomper ces liquides visqueux vers la surface. Cependant, au-delà de 3000 mètres de profondeur, les volumineux séparateurs bi-phasiques par gravité représentent un grand problème et un défi industriel (Kristiansen 2012).

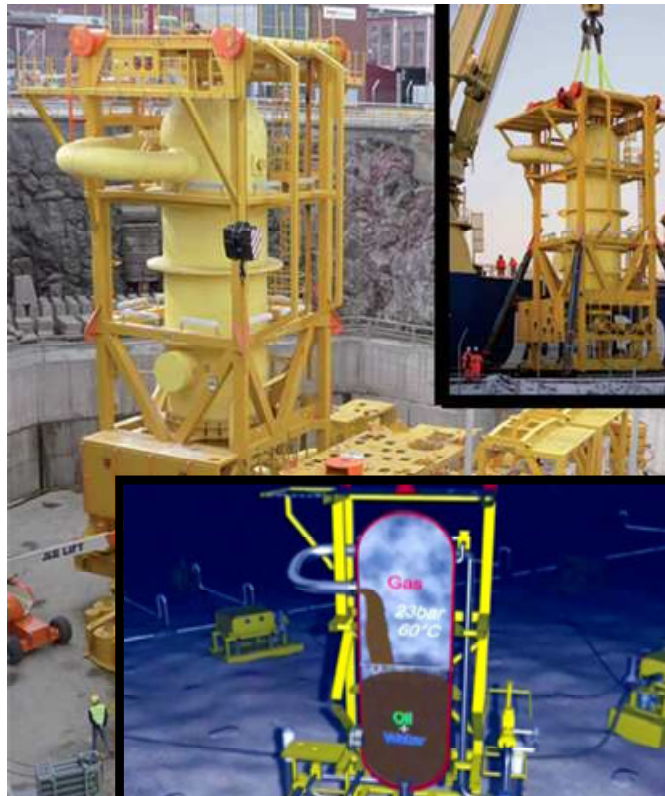


Figure 11 Séparateur bi-phasique actuel du projet Pazflor (Source Total).

⁸¹ Champ d'extraction (600 Km) de pétrole brut lourd situé en offshore profonde (600m – 1200m des profondeurs d'eau). Le projet opéré par Total E&P Angola possède la plus grande plateforme flottante du monde et des moyens de haute technologie de séparation gaz/liquide et des systèmes de pompage fournis par FMC Technologies, Inc.

Afin de faire évoluer ces systèmes et atteindre les grandes profondeurs marines, deux aspects doivent être abordés séparément. Le premier problème est lié à la conception et construction d'une grande cuve ou récipient soumis à une forte pression, qui soit capable de résister la pression hydrostatique de l'eau à une telle profondeur. De nos jours, un tel système n'existe pas car le soudage de grosses épaisseurs d'acier nécessaires pour supporter la pression est impossible (20cm maximum), en outre, du point de vue logistique, le poids d'une telle cuve demanderait des énormes moyens de transport et d'installation.

En second lieu, un tel système doit améliorer considérablement ces performances en matière de séparation des mélanges bi-phasiques. Le système actuel est basé sur le principe de décantation, plusieurs problèmes doivent être résolus, i.e. le temps de séjour, gestion de transitoires, gestion du sable... Il existe une littérature abondante sur la conception de séparateurs bi-phasiques pour leur utilisation en amont de pompes poly-phasiques. Une grande quantité de brevets et d'articles concernant le sujet, indiquant qu'aucun séparateur avec une performance satisfaisante n'a encore été réalisé (Tor, Torbjørn, and Bjoernar 2012).

La résolution de ce dernier point constitue le fil rouge de cette thèse. Dans la partie suivante, nous analyserons le problème lié aux systèmes de séparation, nous chercherons à concevoir un système qui dépasse les performances des systèmes actuels et qui réponde aux attentes industrielles.

2.5.1 Description du problème

Le pétrole et le gaz produit à partir des puits à gisements productifs forme un mélange bi-phasique. Ce gaz provient soit de la solution (fluide) lorsque la pression diminue à mesure que le mélange circule du réservoir vers les installations (séparateur), ou est déjà présent sous la forme de gaz libre à la pression et température du réservoir. Si la pression dans le pétrole n'est pas suffisante pour monter les fluides extraits à la surface avec un débit établi, les puits d'extraction sont équipés avec des moyens artificiels de remontage. Il est donc fondamental de séparer la phase gazeuse de la phase liquide à cause de divers problèmes :

- **La phase gazeuse** produite par le puits diminue la capacité d'écoulement de pétrole dans les conduites bi-phasiques et diminue l'efficacité des pompes polyphasiques (réduction du rendement volumétrique de pompage, augmentation de coûts d'exploitation, haut risque d'endommagement,...),
- Un écoulement bi-phasique se traduit souvent par un régime d'écoulement variable qui non seulement conduit à des problèmes de fonctionnement dans les installations de traitement en aval, mais il peut également se traduire par un **régime transitoire (aussi connu en anglais comme « slug⁸² »)** des poussées intermittentes (de pétrole et du gaz) qui impactent les conduits et les équipements,

⁸² Terme qui décrit les caractéristiques d'écoulement qui se produisent quand un mélange liquide et gaz résultent en un régime de production sporadique où les liquides sont déchargés de façon erratique.

- **La gestion du sable** entraîné dans le mélange. Le fluide produit par le puits n'est pas seulement du pétrole et du gaz, il est souvent mélangé avec de l'eau et des particules solides comme du sable.
- Les pompes d'extraction en offshore profond visent à réduire au minimum **les pertes de charge** (pas de compression), elles limitent la vidange du liquide et réduisent l'efficacité de la séparation bi-phasique. Ceci est obtenu en réduisant au minimum la longueur des « flowlines⁸³ » et le « riser⁸⁴ », de manière à optimiser le niveau de la production des puits.

Nous étudierons deux cas, premièrement la séparation Gaz/Liquide ou le flux de liquide est le plus important et la séparation Liquide/Gaz où le flux de gazeuse est le plus important et le liquide est sous la forme de gouttes. Dans cette section, nous générerons des requêtes génériques du type : «séparer le liquide du gaz », ou « séparer le gaz du liquide », ces requêtes représentent la fonction principale à étudier.

2.5.2 Les contraintes associées

Pour concevoir un système de séparation bi-phasique nous devons considérer les diverses contraintes, parmi le plus remarquables:

- Eviter la formation des **hydrates ou sels cristallisés**. Actuellement, la seule méthode économiquement et technologiquement viable pour transporter les fluides est un pipeline⁸⁵. Un pipeline immergé dans une zone d'eau profonde soumet le fluide gazeux à des températures de l'ordre de 35F° (environ 2°C) qui est suffisamment froide pour générer la formation d'hydrates⁸⁶ dans le tuyau. Par conséquence les hydrates bouchent les pipelines.
- La **thermique des fluides**. Eviter le refroidissement des liquides pour éviter la formation des hydrates (l'industrie pétrolière n'autorise aucun procédé à moins de 20°C et au-dessus de 20 bar pour éviter la rupture des pipelines).
- La **gestion du sable** entraîné par les fluides. Séparer tout composant solide entraîné par le mélange bi-phasique (séparation Solide/Liquide).
- Gestion de **facteurs environnementaux**. Les systèmes en offshore profond doivent être conçus pour supporter la corrosion et ils doivent être libres de maintenance (au moins 20 ans).

⁸³ Conduite reposant sur le fond marin, permettant le transfert des hydrocarbures produits ou l'injection de fluides.

⁸⁴ Le tube prolongateur est un conduit utilisé pour relier le fond de la mer avec une plate-forme pétrolière (pour remonter le pétrole ou gaz exploité à la surface).

⁸⁵ Aussi connu comme : Oléoduc ou Gazoduc

⁸⁶ Les hydrates n'ont jamais été étudiés dans un flux de gaz pur.

- Eviter **la formation de bouchons**. À des débits de gaz et de liquide faibles, le régime d'écoulement est généralement stratifié avec la phase gazeuse s'écoulant à une vitesse plus rapide au-dessus de la phase liquide. À des débits plus élevés, le gaz peut être entraîné dans le liquide et des ondes sont formées au niveau d'une interface gaz-liquide. Ces ondes à partir du moment où elles remplissent la section transversale de la canalisation, forment des bouchons de liquide. Comme le débit de la phase gazeuse est généralement beaucoup plus élevé que celle de la phase liquide, les bouchons de liquide sont accélérés par la phase gazeuse à la même vitesse environ. Un tel régime d'écoulement de bouchons de liquide peut causer des conditions instables et des problèmes de manipulation pour les installations en aval (Tor, Torbjoern, and Bjoernar 2012).

2.5.3 Situation de vie, milieux extérieurs et ressources

Sur cette section nous ciblons le problème et nous décomposons le système de séparation bi-phasique en quatre différentes situations de vie générales :

1. Système de séparation **sans flux bi-phasique d'entrée**. Le système est en repos ou non opérationnel, il n'y a pas de mélange bi-phasique à séparer.
2. Système de séparation **avec flux bi-phasique d'entrée**. Le système est opérationnel, le mélange bi-phasique arrive, le processus de séparation commence au moment où le liquide touche le fond du récipient.
3. Système de séparation **sans flux bi-phasique d'entrée et mélange stocké**. Le débit d'entrée est arrêté mais le système continue à séparer le mélange stocké (par temps de séjour du mélange).
4. **Vidange du système**. Le liquide et gaz séparés sont envoyés vers la surface par des conduits différents. Le processus de séparation est terminé.

Dans toutes les situations de vie mentionnées nous avons les milieux extérieurs suivants :

- Pétrole,
- Gaz,
- L'eau de mer (Océan),
- Réservoir (La roche).

Notablement, nous cherchons à améliorer les performances dans les situations de vie deux et trois, ce sont les situations de vie pertinentes.

Finalement, toutes les ressources identifiées du système de séparation bi-phasique sont détaillées. Certains concepts abordés dans la description du problème et dans la liste de contraintes, apparaissent dans la fiche de ressources. Les ressources divisées en douze classes nous donnent accès à une vision générale du problème traité. La Figure 12 représente une carte heuristique qui nous permet de structurer les idées et concepts. Il nous

donne une perception fine de l'environnement où chaque ressource constitue un gisement à notre disposition.

Les ressources nous permettent aussi de compléter les requêtes initiales pour la recherche de l'existant, afin d'élargir le domaine de recherche et d'obtenir des résultats pertinents en améliorant l'efficacité des requêtes par des mots clés précis du problème complexe.

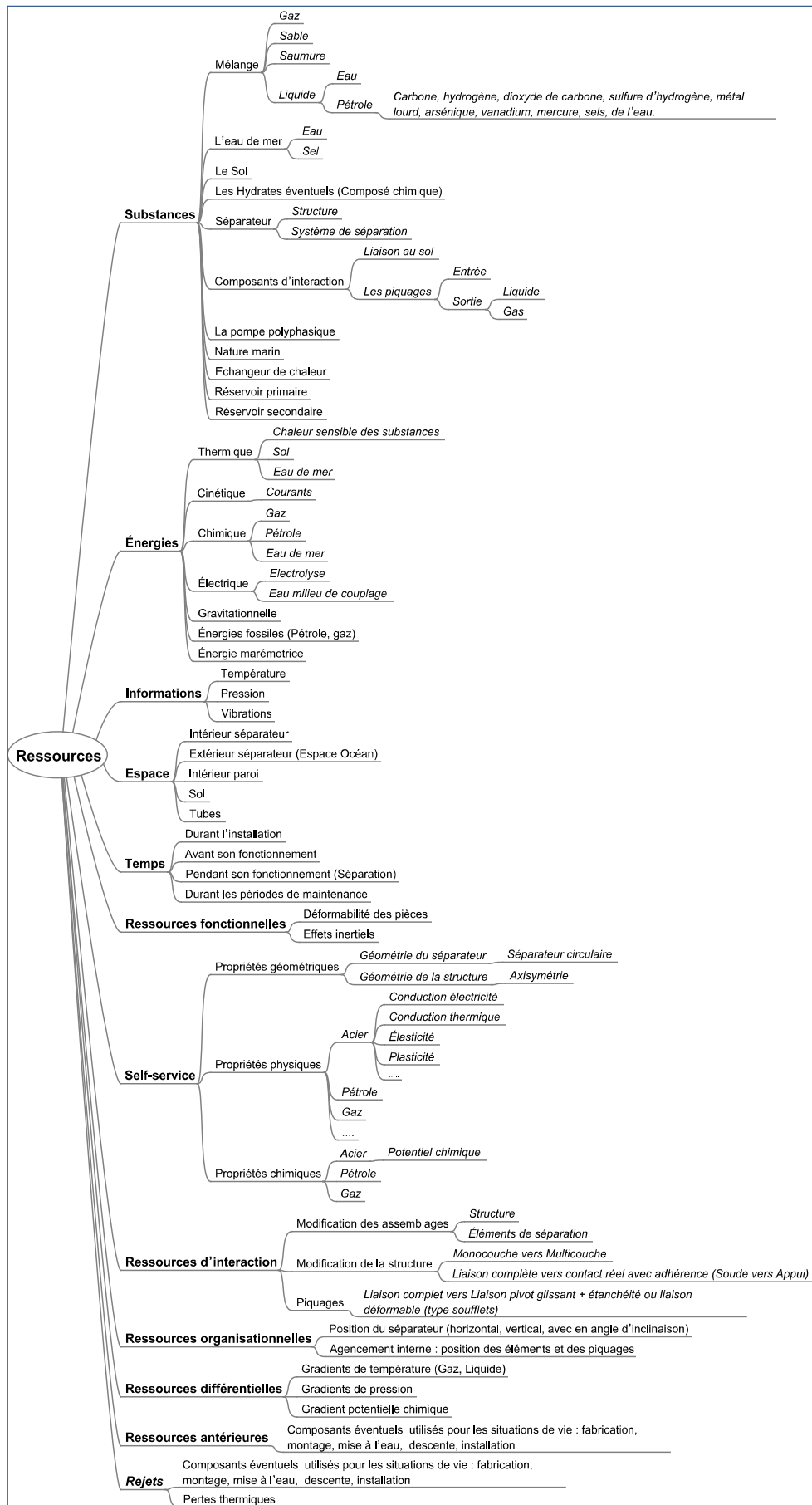


Figure 12 Carte heuristique des ressources du système de séparation bi-phasique

2.5.4 Recherche de l'existant

Les différentes requêtes possibles relatives à la fonction principale sont listées sur la feuille de recherche, chaque requête sera ensuite lancée en recherche. L'analyse manuelle des documents provenant des différents sites proposés par l'outil de l'analyse existant (Figure 8) permet la récupération des nouveaux concepts. La Figure 13 montre un exemple de certaines séquences utilisées pour lancer la recherche. L'objectif de cette section est d'avoir un aperçu général des technologies existantes, des phénomènes physiques impliqués et de tout concept pertinent lié à la fonction étudiée.

Research Subject				Involved companies: FMC, TOTAL,...			
Gas liquid separation system for deep offshore							
# Keyword	List of Keywords	Useful yes/non	Remarks	# Keyword	List of Keywords	Useful yes/non	Remarks
1	Liquid gas separator	yes		10	TOTAL separator	non	
2	Gas liquid separator	idem		11	FMC separator	yes	
3	Oil gas separator	yes		12	FMC pazflor separator	yes	
4	Gas oil separator	idem	The same results	13	Pazflor separator system	yes	
5	Liquid gas system separator	yes		14	Angola separator	non	
6	Biphasic separator		general	15	Offshore separator	yes	
7	Sand management separator			16	Petroleum separator		general
8	Slug biphasic separator	yes		17	Deep offshore separator		general
9	Hydrates management separator	non		18			

Figure 13 Extrait de requêtes utilisées dans la phase de définition.

Finalement, nous avons consacré un temps important pour analyser chaque document récupéré et nous avons recueilli assez d'éléments pour la recherche et l'analyse des informations dans les bases de données de brevets (phase suivante). Nous avons trouvé des nouveaux concepts, termes spécifiques de l'argot pétrolier, plusieurs solutions proposées pour chaque contrainte précédemment listées,.... Nous avons construit notre base de connaissances en matière de séparateurs bi-phasiques, et les premiers éléments de la base initiale de mots clés (Section 2.5.5). Plusieurs systèmes technologiques ont été identifiés, i.e. les cyclones, les hydro cyclones, les pales, les plateaux, les hélices,.... Nous chercherons à faire évoluer ces systèmes dans les prochains chapitres. Pour réaliser la fonction principale, il est nécessaire de définir les composants liés à la circulation du flux fonctionnel, i.e. dans la séparation liquide/gaz le but final sera d'exprimer tous les phénomènes physiques permettant de produire une force « F » qui permettra de déplacer à une vitesse « V » les gouttes indépendamment du gaz.

2.5.5 Livrables Phase 1 - Application

Sur la Figure 14 nous présentons les premiers éléments de structuration de la base de données de mots clés pour la séparation bi-phasique dans l'offshore profonde. Ces mots clés seront complétés itérativement par les informations récupérées dans les brevets et par l'analyse physique de la fonction principale.

Cette base est bien plus qu'une grille de mots car un outil permet de combiner les mots clés de telle sorte que les requêtes puissent être mélangées pour améliorer la recherche de documents (détaillé dans la deuxième phase).

[illegible]

Figure 14 Base de données initiales de mots clés

La Figure 15 résume les concepts généraux récupérés pour cette phase 1.

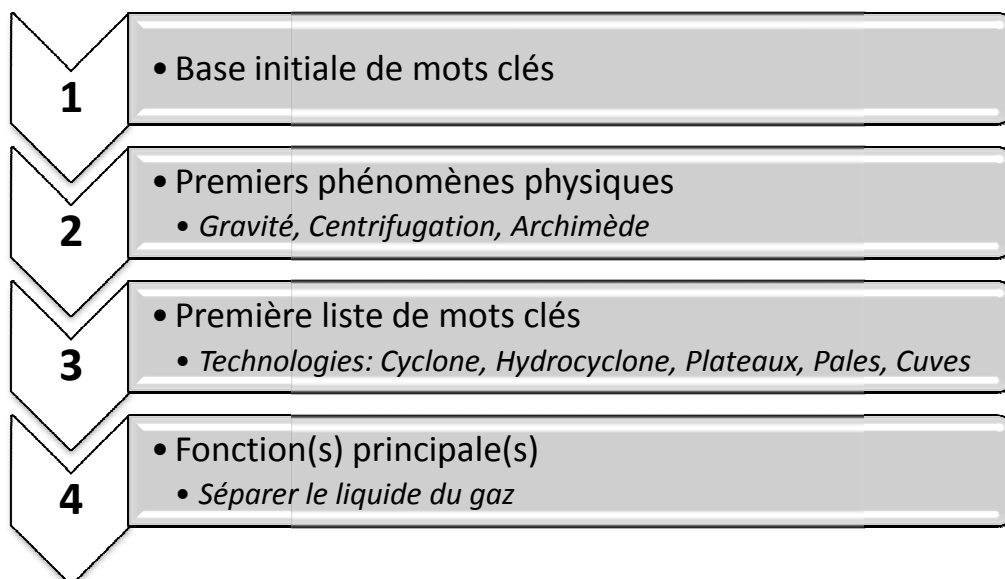


Figure 15 Liste de livrables de la phase 1 - Application

2.6 Conclusion

La première phase a été achevée, les livrables fixés étaient la connaissance approfondie du problème complexe en question et la structuration de la base des mots clés initiaux pour sa réutilisation dans la prochaine phase. Le synoptique de la Figure 16 structure les différentes étapes abordées dans cette première phase de définition.

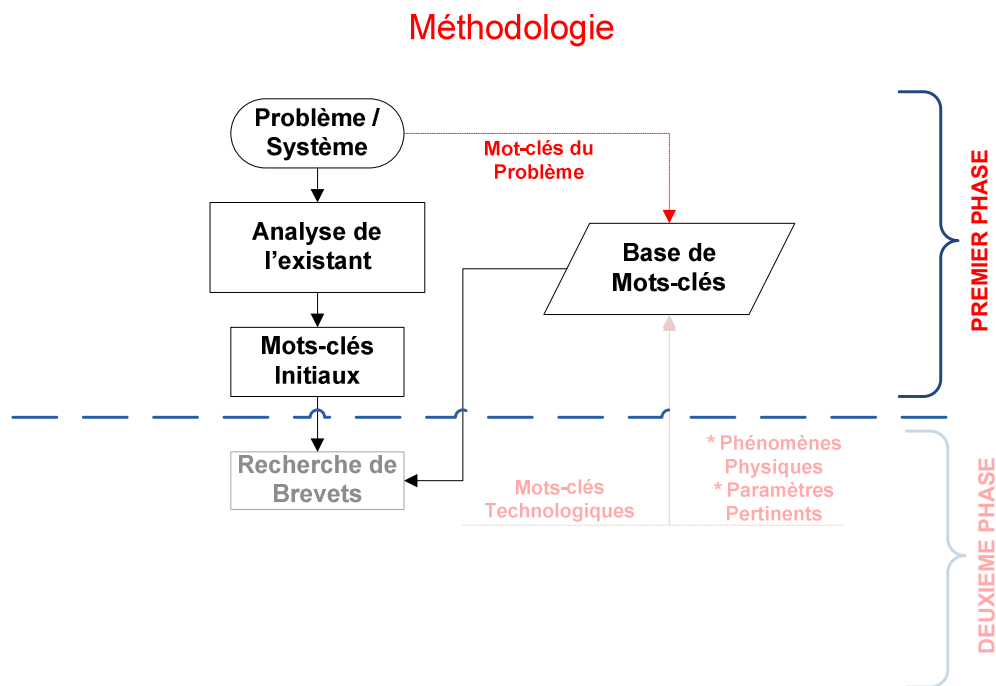


Figure 16 Synthétique de la méthode proposée – Première Phase

Premièrement, nous avons proposé une analyse détaillée de la fonction principale à étudier. Une description des situations de vie, des milieux extérieurs et des ressources existantes nous permettent de trouver des concepts et des mots clés qui décrivent de façon approfondie la fonction.

Deuxièmement, nous avons fourni un outil pour améliorer la recherche de l'existant en compilant plusieurs sites web pertinents des domaines scientifiques et techniques. Cet outil facilite la réalisation d'un état de l'art élargi et permet d'approcher une recherche exhaustive en allant vers de champs de recherche différents.

Troisièmement, nous avons proposé une structure de mots qui permet de classer les mots clés initiaux, technologiques et physiques récupérés à chaque itération de recherche. Cette base sera utilisée pour rechercher des informations ciblées dans les bases de données de brevets.

Finalement, un cas d'application illustre la première phase. Les premiers éléments de définition pour le problème complexe de séparation bi-phasique en offshore profond ont été réalisés.

La Figure 17 rappelle la méthode proposée en trois phases.

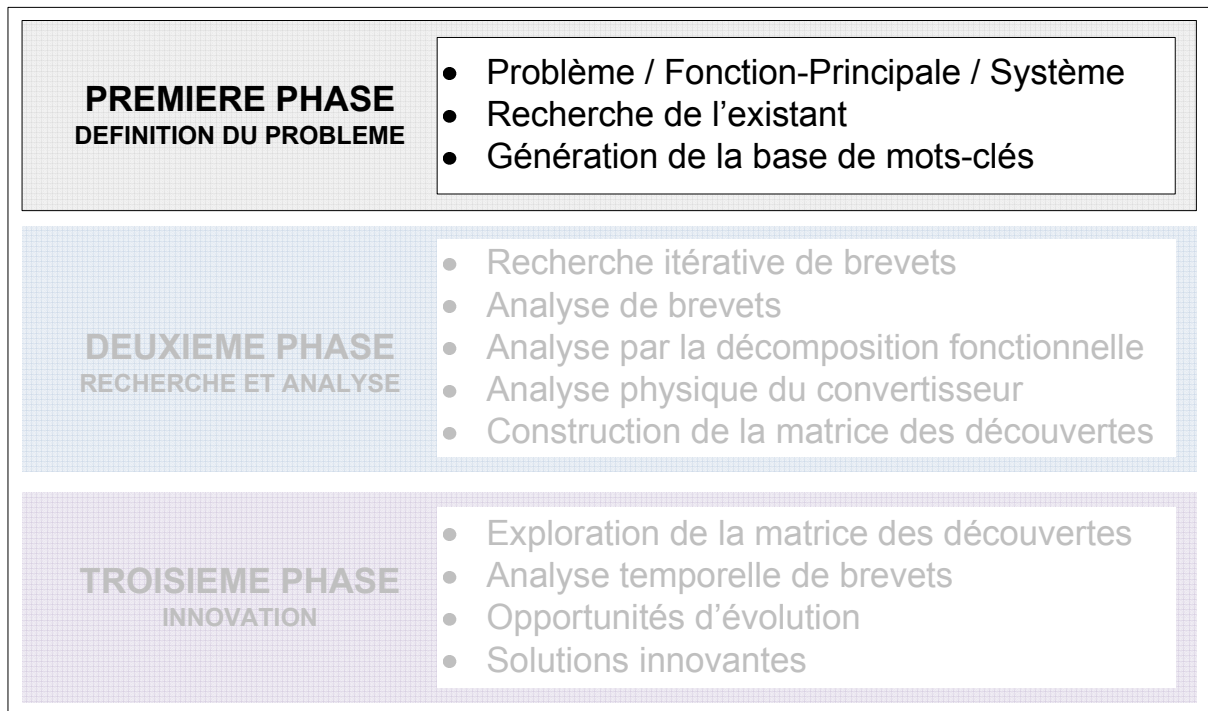


Figure 17 Méthode proposée en trois phases: Première phase réalisée

Chapitre 3 Phase 2 – Recherche et Analyse

Ce chapitre décrit la phase deux de notre méthodologie qui, dans un premier temps, cherche à utiliser la base de mots clés pour rechercher des concepts intéressants dans les bases de données de brevets. L'analyse des brevets nous permet de récupérer des mots clés technologiques qui complètent la base et servent à réaliser des recherches itératives plus précises.

Dans un deuxième temps, nous proposons l'utilisation de la décomposition fonctionnelle et d'une analyse physique fine pour décortiquer la ou les fonctions principales des concepts sélectionnés. Nous récupérons les mots clés physiques qui seront aussi intégrés dans la base de mots clés.

Finalement, les brevets pertinents récupérés seront classés sur une matrice de découvertes construite à partir du croisement des phénomènes physiques et des technologies utilisées. Cette matrice sera exploitée dans la dernière phase de la méthodologie proposée, afin d'analyser les brevets pour en déduire des opportunités d'évolution.

Les brevets pertinents et les différents systèmes techniques associés, les solutions possibles, les phénomènes physiques pertinents et les éléments de structuration de la matrice des découvertes sont les livrables de cette phase 2.

3.1 Première recherche des brevets

Pour faciliter la tâche de recherche dans les bases de données commerciales de brevets, nous proposons un outil qui utilise les mots clés précédemment classés (mots clés initiaux, phénomènes physiques et techniques d'amélioration) et des paramètres prédéfinis par les utilisateurs (nombre de substantifs, verbes, phénomènes,...) pour sélectionner et combiner les mots clés pour générer une requête de recherche (Figure 18). Nous utilisons particulièrement les services de recherche d'Espacenet pour ses 90 millions de documents de brevets en provenance de 80 pays (White 2010).

La gestion des requêtes d'Espacenet facilite l'intégration de nos mots clés, i.e. l'ordre des mots n'a pas d'importance, les mots en majuscule ou minuscule ne changent pas les résultats,... Cependant, l'utilisation d'autres interfaces de recherche de brevets, qui, à travers les techniques informatiques, considèrent les différentes parties du discours (les pronoms, les interjections, les adpositions,...) peut influencer le nombre des résultats trouvés. Nous cherchons à utiliser seulement les éléments essentiels et clés pour la

récupération de brevets pertinents en proposant la construction d'une requête à la fois parcimonieuse et la plus exhaustive possible.

Figure 18 Exploitation des mots clés, Outil « Recherche des brevets »

Les documents retrouvés doivent être analysés pour déterminer s'ils sont pertinents, c.à.d. s'ils sont liés à la fonction d'étude, s'ils possèdent des techniques intéressantes, quels phénomènes physiques sont impliqués,... La requête doit être reformulée dans le cas où les brevets trouvés n'ont pas de pertinence pour la fonction étudiée.

3.2 Première analyse des brevets

Dans cette première analyse nous cherchons un maximum de brevets associés au problème traité et aux fonctions initialement détaillées. Les documents de brevets sont analysés manuellement, l'utilisateur sélectionne, en premier lieu, les brevets à analyser par la pertinence du titre des documents.

L'objectif de cette première analyse est de trouver les principes de fonctionnement par la compréhension rapide du brevet en question. Une analyse plus approfondie sera effectuée lorsque le brevet sera classé dans la matrice de découvertes (prochaines sections). Le Tableau 3 décrit les éléments essentiels à analyser dans les différentes parties d'un brevet, pour sa classification et la récupération de mots clés.

Tableau 3 Sections pertinents du brevet

ANALYSE DE PARTIES DU BREVET	
Titre du document	L'analyse commence par le titre du document, il contient les premières informations essentielles, il décrit synthétiquement ce que l'on retrouvera dans l'invention. Il constitue les premiers mots clés utilisés.
Données bibliographiques	Les données bibliographiques nous permettent de situer le contexte de l'invention, c.à.d. les compagnies impliquées, l'année de l'invention, les inventeurs,... Ces informations complémentaires sont importantes pour classer le brevet dans le cas où il est considéré pertinent.
Résumé (« Abstract »)	Nous centrons notre analyse sur le résumé de l'invention puisque il est le cœur du brevet. Certains chercheurs soutiennent que les résumés possèdent l'information textuelle la plus significative et la plus concise de l'invention (Chen, Tokuda, and Adachi 2003). La description générale, les principes de fonctionnement, les techniques utilisées,... sont nécessairement décrits dans le résumé. Généralement, il est accompagné par un dessin qui représente l'invention. Le résumé est toujours disponible en anglais ce qui nous donne accès aux brevets non traduits, cela concerne essentiellement les brevets asiatiques.
Description	La description de certains brevets est composée par plusieurs sections, pour trouver les concepts clés du brevet nous proposons l'analyse des premières sections : le domaine technique (« Technical Field »), le contexte (« Prior Art ») et le résumé de l'invention (« Summary of the Invention »). Nous considérons qu'il n'est pas nécessaire d'analyser tout le document. Selon les travaux de (Fall et al. 2003), les auteurs montrent qu'en utilisant les 300 premiers mots des résumés, des revendications et des descriptions, les performances d'analyse (automatique) sont meilleures que ceux qu'utilisent les textes complets, peu importe les classifications utilisées.
Revendications (« Claims »)	La section de revendications est la dernière partie à considérer dans le cas où le brevet doit être analysé plus minutieusement. Cette section met l'accent sur la description détaillée de l'invention, il souligne la structure technologique et les découvertes. Certains auteurs utilisent cette section pour identifier les points technologiques clés que les inventeurs veulent protéger légalement (Fujii, Iwayama, and Kando 2007).

3.3 Décomposition fonctionnelle des fonctions principales

(Pailhès et al. 2011) proposent une approche énergétique basée sur la décomposition fonctionnelle des systèmes. Leur vision énergétique est basée sur la loi dit d'intégralité des parties de la théorie TRIZ (Section 4.2.2.1). La réalisation d'une fonction impose de disposer d'une énergie, le type énergie va évoluer à travers les différents composants qui participent à la réalisation de l'action. Le transport des énergies constitue le flux fonctionnel.

Ils considèrent (dans le même sens préalablement défini par [Pahl and Beitz 1988]) que tous les flux liés au fonctionnement (énergie, matière et signal) peuvent se ramener à des

flux énergétiques. Ces flux, regroupés sous le terme flux fonctionnel, et les composants et interfaces qui permettent leur transformation et leur transport jusqu'à la réalisation de l'action, constituent le juste nécessaire pour réaliser la fonction.

Cette décomposition fonctionnelle énergétique dite méthode CTOC (Convertisseur, Transmetteur, Operateur, Contrôle/Commande), incorpore différents composants essentiels pour la réalisation correcte d'une fonction :

- Le flux d'énergie d'entrée ou une **source énergétique** interne ou externe,
- Le **Convertisseur** comme son nom l'indique, convertit ou transforme l'énergie d'entrée (Type 1) en énergie utilisable (Type 2) par les autres composants du système,
- Le **Transmetteur**, transmet cette énergie (Type 2) reçue sans la convertir. Toutefois, il peut adapter les paramètres pertinents de l'énergie d'entrée selon les contraintes de l'opérateur.
- L'**Opérateur** est celui qui exécute l'action demandée par le système. Il peut être lui-même un convertisseur si son énergie de sortie est d'un type différent de celle d'entrée (Type 3).
- La **Liaison à la référence** permet de positionner les différents composants par rapport à la référence. Selon (Sallaou 2008), c'est un composant d'interaction entre un composant et une référence de niveau supérieur.
- Les éléments de **Contrôle – Commande**, assurent la bonne réalisation des fonctions de différentes composants. Les éléments de contrôle pallient les éventuels effets induits par le cheminement du flux fonctionnel.
- Finalement les **Interactions** (par contact direct ou par composants d'interaction) assurent les liens entre les différents composants et permettent le transfert des flux d'énergie, matière et signal.

Le flux fonctionnel est constitué par l'acheminement de l'énergie à travers les composants. Le flux fonctionnel et les composants qu'il traverse, constituent le juste nécessaire à la réalisation de la fonction. Nous utilisons cette décomposition fonctionnelle et l'analyse physique pour associer des mots-clés aux paramètres physiques pertinents de la fonction principale étudiée.

Il est donc possible de distinguer les quatre éléments essentiels à la réalisation de l'action. La Figure 19 comprend le *convertisseur* qui transforme l'énergie disponible en énergie exploitable, le *transmetteur* qui transmet et/ou adapte cette énergie jusqu'à l'*opérateur* qui réalise l'action. Les composants de *contrôle/commande* assurent les performances requises (non illustré). L'énergie finale pour réaliser l'action peut être différente de l'énergie sortant du convertisseur. L'opérateur est lui-même un convertisseur si l'énergie qui réalise l'action est différente de l'énergie transmise par le transmetteur.

Ainsi, nous remarquons que les convertisseurs constituent l'essence même du fonctionnement du système, ce qui est une constatation importante pour notre recherche. Les phénomènes physiques pertinent sont donc liés au(x) convertisseur(s). De surcroît, pour une même conversion d'énergie (même entrée/sortie), nous pouvons utiliser des types de

convertisseurs différents ce qui nous dirige vers de nouveaux concepts dont nous devrions vérifier l'existence.

Ces constatations sont un gisement pour exprimer de nouveaux mots-clés qui permettront de rechercher d'autres brevets éventuels.

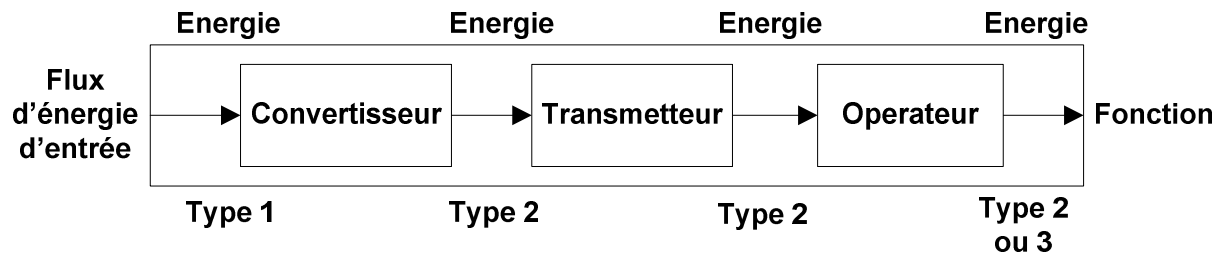


Figure 19: Décomposition Energétique CTOC de la réalisation d'une fonction

L'utilisation de la décomposition fonctionnelle nous permet de cibler et diriger la recherche en définissant des mots clés liés aux phénomènes physiques associés. Ces mots-clés viennent de l'analyse physique du fonctionnement de convertisseurs et de l'évolution possible des paramètres physiques pertinents. Ils constituent des mots-clés pour de nouvelles recherches et complètent la base de mots-clés.

3.4 Les mots-clés issus de l'analyse physique des convertisseurs

L'étude de lois de conservation appliquées au composant « convertisseur » permet d'énumérer et de valider les paramètres pertinents de fonctionnement. Il s'agit d'exprimer ces lois de conservation (énergie, matière, quantité de mouvement) pour chaque composant ou groupe de composants impliqué. Une étude de sensibilité sur chaque paramètre va permettre de sélectionner ceux qui sont pertinents. Ces variables constituent les premiers mots-clés. Les noms des phénomènes physiques intervenant dans ces lois constituent de nouveaux mots-clés. Les études de ces lois permettent de définir des possibilités d'augmentation de l'efficacité à partir de l'évolution des paramètres. Les techniques employées pour faire varier les paramètres constituent aussi de nouveaux mots-clés.

Les flux fonctionnels sont liés à l'évolution des flux énergétiques, de matière ou de signal. Une analyse exhaustive des lois de conservation de l'énergie, de la matière et de la quantité de mouvement, permet de discerner les paramètres (variables) pertinents du système/problème (Samet 2010). Il est possible d'exprimer ce flux fonctionnel associé à la réalisation de la fonction en termes de puissance. La puissance s'exprime alors par le produit d'une variable d'état et d'une variable temporelle (Tableau 4). Le type de puissance est différent à l'entrée et à la sortie du convertisseur.

Tableau 4 Exemples de variables conjuguées pertinentes.

Type of energy	Temporal variables	State variables	Energy flow (power)
Mechanical (<i>translation</i>)	Speed (V)	Force (F)	$V \cdot F$
Mechanical (<i>rotation</i>)	Rotation speed (ω)	Couple (C)	$\omega \cdot C$
Hydraulic/pneumatic	Volume flow rate (qv)	Pressure (p)	$qv \cdot p$
Thermal (<i>sensitive</i>)	Capacity flow rate ($q \cdot Cp$)	Temperature (T)	$q \cdot Cp \cdot T$
Thermal (<i>combustion</i>)	Flow rate (q)	Internal calorific value (PCI)	$q \cdot PCI$
Electrical	Current (I)	Electrical potential (U)	$I \cdot U$

3.5 Base de données des convertisseurs énergétiques

Le convertisseur, dans la vision énergétique de la méthode CTOC, joue un rôle important dans l'évolution du système étudié. En effet, changer le convertisseur implique changer le concept et changer le concept conduit au changement de la technologie ou de la technique utilisée et, par conséquent, les phénomènes physiques impliqués sont modifiés.

Une base de données de convertisseurs sera utile pour faire évoluer les concepts en respectant la fonction principale. Créer une base des convertisseurs implique une compilation de nombreux systèmes technologiques existants, ce qui représente un travail important et dont l'efficacité peut être mise en doute.

Nous proposons une base de données à partir des effets physiques. La Figure 20 montre ces possibilités de conversion d'énergie. Cette base permet de sélectionner un effet différent dans le but de changer le convertisseur en ayant les mêmes entrée/sortie. Son utilisation permet de récupérer différents mots clés (physiques) afin de raffiner les recherches.

La base de la Figure 20 prend initialement en compte cinq différentes énergies d'entrée/sortie : thermique, mécanique, chimique, électrique et magnétique.

Pour mieux comprendre la logique de cette base, prenons l'exemple de certaines conversions possibles de l'énergie électrique. Pour le cas **électrique - mécanique**, i.e. un matériau non conducteur ou diélectrique soumis à un champ électrique subira une modification de sa forme, c'est l'effet d'électrostriction. Pour le cas **électrique – thermique**, l'exemple typique est l'effet Joule, où une manifestation thermique se produit lors du passage d'un courant électrique dans tout matériau conducteur. Quant au cas **électrique – chimique**, l'effet de l'électrolyse permet de réaliser des réactions chimiques grâce à une activation électrique, donc il existe un processus de conversion de l'énergie électrique en énergie chimique. Finalement pour le cas **électrique – magnétique**, nous considérons l'effet magnéto-électrique, où l'application d'un champ électrique induit une induction magnétique (polarisation).

Cette base participe à l'inspiration des utilisateurs/concepteurs. Il est clair que le contexte d'application des effets dépend des matériaux, de l'échelle d'application, du contexte particulier d'utilisation, etc. En ce qui regarde le cas d'application étudié, cette base montrera son utilité dans les opportunités d'évolution.

Base de données des Convertisseurs et des effets physiques		
CONVERTISSEURS ("TRANSDUCTEUR")		
Energie (Entrée)	Convertisseur/Effets physiques	Energie (Sortie)
Thermique	Dilatation thermique	Mécanique
	Transitions de phase / Changement de phase	
	Effet Seebeck (thermoélectrique)	Electrique
	Effet Thompson(thermoélectrique) sans jonction	Chimique
		
Mécanique	Point de Curie [Effet thermo-magnétique]	Magnetique
	Effet piézoélectrique (direct)	Electrique
	Frottement	Thermique
	Trainé [de frottement]	
	Effet magnétomécanique [Effet Villari]	Magnetique
	Rotation -- Effet Matteucci	
Chimique	Rotation -- Gyromagnétisme	Mécanique
	Absorption	
		Electrique
	Combustion	Thermique
	Réactions exothermiques/endothermiques	
	Chemiluminescence	
	Explosion (Chimique)	Magnetique
		
Electrique	Application d'un champ électrique	Mécanique
	Effet Johnson-Rabeck	
	Électrostriction	
	Effet piézoélectrique (indirect)	
	Effet Peltier (thermoélectrique)	Thermique
	Effet Thompson(thermoélectrique) sans jonction	
	Décharge électrique	
	Effet Joule	Chimique
	Electrolyse	
	Electrophorèse	
	Électrochromisme (oxydo-réduction)	Magnetique
	Effet Magneto-électrique	
	Loi de Biot-Savart -- [Electromagnetisme]	Mécanique
	Application d'un champ magnétique	
	Magnétostriction.	
Magnetique	Magnétostriction [Effet Wiedemann]	Electrique
	Induction électromagnétique	
	Courant de Foucault	
	Absorption (optique)	
	Effet Hall	
	Application d'un champ magnétique	Thermique
	Chauffage diélectrique/électronique	
	Effet magnétocalorique	
	Absorption (optique)	Chimique
		

Figure 20 Extrait de la base de données des convertisseurs énergétiques.

3.6 Recherche itérative et Analyse de brevets

A ce stade, nous pouvons à nouveau effectuer une recherche de concepts et de solutions existantes en utilisant la base de données des mots clés. La complétude de cette base a été améliorée grâce à la décomposition fonctionnelle et une analyse physique fine de la fonction principale. L'utilisateur sélectionne de façon ordonnée les mots clés et il génère une requête qui regroupe les phénomènes physiques et les techniques associées.

Une nouvelle analyse de brevets manuelle est nécessaire, nous guidons l'utilisateur pour l'étude de chaque brevet avec une grille de lecture qui lui permet d'identifier des nouveaux mots clés technologiques et des nouveaux phénomènes physiques impliqués.

Le processus est donc itératif, ensuite le brevet sera enregistré pour sa future classification dans une matrice des découvertes (Section 3.7). Cette analyse structurée nous permet de classer les brevets pertinents selon les phénomènes physiques et les technologies associés.

3.6.1 Identification et sélection des brevets pertinents

La sélection de brevets pertinents ou intéressants, dans ce contexte, est une activité subjective qui dépend entièrement du jugement de l'utilisateur/concepteur. Néanmoins, nous considérons certains indices généraux pour considérer un brevet pertinent et procéder ensuite à sa classification dans la matrice des découvertes :

- Un brevet pertinent est celui qui a une relation directe à la fonction principale d'étude, c.à.d. il (ou une partie de lui) exécute la fonction au moyen de divers techniques, composants,...
- Il utilise des technologies particulières ou non conventionnelles,
- Un phénomène physique est utilisé de manière particulière,
- Le brevet détaille une invention hybride où cohabitent différentes technologies,
- L'invention est utilisée dans un champ d'application spécial ou autre que le domaine conventionnel d'utilisation,
- Tout invention qui gère ou traite de façon particulière une ou plusieurs contraintes du système étudié préalablement décrites (dans la section de définition du problème), est considérée pertinente,
- L'invention utilise un élément supplémentaire, une géométrie spéciale, un composant, une interaction,... ou l'application de tout concept original.

3.6.2 Premières informations et connaissances récupérées : Grille d'analyse

Nous proposons une extension⁸⁷ intégrée dans l'explorateur web pour assister les utilisateurs dans la phase de récupération d'informations générales du brevet (informations bibliographiques) et en enquêtant les utilisateurs nous récupérons des connaissances liées aux phénomènes physiques trouvés et aux technologies associées. La Figure 21 illustre cette grille.

Bien que cette étape puisse être automatisée par différentes techniques informatiques de traitement de langage naturel, comparaison de la similarité sémantique,..., certains brevets ne sont pas si clairs dans la description de techniques et surtout dans la description de phénomènes physiques. Il est connu que parfois les inventeurs ou les entreprises veulent cacher certains principes d'opération, ou les rédacteurs de brevets utilisent une terminologie différente,... Dans notre contexte d'étude, cette tâche d'interprétation et traduction d'informations à connaissances, appartient à l'utilisateur. La décomposition fonctionnelle et l'analyse physique ciblée la fonction principale facilite cette activité, puisque elles fournissent les concepts pour déchiffrer quels sont les éléments clés d'une invention (si la fonction principale est la même).

Figure 21 Outil de récupération de brevets pertinents et grille d'analyse.

⁸⁷ Pour le navigateur Google Chrome, une extension est un logiciel réduit qui peut modifier ou améliorer la fonctionnalité du navigateur, elle permet d'exploiter une page web de différentes façons.

3.6.3 Point d'arrêt

La phase itérative de recherche et analyse doit être arrêtée à un moment donné. Nous identifions deux points d'arrêt nécessaires, d'abord, pour une requête donnée et ensuite, pour l'analyse globale de brevets.

Essentiellement le point d'arrêt est identifié lorsque la requête utilisée amène toujours aux mêmes concepts (les mêmes technologies et phénomènes physiques repérés plusieurs fois). Une haute incidence de brevets contenant les mêmes phénomènes et technologies nous indique, d'une part, que ces brevets sont « classiques » pour cette fonction, et, d'autre part, qu'il n'est plus nécessaire de chercher avec les mots clés qui font ressortir ces techniques (relancer la recherche avec d'autres mots clés).

Quantitativement, l'analyse générale de brevets est arrêtée quand la matrice de découvertes est remplie, cela veut dire que la plupart des phénomènes physiques pour la réalisation de la fonction ont été associés aux différentes technologies trouvées. La matrice de découvertes peut être incomplète, il s'agit alors de discerner si les croisements manquants correspondent à des verrous scientifiques ou à des impossibilités technologiques et si ces verrous peuvent être levés ou non et, si oui, à quelle échéance. Donc les cases blanches de la matrice sont donc des impasses ou des opportunités d'innovation.

3.7 Définition de la matrice des découvertes

La matrice des découvertes est un outil qui nous permet de structurer les résultats (brevets pertinents) dans un tableau à partir des points de vue définis par l'utilisateur. Sur la Figure 22, la matrice est construite en croisant les systèmes technologiques (T) observés et les mots clés associés aux types de convertisseurs et aux phénomènes physiques. Chaque convertisseur (C) implique des Paramètres Physiques Pertinents (PPP). Chaque PPP peut être lié un ou plusieurs Phénomènes Physiques (PP). L'amélioration de chaque PP peut induire des techniques particulières (TA). Chaque brevet pertinent est ainsi classé avec ces informations bibliographiques respectives.

La matrice commence à prendre de l'importance lorsqu'une analyse est faite afin de savoir à quel moment la phase itérative doit être arrêtée. L'identification des cellules (phénomènes physiques vs. technologies associées) incluant beaucoup de brevets nous donne un indice de la convergence de la méthode. Quant aux cellules vides un regard particulier est porté sur elles. Si après plusieurs itérations, elles restent vides cela veut dire qu'il n'y a pas actuellement de solutions. Il y a donc peut être une opportunité d'innovation. Les cellules vides représentent donc les premières opportunités d'évolution c'est-à-dire que le ou les concepts correspondants n'existent pas encore.

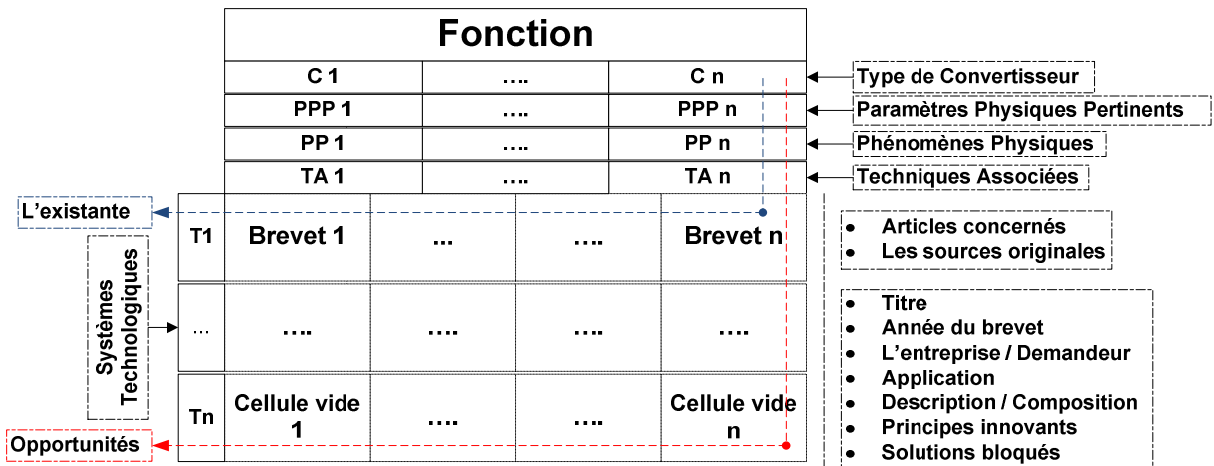


Figure 22 : Concept de matrice des découvertes

3.8 Livrables Phase 2

La Figure 23 rappelle les livrables attendus pour la phase 2.

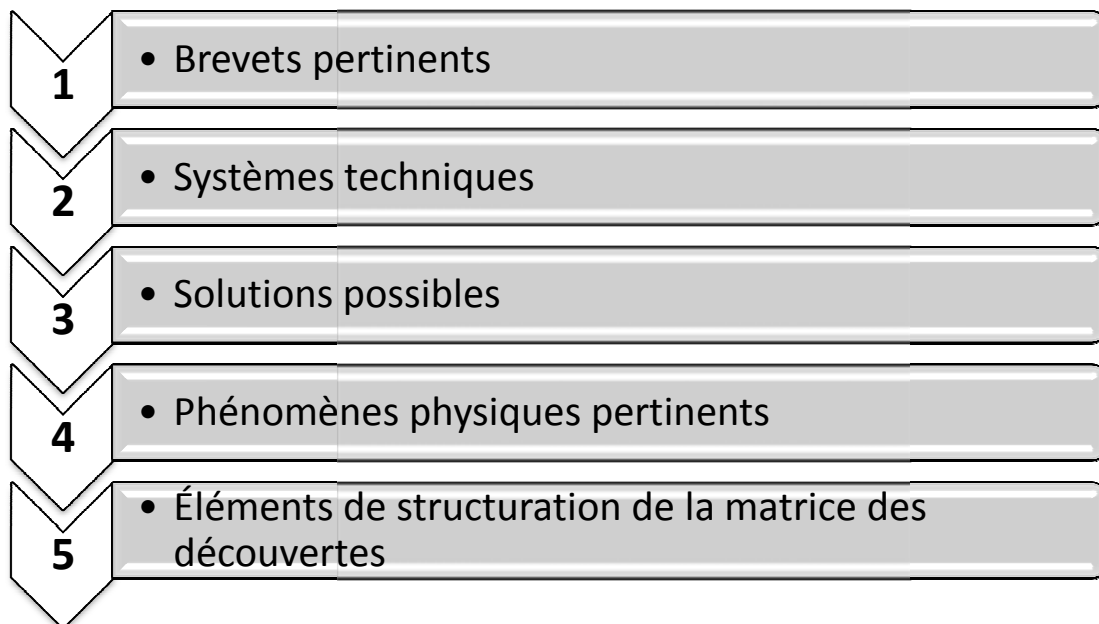


Figure 23 Liste de livrables de la phase 2

3.9 Application au séparateur bi-phasique

La deuxième phase de la méthodologie proposée est appliquée à notre cas d'application concernant les systèmes de séparation bi-phasiques en offshore profond. La première phase, nous a permis de récupérer à travers une analyse initiale robuste (en utilisant les outils de recherche proposés), divers mots clés initiaux. Nous avons structuré une base de données des mots clés qui sera exploitée dans cette phase.

3.9.1 Première recherche et analyse de brevets

Dans la phase 1, nous avons identifié deux cas principaux de la séparation bi-phasique, le cas de séparation huile/gaz où le flux de gaz est le plus important (l'huile présente sous forme de gouttes), et le cas gaz/huile où les flux d'huile est le plus important (le gaz en forme de bulles). Nous cherchons les concepts pour la fonction « séparer l'huile du gaz », ou « séparer le gaz de huile », c'est la fonction principale à étudier. Le *Tableau 5* récapitule les concepts trouvés lors de la définition dans la phase 1.

Tableau 5 Etat de la recherche initiale : fonctions, concepts et phénomènes physiques impliqués

Fonction principale	Concepts	Phénomènes physiques
Séparer le gaz et le liquide	Séparer le liquide et le gaz par rotation	Déviation
Séparer le liquide et le gaz	Séparer le liquide et le gaz par sédimentation	Archimède
	Séparer le liquide et le gaz par rotation	Inertie du liquide / Force centrifuge
	Séparer le liquide et le gaz par translation	Inertie du liquide

La base initiale de mots clés est utilisée pour générer diverses requêtes en anglais du type : « *Gas ; liquid ; separator (device, apparatus, system, process, method...)* »... Cette recherche et analyse initiale n'apporte rien de plus que les diverses systèmes technologiques initialement identifiés, i.e. les cuves de décantation, les cyclones, les hydro cyclone, les lames, les pales, les plateaux, les hélices,... A ce stade, il est nécessaire d'améliorer la pertinence des mots clés utilisés, la complétude de la base des mots clés et par voie de conséquence les brevets pertinents à récupérer.

3.9.2 L'analyse physique et la décomposition fonctionnelle de la fonction principale

Pour réaliser la ou les fonctions principales, il est approprié de définir les composants liés à la circulation du flux fonctionnel (Figure 19). Pour illustrer ce point, prenons le cas Liquide/Gaz, le but final étant d'exprimer tous les phénomènes physiques permettant de produire une force « **F** » qui permettra de déplacer avec une vitesse « **V** » les gouttes indépendamment du gaz.

Si nous considérons l'exemple de séparation par force centrifuge, plusieurs concepts sont connus : les cyclones, les hélices, les pales,... Centrons-nous sur les cyclones (Figure 24). L'énergie disponible (entrée) est l'énergie électrique. Le convertisseur classique qui peut transformer l'énergie électrique en énergie fluide est une pompe bi-phasique. La conduite bi-phasique est le transmetteur. Enfin, l'opérateur est l'élément qui va permettre de transformer la puissance fluide « **qvp** » en déplacement radial de gouttes « **VF** », c'est le rôle du cyclone. Le cyclone est un convertisseur dont nous allons rechercher les évolutions possibles.

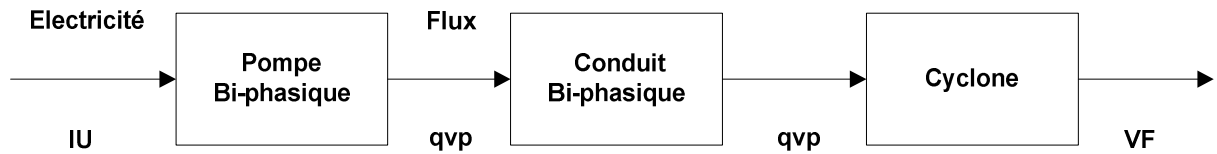


Figure 24 : Décomposition d'un système appliqué à un séparateur bi-phasique

Dans l'opérateur (cyclone), le flux bi-phasique a un mouvement circulaire et la goutte de liquide subit une force centrifuge qui la déplace vers la périphérie où elle est récupérée (Figure 25).

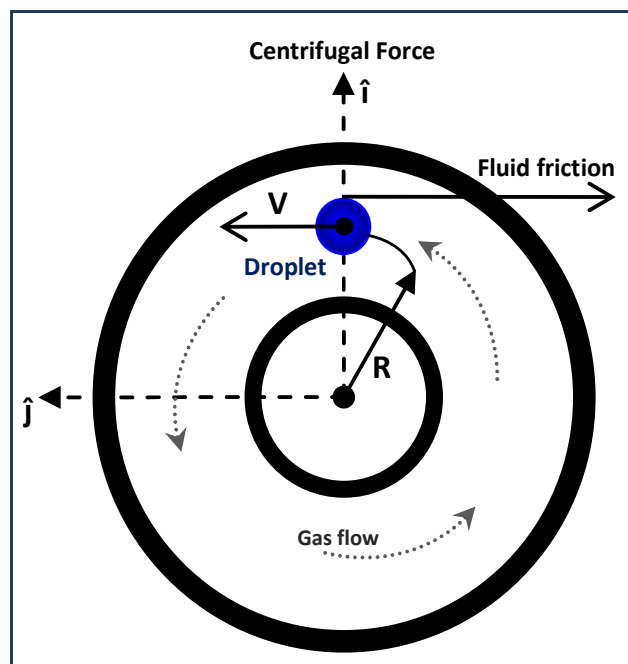


Figure 25 : Concept de séparation bi-phasique par centrifugation

Le principe fondamental de la dynamique (loi de conservation de la quantité de mouvement) s'écrit sur une goutte, Equation 1 :

$$\sum \vec{F} = m \cdot \frac{V^2}{R} \vec{i} + m \frac{dV}{dt} \vec{j} \dots\dots\dots \text{Equation 1}$$

$\sum F$ comprend, le frottement liquide/gaz, le contact avec le cyclone et le poids. Afin de visualiser les paramètres pertinents, nous exprimons la masse « m » de la goutte sphérique en fonction de son diamètre d et de sa masse volumique « ρ », Equation 2 :

$$\sum \vec{F} = \frac{1}{6} \cdot \rho \pi d^3 \frac{V^2}{R} \vec{i} + \frac{1}{6} \cdot \rho \pi d^3 \frac{dV}{dt} \vec{j} \dots\dots\dots \text{Equation 2}$$

Deux paramètres sont pertinents de la force centrifuge, la vitesse (**V**) et le diamètre (**d**) de la goutte. Si nous voulons augmenter la force centrifuge, nous pouvons augmenter la vitesse ou le diamètre de la goutte. La coalescence des gouttes qui réalise la fusion des gouttes par rapprochement, collision ou vibration permet l'augmentation du diamètre. Cette analyse nous donne donc les mots clés physiques, centrifugation et coalescence, et les techniques d'amélioration rapprochement, collision et vibration.

Il est possible et opportun d'effectuer la décomposition fonctionnelle et l'analyse physique associée, pour les différents systèmes retrouvés lors de la récupération de technologies dans les brevets. Dans ce cas d'étude, l'analyse précédente apporte certains éléments clés à ajouter à la base de données des mots clés, puis une nouvelle recherche des concepts peut être exécutée.

3.9.3 Structuration de la matrice des découvertes

3.9.3.1 Structuration des colonnes

Le Tableau 6 montre de manière générale, les phénomènes physiques impliqués dans la séparation d'un mélange à deux phases, en considérant le flux dominant de liquide et le flux dominant de gaz. Cette analyse de départ nous donne une vision globale de la séparation bi-phasique et facilite la structuration de la matrice des découvertes.

Tableau 6 La physique générale de la séparation bi-phasique

Séparation Gaz /Liquide			
Statique			
Poussée d'Archimède ⁸⁸	Gaz ↑ (<i>monte</i>) ($F = \rho_f gV$)		
Pesanteur	Liquide ↓ (<i>descend</i>) ($P = mg$)	Décantation ⁸⁹	
		Sédimentation ⁹⁰	
Paramètre pertinent	La masse volumique ($\rho = \frac{dm}{dV}$)		
Dynamique			
Inertie	$(\sum \vec{F} = \int dm \vec{\gamma})$	Inclinaison	Gravité (<i>Motrice</i>)
		Rotation	Vitesse angulaire (ω) ($\gamma = \omega^2 r$)
Paramètre pertinent	La masse volumique (ρ), le volume (V)		
	L'accélération (γ)		
Séparation Liquide/Gaz			
Dynamique			
Inertie (goutte)	$(\sum \vec{F} = m\vec{\gamma})$	Inclinaison	Gravité (<i>Motrice</i>)
		Rotation	Vitesse angulaire (ω) ($\gamma = \omega^2 R$)
Choc	$(E_c = \frac{1}{2} mV^2)$		
Paramètre pertinent	La masse volumique (ρ), le diamètre de la goutte (d)		
	L'accélération (γ)		

Suivant la logique de construction de la Section 3.7, le Tableau 7 introduit la structure de la matrice de découvertes composée par les types de convertisseurs, les paramètres physiques pertinents, les phénomènes physiques et les techniques associées. La fonction principale de la matrice est définie pour la séparation des mélanges bi-phasiques. Différents cas de séparation ont été identifiés (fluide dominant et fluide entraîné), i.e. Liquide/Gaz, Gaz/Liquide, Liquide/Liquide, Liquide/Solide, Gaz/Solide,... Le tableau considère seulement deux cas afin d'illustrer la méthode. La dernière partie de structuration, consistera à croiser les technologies trouvées (Tableau 8) avec les paramètres et phénomènes physiques pertinents.

⁸⁸ Force particulière que subit un corps plongé en tout ou en partie dans un fluide soumis à un champ de gravité. L'énoncé du principe précise : « Dans une situation d'équilibre, tout corps plongé dans un fluide au repos subit une poussée verticale ascendante qui est égale au volume de fluide déplacé » (Amiroudine and Battaglia 2011).

⁸⁹ Séparation mécanique sous l'action de la gravitation de plusieurs phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide.

⁹⁰ Procédés de séparation des mélanges. Il consiste à laisser se sédimenter les particules en suspension dans le liquide pour pouvoir les séparer.

Tableau 7 Structuration des colonnes de la matrice des découvertes, cas G/L et L/G

Séparation des mélanges bi-phasiques : G/L				
Gaz/Liquide				
C	PPP	PP	TA	
Statique	ρ	Archimède ⁹¹		
Dynamique	ρ , γ et la compacité (C ⁹²)	Inertie Liquide	Translation	Déplacement dans le sens opposé au déplacement du gaz
			Rotation	Centrifuge
		Chute ⁹³		*Limite le frottement
		Choc	Décohésion	*Dissociation
		Coalescence	Vibration	
Séparation des mélanges bi-phasiques : L/G				
Liquide/Gaz				
C	PPP	PP	TA	
Dynamique	ρ , γ et la compacité (C ⁹⁴)	Diffusion	Gradient Pression	
			Rotation	Centrifuge
		Choc	*Perpendiculaire à l'écoulement	*Dans le sens d'écoulement
		Coalescence	Demister ⁹⁵	
			Vibration	
		Déviation	Centrifuge ⁹⁶	
		Gradient Thermique	Condensation	

3.9.3.2 Structuration des lignes

Le Tableau 8 montre les cinq familles de technologies issues de notre analyse et de la recherche itérative des brevets. Chaque famille est complétée par des caractéristiques particulières qui généralement font référence à la forme des composants.

⁹¹ Frottement Gaz/Liquide opposé à la poussée d'Archimède

⁹² Rapport entre la surface et le volume

⁹³ Utilise comme ressource la gravité

⁹⁴ Rapport entre la surface et le volume

⁹⁵ Aussi connu en français comme dispositif antibuée, il sert à éliminer les gouttelettes de liquide entraînées dans un courant de vapeur.

⁹⁶ Modification du sens

Tableau 8 Structuration des lignes de la matrice des découvertes, cas G/L et L/G

Séparation des mélanges bi-phasiques				
Gaz/Liquide et Liquide / Gaz				
Famille 1	Famille 2	Famille 3	Famille 4	Famille 5
Hélices, Spirales, Section hélicoïdale	Cyclone, Hydrocyclone, Venturi,	Cloisons, Chicanes, Déflecteurs, Ailettes, Plateaux, Aubes, Canaux, Tubes	Récipient, Réservoir, Cuve	Divers : Echangeur de chaleur, Electrostatique (électrodes), T- Jonction, Agent chimique
Caractéristiques				
A pas variable, en spirale,...	Cône, Cylindre ("Rotatif"),...	Inclinées, Circonférentielles, Labyrinthe, Coquille d'escargot, Guidage, Incurvées, Escalier tournant, hélicoïdale, Spirale, Verticaux	Sédimentation décantation	Combinaison de différents systèmes technologiques (Dans notre classement, les moins retrouvés)

3.9.4 Recherche et analyse de brevets pertinents

A ce stade nous avons amélioré la complétude de la base de mots clés pour les séparateurs bi-phasiques. Après avoir effectué l'analyse initiale du problème, l'analyse physique exhaustive et la décomposition énergétique de la fonction principale nous pouvons à nouveau effectuer une recherche de concepts et de solutions existantes.

Une recherche initiale avec les mots-clés en anglais « *gas; liquid ; separator* » donne (au moment de rédaction de cette thèse) 19435 brevets. Il est évident que sans les outils adéquats, l'analyse de ces documents est une tâche impossible manuellement mais aussi l'analyse de quelques documents reste une activité chronophage. Si nous voulons limiter la recherche en utilisant la logique de convertisseurs avec le mot « cyclone », nous avons maintenant 1052 brevets. Pour focaliser la recherche, nous utilisons les nouveaux mots-clés trouvés grâce à la décomposition fonctionnelle et l'analyse physique précédente.

La recherche est ensuite lancée en utilisant la base de données des mots-clés et l'outil de recherche (connecté aux services d'Espacenet). La Figure 27 illustre cette démarche, cinq résultats sont trouvés contenant les mots-clés en anglais « *gas; liquid; coalescence; cyclone; separator* ». En particulier, le brevet [CN202052637](#) [Figure 27 (a)] utilise une technique hybride de centrifugation et de chute gravitaire pour séparer les gouttes de liquide du flux gazeux. On remarque que les mots « gravité et collision » de notre base n'ont pas été utilisés et que seuls les mots « coalescence et cyclone » ont suffi pour le trouver.

Si maintenant nous prenons le cinquième brevet de la Figure 27 (b) ([US4154972](#)), il n'a pas été trouvé dans les 1,052 brevets qui incluent le mot-clé cyclone (recherche effectuée à partir du moteur de recherche de la base des brevets). Le concept est hybride, un cyclone et des électrodes à haute tension électrique pour favoriser la coalescence.

Ces brevets ont été considérés pertinents, leurs données sauvegardées grâce à l'extension de récupération introduite au début de ce chapitre. La Figure 26 illustre la récupération et le remplissage de la grille lors de l'analyse initiale du résumé du brevet US4154972.

The screenshot displays a web application interface for patent analysis. The main window is titled 'Pertinent Patent Input Data' and contains several sections:

- Pertinent Patent General Data:**
 - Patent Database:** Espacenet - Bibliographic data
 - Title:** Apparatus and procedure for reduction of metal oxides
 - Patent and Date:** US4154972 (A) - 1979 05 15
 - Patent:** US4154972 (A)
 - Applicant:** TETRONICS RES DEV CO LTD [GB]
 - Summary:** In a plasma reactor for reducing stable oxides, particularly alumina, oxide and carbon in particle form are allowed to descend through an upper plasma zone in which there is a precessive plasma column, into a lower collection zone, which has one or more gas outlets leading from a central region of its floor and a peripheral collection trough. The precessive plasma column imparts a rotational movement to descending
- Pertinent Patent Input Data:**
 - Physical Phenomenon 1:** Coalescence
 - Related Technology 1:** Electrodes
 - Physical Phenomenon 2:** Liquid inertia / Rotation
 - Related Technology 2:** Cyclone
 - Physical Phenomenon 3:**
 - Related Technology 3:**
 - REMARKS:** High tension, Liquid metal sprays

Below the main window, a smaller window titled 'Claims URL' and 'Patent Picture URL' displays a technical drawing of a plasma reactor. The drawing shows a cross-section of a cylindrical reactor with a central column and a peripheral collection trough. A 'SAVE PATENT' button is visible at the bottom of this window.

Figure 26 Exemple de récupération de brevet et remplissage de la grille d'analyse

Base de données de mots-clés

KEYWORD DATABASE											
Noun			Verb / Adjective		Physical Phenomena		Technological Systems		Type	Company	Complement
N1	N2	N3			PP1	PP2	T1	T2	(Singular/Plural)		
GAS	LIQUID				CENTRIFUGAL		CYCLONE	PLATES	SEPARATOR	TOTAL	OFFSHORE
					COALESCENCE		HYDROCYCLONE	BLADES	DEVICE	PETROBRAS	DEEP OFFSHORE
							HELICES		APPARATUS	CANADIAN OIL	DEEPS SEA

Recherche avec nouveaux mots-clés

Lancer la Recherche (Anglais)

Objets (Interchangeable)	Verb / Adjective	Phénomène	Forme (Combinaison)	Type	Entreprise	Spécification
GAS	LIQUID	COALESCENCE	CYCLONE	SEPARATOR		

Result list

5 results found in the Worldwide database for:
((txt = GAS and txt = LIQUID) and txt = COALESCENCE) and txt = CYCLONE) and txt = SEPARATOR using Smart search

Inventor:	Applicant:	CPC:	IPC:	Publication info:	Priority date:
1. Three-phase separator applicable to gas-oil-water separation of onshore oil field	WANG RUI ZHAO YAN	UNIV CHINA PETROLEUM	IPC: B01D17/022 B01D17/028 B01D19/00	Publication info: CN203724817 (U) 2014-07-23	Priority date: 2014-02-18
2. Gas-liquid separator	BAOZHEN SHI	QINGDAO JINGRUN PETROCHEMICAL DESIGN & RES INST CO LTD	IPC: B01D50/00	Publication info: CN102489101 (A) 2012-06-13 CN102489101 (B) 2013-12-25	Priority date: 2011-12-23
3. Multi-tube cyclone separator for natural gas purification	JIANJUN WANG FENGYUN YANG (+3)	UNIV CHINA PETROLEUM	IPC: B04C3/00	Publication info: CN202238348 (U) 2012-05-30	Priority date: 2011-04-19
4. Cyclone separator at front of moisture compressor in production process of natural gas	YUHONG XIE SONG HUANG (+6)	BEIJING OIL HBP GROUP ZHANJIANG BRANCH CHINA NAT OFFSHORE OIL CORP	IPC: B04C9/00 C10L3/10	Publication info: CN202052637 (U) 2011-11-30	Priority date: 2011-03-11
5. Apparatus and procedure for reduction of metal oxides	TYLKO JOZEF K (+6)	TETRONICS RES & DEV CO LTD [GB]	CPC: C22B4/005 H05H1/26 IPC: B01J19/08 C01B33/02 C01B33/021 (+6)	Publication info: US4154972 (A) 1979-05-15	Priority date: 1976-08-27

Abstract of CN202052637 (U)

The utility model discloses a cyclone separator at the front of a moisture compressor in the production process of natural gas, which is equipment for separating liquid drops and dust particles in the natural gas by mainly utilizing the centrifugal force and the action of gravity, collision and coalescence. A blade type mist catcher is arranged at an equipment intermitting gas annular cross-section, which is a separating device consisting of multi-layer folded blades with wings which are distributed along the peripheral direction of a barrel body, the length being about a quarter of the circumference of the barrel body; and the cyclone separation section adopts a guide vane type cyclone separation process, cyclones are distributed on the periphery in a multi-circle manner, and the resistance drop value of the cyclones is reduced gradually from inside to outside. The distribution of the cyclones in the cyclone separator adopts an in rotation, i.e., a cyclone of a leftward-rotating rightward-rotating guide vane. The quantity of that of the rightward-rotating cyclones. In the cyclone separator, the traditional device mainly utilizes the cyclone

...Separating liquid drops and dust particles in the natural gas by mainly utilizing the centrifugal force and the action of gravity, collision and coalescence...

Nouveaux mots-clés trouvés

(a)

Base de données de mots-clés

KEYWORD DATABASE											
Noun			Verb / Adjective		Physical Phenomena		Technological Systems		Type	Company	Complement
N1	N2	N3			PP1	PP2	T1	T2	(Singular/Plural)		
GAS	LIQUID				CENTRIFUGAL		CYCLONE	PLATES	SEPARATOR	TOTAL	OFFSHORE
					COALESCENCE		HYDROCYCLONE	BLADES	DEVICE	PETROBRAS	DEEP OFFSHORE
							HELICES		APPARATUS	CANADIAN OIL	DEEPS SEA

Recherche avec nouveaux mots-clés

Lancer la Recherche (Anglais)

Objets (Interchangeable)	Verb / Adjective	Phénomène	Forme (Combinaison)	Type	Entreprise	Spécification
GAS	LIQUID	COALESCENCE	CYCLONE	SEPARATOR		

Result list

5 results found in the Worldwide database for:
((txt = GAS and txt = LIQUID) and txt = COALESCENCE) and txt = CYCLONE) and txt = SEPARATOR using Smart search

Inventor:	Applicant:	CPC:	IPC:	Publication info:	Priority date:
1. Three-phase separator applicable to gas-oil-water separation of onshore oil field	WANG RUI ZHAO YAN	UNIV CHINA PETROLEUM	IPC: B01D17/022 B01D17/028 B01D19/00	Publication info: CN203724817 (U) 2014-07-23	Priority date: 2014-02-18
2. Gas-liquid separator	BAOZHEN SHI	QINGDAO JINGRUN PETROCHEMICAL DESIGN & RES INST CO LTD	IPC: B01D50/00	Publication info: CN102489101 (A) 2012-06-13 CN102489101 (B) 2013-12-25	Priority date: 2011-12-23
3. Multi-tube cyclone separator for natural gas purification	JIANJUN WANG FENGYUN YANG (+3)	UNIV CHINA PETROLEUM	IPC: B04C3/00	Publication info: CN202238348 (U) 2012-05-30	Priority date: 2011-04-19
4. Cyclone separator at front of moisture compressor in production process of natural gas	YUHONG XIE SONG HUANG (+6)	BEIJING OIL HBP GROUP ZHANJIANG BRANCH CHINA NAT OFFSHORE OIL CORP	IPC: B04C9/00 C10L3/10	Publication info: CN202052637 (U) 2011-11-30	Priority date: 2011-03-11
5. Apparatus and procedure for reduction of metal oxides	TYLKO JOZEF K (+6)	TETRONICS RES & DEV CO LTD [GB]	CPC: C22B4/005 H05H1/26 IPC: B01J19/08 C01B33/02 C01B33/021 (+6)	Publication info: US4154972 (A) 1979-05-15	Priority date: 1976-08-27

Abstract of US4154972 (A)

In a plasma reactor for reducing oxides, particularly alumina, oxides, carbon in particle form are allowed to descend through an upper plasma zone in which there is a precessing plasma column, into a lower collection zone, which has one or more gas outlets leading from a central region of its floor and a peripheral collection trough. The precessing plasma column imparts a rotational movement to descending particles so that solid or liquid droplets are separated from evolved carbon monoxide in the collection zone in the manner of a cyclone separator. High tension electrodes and/or liquid metal sprays may be provided to assist coalescence of fine droplets in the collection zone.

...un séparateur à cyclone... et des électrodes à haute tension... peuvent être prévus pour faciliter la coalescence des fines gouttelettes dans la zone de collecte.

Concept Hybride

(b)

Figure 27 Exemple d'application, recherche et analyse par l'exploitation de nouveaux mots-clés. (a) Analyse du brevet CN202052637 (Yuhong et al. 2011) ; (b) Analyse du brevet US4154972 (Jozef-K 1979)

Une nouvelle recherche avec seulement trois mots clés « gas ; liquid ; coalescence » aboutit à 213 brevets. Les premiers résultats ont été analysés, par exemple, le vingt-

huitième brevet (CN202666475) utilise des moyens de résonance à haute fréquence pour réaliser la coalescence.

KEYWORD DATABASE

Noun		Verb / Adjective	Physical Phenomena		Technological Systems		Type	Company	Complement
N1	N2	N3	PP1	PP2	T1	T2	(Singular/Plural)	TOTAL	DEEP OFFSHORE
GAS	LIQUID		CENTRIFUGAL		CYCLOCONE	BLADES	SEPARATOR	PETROBRAS	DEEP OFFSHORE
			COALESCENCE		RELICES		APPARATUS	CANADIAN OIL	DEEPS SEA

Base de données de mots-clés

Recherche avec nouveaux mots-clés

Lancer la Recherche (Anglais)

Objets (Interchangeable)	Verbs / Adjective	Phénomène	Forme (Combination)	Type	Entreprise	Spécification
GAS	LIQUID	COALESCENCE				

EspaceNet

Result list

Approximately 213 results found in the Worldwide database for:
(txt = gas and txt = liquid) and txt = coalescence using Smart search

26. Wellhead portable liquid trap

Inventor:	Applicant:	CPC:	IPC:	Publication info:	Priority date:
LIU ZHANLIANG LIU YI (+3)	PETROCHINA CO LTD		B01D50/00 E21B43/34	CN202900230 (U) 2013-04-24	2011-11-11

27. Treatment device for light oil deodorizing caustic sludge

Inventor:	Applicant:	CPC:	IPC:	Publication info:	Priority date:
LIU JIAHAI YU WEI (+10)	PETROLEUM & CHEMICAL NINGBO ZHONGYI PETROCHEMICAL TECHNOLOGY CO LTD		C10G53/12	CN202744500 (U) 2013-02-20	2012-05-05

28. High-frequency resonance induction coalescence oil-gas-water remover

Inventor:	Applicant:	CPC:	IPC:	Publication info:	Priority date:
SUN ZHIYING CHEN HAIJUN (+10)	SHENGLI OILFIELD SHENGLI EXPLORATION & DESIGN RES INST CO LTD SHANDONG SAIRUI PETROLEUM TECHNOLOGY DEV CO LTD		B01D17/04 B01D17/06	CN202666475 (U) 2013-01-16	2012-06-06

29. Coalescence type natural gas filter

Inventor:	Applicant:	CPC:	IPC:	Publication info:	Priority date:
TAO JINLONG QIAN WEIDA (+1)	SHANGHAI FLORENTINI CHANGSHU PRESSURE VESSEL MANUFACTURE CO LTD		B01D48/00 C10L3/10	CN102872659 (A) 2013-01-16 CN102872659 (B) 2014-05-14	2012-09-29

Abstract of CN202666475 (U)

A high-frequency resonance induction coalescence oil-gas-water remover is mainly composed of a remover shell, an oil-gas-water mixed liquid inlet, an oil-gas predissociation barrel, a radio frequency admittance oil-water interface detector, a self-reliance type regulating valve and a float level adjuster. By means of the high-frequency resonance induction technique, the left of a remover oil-water predissociation chamber is provided with a resonance induction coalescence module composed of resonance coalescence pipes and spiral electrodes in combined mode, the resonance coalescence pipes and the spiral electrodes are in mutual insulation, the spiral electrodes wound on the outer walls of the resonance coalescence pipes are connected in parallel, a capacitor and a high-frequency power supply are arranged outside the shell, and the spiral electrodes, the capacitor and the high-frequency power form a series resonance circuit through the spiral electrodes (inductor) and the capacitor. When added frequency achieves inherent resonance frequency, the voltage on the spiral electrodes achieves a maximum value. By means of high-speed alternating of the frequency, resonance current produces a transient strengthened magnetic field in the resonance coalescence pipes, two ends of an emulsified oil drop produce induction voltage to enable the oil drop to produce polarization deformation, dipole coalescence occurs under the action of the electromagnetic field, and oil-water separation of high water content complex crude oil is achieved.

Extracteur de huile-gaz-eau par coalescence au moyen d'induction à haute fréquence de résonance...

Concept Innovant

Figure 28 Exemple d'application, recherche et analyse par l'exploitation de nouveaux mots-clés - Analyse du brevet CN202666475 (Sun et al. 2013)

Nous voyons donc que le mot-clé coalescence nous a amené à de nouveaux champs de recherche, à la récupération des autres mots clés technologiques, et à la découverte de systèmes hybrides. Cette phase de recherche et d'analyse montre l'intérêt de la méthode.

3.9.5 Base de mots clés complète

Les résultats précédents sont issus d'une première itération, l'analyse de plusieurs brevets en suivant la même démarche a augmenté la base de données des mots clés. Nous avons intégré tous les mots clés jusqu'ici récupérés, i.e. les mots clés initiaux, les technologies trouvées, les mots physiques, les techniques associées... Une version partielle est illustrée sur la Figure 29. Cette base est issue de plusieurs itérations et de plusieurs analyses de brevets.

Database of Keywords...						
BASE DE DONNEES DES MOTS-CLES						
Generation de la phrase						
Fonctionne Principale: Separer le liquide du gaz						
Convertisseur (Optionnelle):						
Substantif	Verbe / Adjectif / Adverbe	Phénomènes Physiques	Systèmes Technologiques	Type (Singulier/ Pluriel)	Entreprise	Complément
NN	VB / JJ / RB	PP	TC	T	E	C
Example	Example	Example	Example	Example	Example	Example
PETROLEUM	SEPARATING	GRAVITY	CYCLONE	SEPARATOR	PHILIPS PETROLEUM	OFFSHORE
OIL	STRATIFYING	CENTRIFUGAL	PLATE	SEPARATORS	SHELL	ONSHORE
LIQUID	DEGASIFIER	SHOCK	PLATES	APPARATUS	PETROBRAS	WELL
FLUID	USE	FALL	HYDROCYCLONE	DEVICE	BRITISH PETROLEUM	DEEP OFFSHORE
FLUIDS	RECOVERER	COALESCENCE	VANE	METHOD	FMC	UNDERWATER
GAS	ROTARY	RESIDENCE TIME	VANES	ELIMINATOR	TOTAL	SUBSEA
GASEOUS	ENHANCED	VORTEX	FIN	PROCESS	CHEVRON	OFFSHORE PLATFORM
GAS	RECOVERY	SWIRL	FINS	UNIT	PEMEX	DEEP
HYDROCARBON	TREATING	INERTIA	BAFFLE	SYSTEM	MOBIL OIL CORPORATION	
MIXTURE	COMBINING	IMPACT	BAFFLES	TYPE	CHINA NAT OFFSHORE OIL CORP	
MULTI PHASE	CONTROLLING	VIBRATION	TUBE	CHAMBER	CHINA PETROLEUM	
SLUG	SEPARATION	ROTATION	TUBES	PRODUCTION	CANADIAN OIL	
FLOW	SEPARATE	FLOTATION	TRAY	VERTICAL	EXXON	
SAND		ELECTROSTATIC	TRAYS	HORIZONTAL	ESSO RESEARCH	
CRUDE		COALESCER	PIPE		BEIJING BRIGHT PETROLEUM	
FOAMING		DYNAMIC	PIPELINES		BEIJING OIL HBP SCIENCE	
WATER		INCLINATION	INLET			
THREE PHASE		DECOHESION	TANK			
DROP		FREQUENCY	HELIX			
BUBBLE		AMPLITUDE	DUCT			
		RESONANCE	AXIAL			
		DECANTATION	SATELLITE			
		SEDIMENTATION	PILE			
		STATIC				

REMARQUES:

- 1) Minuscules ou en majuscules donnent le même résultat.
- 2) Si vous changez le sens de la recherche, le résultat sera le même.
- 3) Il ya une différence si vous changez entre le singulier et le pluriel.
- 4) Changer la première lettre en majuscule et le rest en minuscule, et vice versa, changera le résultat. **(NON RECOMMANDE)**
- 5) Pour de meilleurs résultats, la recherche est en anglais.
- 6) Recherche sur Espacenet

RECHERCHE DES
BREVETS
(CLIQUEZ ICI)

Figure 29 Base de données de mots clés complète: Séparateur bi-phasique

3.9.6 Matrice des découvertes complète

Plus de 200 brevets ont été analysés, environ 50 brevets ont été considérés pertinents puis classés dans la matrice des découvertes. Les informations liées à chaque brevet (description, année, compagnie,...) ont été récupérées de façon automatique dans une grille de lecture qui est accessible depuis la matrice. Un code de couleur indique un second degré interne de pertinence de brevet (utile, susceptible d'être utile et pas utile).

Ce deuxième degré de pertinence des brevets classés a été défini selon plusieurs critères en relation avec les contraintes antérieurement citées. Par exemple, dans la phase de récupération de la connaissance certains brevets ont été considérés pertinents à partir du résumé. Les techniques et phénomènes physiques sélectionnés sont ensuite utilisés dans la matrice des découvertes pour classer les brevets. Dans une deuxième analyse, certains brevets seront confrontés à différentes contraintes, dans ce cas d'étude, le transitoire, les hydrates,.... Ce deuxième filtre permet de détacher les brevets les plus pertinents dans le contexte de l'étude actuelle.

En résumé, différents types de séparation bi-phasique ont été repérés parmi les brevets analysés, i.e. gaz/liquide, liquide/gaz, liquide/liquide, liquide/solide,... Les principales technologies trouvées concernent des hélices, des cyclones, des hydrocyclones, des plateaux, des déflecteurs, des T-jonction, des réservoirs, des cuves,... Plusieurs phénomènes physiques sont identifiés : Archimède, chute, choc, coalescence, diffusion, gradient thermique,...

La Figure 30 et la Figure 31 montrent les matrices des découvertes pour la séparation bi-phasique, cas Liquide/Gaz et cas Gaz/Liquide. Sur la première (flux gazeux prédominant) nous apercevons des tendances bien définies vers l'utilisation de systèmes à plateaux, de chicanes, de déflecteurs, elles sont liées à l'utilisation de chocs et de chutes. Plusieurs

systèmes cycloniques ont été identifiés par le phénomène physique de centrifugation, un point d'arrêt a été identifié concernant ce binôme (PP et T). A cause de la redondance des résultats, plusieurs brevets à cyclone ne sont plus classés. Très peu de brevets ont été trouvés pour les technologies à hélices et à T-jonction. Nous remarquons que les mots clés hélices et coalescence ne donnent pas de résultats (cellule vide). A priori, il sera opportun de rechercher les solutions possibles dans cette direction. Les autres cellules vides sont des concepts inexistantes ou non trouvés, des travaux d'innovation sont donc envisageables.

Sur la seconde matrice (flux liquide prédominant), on discerne une répartition plus homogène des brevets pour chaque phénomène physique et technologie. Les phénomènes d'inertie (en translation), coalescence et collision sont une très faible occurrence des brevets trouvés mais ils attirent particulièrement notre attention à cause des techniques innovantes appliquées pour réaliser la séparation bi-phasique.

En analysant les matrices des découvertes, des premières pistes émergent. Dans la prochaine phase, le reclassement des brevets pertinents dans la matrice sera utilisé pour en déduire des opportunités d'évolution.

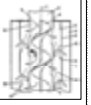
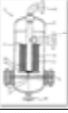
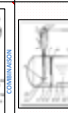
DISCOVERY MATRIX																
Type	BYPHASIC SEPARATION															
	Liquid / Gas															
Relevant Physical parameters	Dynamic (ρ, γ and compactness) (v regard to E_c)															
Physical phenomena	Diffusion	Collision/impact		Coalescence				Deflection							Thermal gradient	
By Technology	Pressure gradient	In the direction of flow	Perpendicular to the flow	Demister				Vibration	Centrifugal							Condensation
Pitch helices / Spiral / Helical Section																1998
Cyclone/Hydrocyclone /Venturi /Cone cylinder ("Rotary")																
Walls / Baffles / deflectors / Blades / Trays / Vanes / channels / Tube ("Inclined / circumferential / Labyrinth / snail shell / Guidance / Curved / turn staircase / helical / spiral / Vertical")																2001
		2001				2005	2012	2000		1995	2012	2010	1973	1993		
Miscellaneous / Combination ("heat exchanger / Electrostatic (electrodes) / T-Junction / Chemical Agent")																
																1973
Container / Reservoir / Tank																

Figure 30 Matrice des découvertes des séparateurs bi-phasiques (flux de gaz prédominant) (Vert - utile, orange - peut être utile, rouge - pas utile, blanc - pas défini).

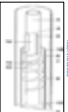
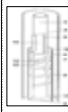
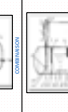
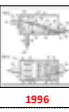
DISCOVERY MATRIX																			
BYPHASIC SEPARATION																			
Type	Gas / Liquid																		
Relevant Physical parameters	Static (ρ)							Dynamic (ρ, γ and compactness)											
Physical phenomena	Archimedes							Liquid inertia										Drop	Collision
Technology	By							Traslation	Rotation										Vibration
Pitch helices / Spiral / Helical Section									 2006	 2004	 2002	 1988	 1978						
Cyclone/Hydrocyclone /Venturi /Cone cylinder ("Rotary")								 2012								 2009			
Walls / Baffles / deflectors / Blades / Trays / Vanes / channels / Tube ("Inclined / circumferential / Labyrinth / snail shell / Guidance / Curved / turn staircase / helical / spiral / Vertical")							 1996											 2012	
Miscellaneous / Combination ("heat exchanger / Electrostatic (electrodes) / T-Junction / Chemical Agent")	 2012	 2006	 2002	 1924															
Container / Reservoir / Tank																			

Figure 31 Matrice des découvertes des séparateurs bi-phasiques (flux de liquide prédominant) (Vert - utile, orange - peut être utile, rouge - pas utile, blanc - pas défini).

3.10 Livrables phase 2

La Figure 32 rappelle les livrables de l'application de la phase 2 et fournit un bref récapitulatif des concepts trouvés.

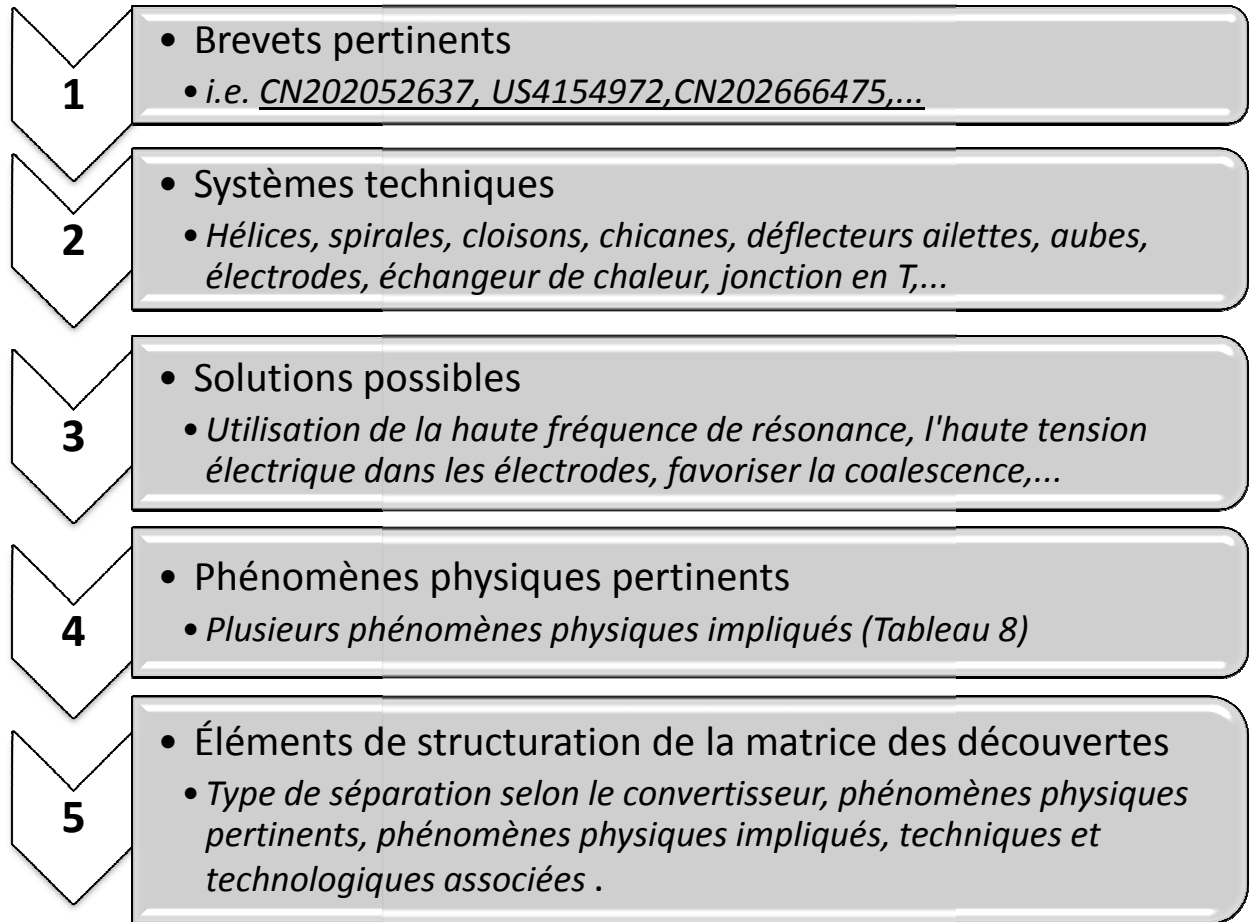


Figure 32 Liste de livrables de la phase 2 - Application

Tableau 9 Etat de la recherche complété par la phase 2 : fonctions, concepts, phénomènes physiques impliqués et paramètres physiques pertinents.

Fonction principale	Concept	Phénomène physique	Paramètre physique pertinent
Séparer le gaz et le liquide	Séparer le liquide et le gaz par gradient de pression	Diffusion	Gradient de Pression, viscosité
	Séparer le liquide et le gaz par impact	Collision	Vitesse, volume, masse volumique
	Séparer le liquide et le gaz par vibration	Coalescence (bulles)	Diamètre
	Séparer le liquide et le gaz par rotation	Dévation	Masse volumique, Vitesse de rotation
	Séparer le liquide et le gaz (vapeur) par condensation	Transfert de chaleur Condensation	Gradient de température, compacité
Séparer le liquide et le gaz	Séparer le liquide et le gaz par sédimentation	Archimède	Masse volumique
	Séparer le liquide et le gaz par rotation	Force centrifuge (gouttes)	Diamètre, vitesse ou vitesse de rotation, masse volumique
	Séparer le liquide et le gaz par translation	Inertie du liquide	Masse volumique, accélération
	Séparer le liquide et le gaz par vibration	Coalescence (gouttes)	Diamètre, vitesse
	Séparer le liquide et le gaz par impact	Chute et Choc	Vitesse, diamètre

3.11 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la phase deux de la méthode proposée. Globalement, cette phase cible une recherche exhaustive de brevets qui ont une bonne congruence avec la fonction principale et une analyse originale basée sur l'identification du flux énergétique de cette fonction par le moyen de la décomposition fonctionnelle et l'analyse physique. Les brevets considérés pertinents sont classés dans une matrice de découvertes préalablement définie, et qui sera ensuite exploitée dans la dernière phase (Chapitre 4). La Figure 33 récapitule les différentes sections générales traitées dans ce chapitre.

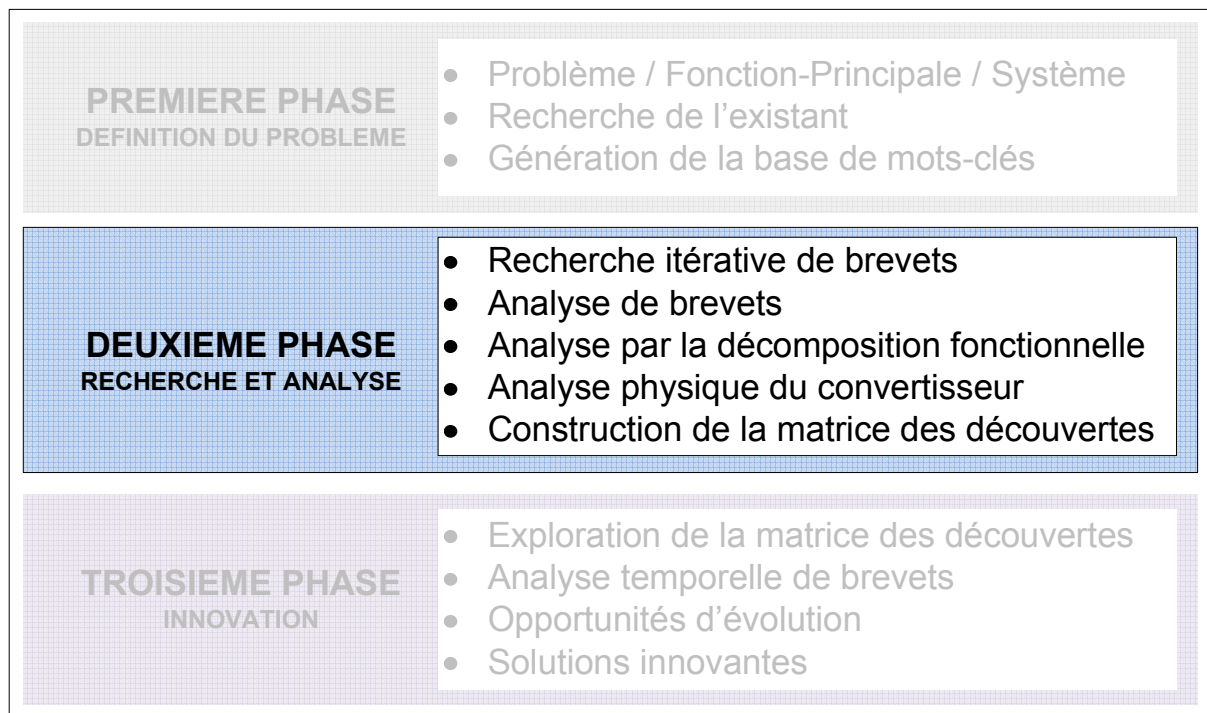


Figure 33 Méthode proposé en trois phases: Deuxième phase accomplie

Le synoptique de la Figure 34 illustre de façon spécifique les différents points clés pour améliorer la recherche et l'analyse de brevets. Premièrement, nous proposons l'exploitation de la base de mots clés pour la recherche de brevets pertinents. Cette base est complétée par les phénomènes physiques issus de la décomposition fonctionnelle et par les technologies retrouvées à chaque itération de recherche-analyse. Nous fournissons les moyens pour générer différentes requêtes en combinant les mots clés, ce qui permet, d'une part, d'enrichir les mots clés initiaux, et, d'autre part, d'arriver à des brevets pertinents en réduisant seulement le nombre des brevets à analyser et finalement d'augmenter le champ de recherche.

Deuxièmement, la méthode CTOC permet de décomposer la fonction principale en trois composants principaux, le convertisseur, le transmetteur et l'opérateur ; ce qui représente le juste nécessaire pour la réalisation de la fonction principale. Une analyse de l'acheminement du flux énergétique nous donne accès aux paramètres pertinents de la fonction. L'analyse physique du convertisseur nous donne accès aux paramètres physiques pertinents et aux phénomènes physiques impliqués. Nous fournissons une base de données des convertisseurs énergétiques, dans un premier temps, pour assister aux utilisateurs dans la tâche d'analyse du convertisseur, et dans un deuxième temps, pour faire évoluer le concept, ce qui sera traité ultérieurement dans les opportunités d'évolution.

Troisièmement, la matrice de découvertes a été définie par l'association de phénomènes physiques et technologies repérés dans les brevets analysés. Cette matrice nous permet de classer les brevets considérés initialement pertinents, et particulièrement, elle donne les premiers indices sur le point d'arrêt et la convergence de la méthode. Elle sera exploitée dans la troisième phase pour en déduire des opportunités d'évolution et dégager des solutions envisageables.

Finalement, nous avons continué avec le cas d'application, l'étude de la séparation de mélanges bi-phasiques en offshore profond, nous avons abondamment illustrés les éléments essentiels de chaque section.

Méthodologie

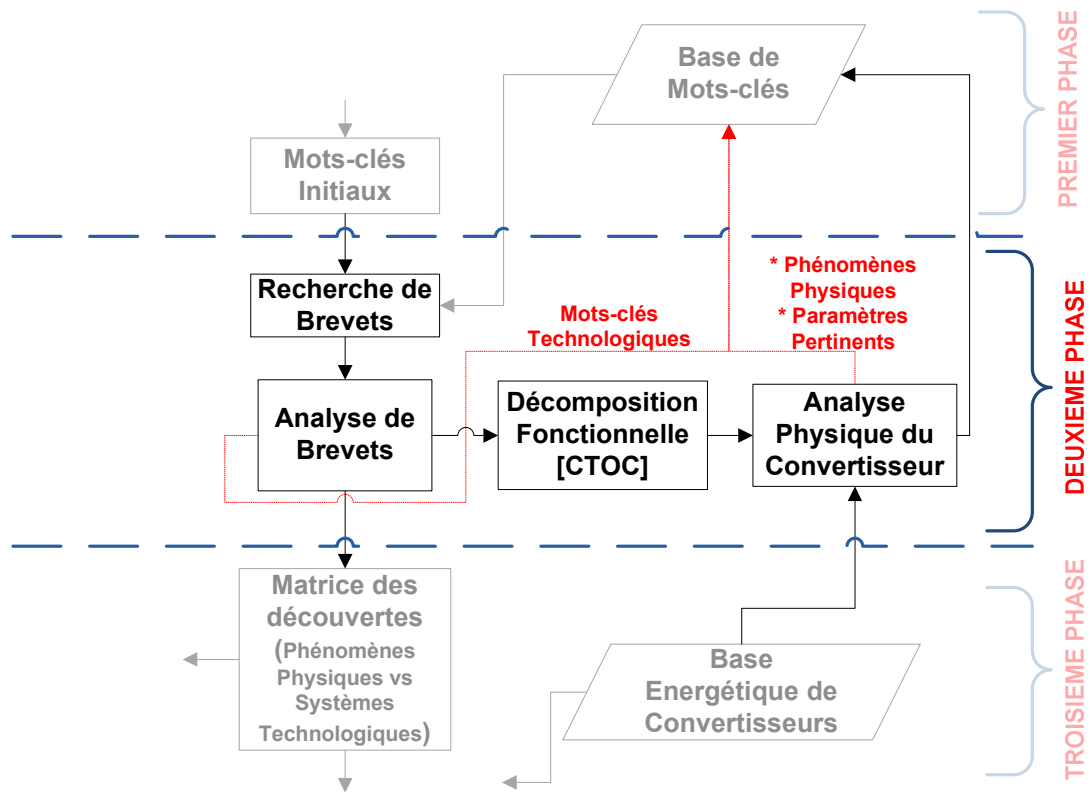


Figure 34 Synoptique de la méthode proposée – Deuxième Phase

Chapitre 4 Phase 3 – Innovation, Opportunités et Solutions

Ce chapitre est consacré à la phase finale de la méthodologie d'exploitation de brevets pour la résolution des problèmes complexes. Il est focalisé sur la recherche des opportunités d'évolution afin de rencontrer de solutions innovantes aux problèmes traités.

La matrice des découvertes définie et construite dans la phase précédente sera exploitée dans ce chapitre. Une analyse temporelle des brevets nous permet, en premier lieu, de visualiser les évolutions apparentes des brevets pertinents, en second lieu, d'analyser consciencieusement ces évolutions avec des lois objectives, des heuristiques de conception et de règles de l'art de l'ingénieur pour en déduire des tendances d'évolution des systèmes technologiques analysés.

Trois axes sont établis pour la recherche des opportunités d'évolution. Le premier axe concerne les cellules vides de la matrice des découvertes, autrement dit, les cellules non pourvues de la matrice constituent des zones d'innovation. Le deuxième axe considère une compilation de tendances d'évolution qui permettent de prévoir des sauts technologiques possibles. Finalement, le troisième axe exploite la base de données de convertisseurs énergétiques afin de changer le concept en changeant le convertisseur (et/ou l'opérateur si c'est un convertisseur).

Les différents axes et solutions éventuels sont illustrés par des pistes de résolution du cas d'application des séparateurs bi-phasiques en offshore profond.

Les livrables de cette phase sont constitués par les opportunités d'évolution et les solutions envisageables.

4.1 Exploitation de la matrice des découvertes

Dans la deuxième phase (Chapitre 3), nous avons introduit la matrice des découvertes comme un outil de classement de brevets pertinents selon les phénomènes physiques et technologies impliquées. Nous utilisons maintenant la matrice comme un moyen d'exploration de tendances d'évolution des inventions brevetées.

Les possibilités d'exploitation de la matrice sont variées, i.e. par date d'apparition, par phénomène physique impliqué, par technologie utilisée, par champ d'application,... La classification sélectionnée donne diverses informations aux utilisateurs, par exemple, la classification par phénomènes physiques fait apparaître les différents phénomènes utilisés par les inventions brevetées. Ce classement permet de percevoir les phénomènes physiques les plus ou les moins utilisés pour réaliser la fonction principale.

Dans le cadre de cette méthodologie, nous proposons une classification temporelle des brevets. Quand la matrice dispose d'assez d'éléments à analyser (convergence), nous la récupérons afin de réaliser une analyse approfondie qui nous donne les premières opportunités d'évolution pour arriver à des solutions innovantes.

4.1.1 Analyse temporelle des brevets

La matrice des découvertes nous permet de réaliser la classification temporelle des inventions pertinentes de façon automatique. La Figure 35 illustre de façon sommaire ce concept. Dans certains cas, la classification en ligne de temps permet de visualiser des changements technologiques évidents, i.e. évolution de la forme, ajout d'un ou plusieurs composants, division d'éléments du système,... Dans d'autres cas, les changements sont moins perceptibles, i.e. le changement d'une fréquence d'opération, l'amélioration du flux énergétique, l'ajout des matériaux, fibres, tissus,... Dans tous les cas, il est nécessaire d'utiliser une approche structurée d'identification des tendances technologiques afin d'estimer les prochains « sauts technologiques » des inventions brevetées.

Brevets Pertinents			
		PP1	... PPn
T1	Brevet 1	...	Brevet n
	Date <	...	< Date
	...	...	...
Tn	Brevet 1	...	Brevet n
	Date <	...	< Date

Figure 35: Concept de la classification temporelle de brevets (PP-Phénomènes Physiques ; T – Technologies associés)

Dans le Chapitre 1, Section 1.3.6, nous avons évoqué les travaux de plusieurs auteurs [(Yoon, Janghyeok, and Kim 2012), (Park et al. 2012), (Verhaegen et al. 2009),...] qui exploitent les brevets pour extraire des connaissances intéressantes pour la prévision technologique, l'identification technologique,... Leurs approches se basent sur les lois d'évolution de la théorie TRIZ, ou, particulièrement, sur la classification de tendances proposées par Darrell Mann (D. Mann 2002).

En suivant la même logique, dans les prochaines sections, nous étudions le classement temporel par une approche plus complète composée par des tendances d'évolution enrichies par des heuristiques de conception et des règles de l'art de l'ingénieur.

4.2 Opportunités d'évolution

L'objectif de l'analyse de la matrice des découvertes est, comme son nom l'indique, de découvrir et d'identifier toute possibilité d'innover dans la réalisation de la fonction principale à étudier. Nous avons établi trois différents axes pour trouver et exploiter les opportunités d'évolution des systèmes techniques. Le premier, concerne les cellules vides de la matrice des découvertes, le deuxième est basé sur les tendances d'évolution et le troisième axe est lié à la base de données des convertisseurs.

4.2.1 Axe 1 : Opportunités liées aux cellules vides de la matrice des découvertes

En regardant la matrice, certaines cellules sont vides. Dans ce cas, cela veut dire que le principe physique n'est pas utilisé dans les systèmes technologiques brevetés. Il s'agit alors de rechercher les raisons. Elles peuvent être de plusieurs types :

- La recherche n'est pas exhaustive,
- Le concept est dans le domaine public et n'a pas pu être breveté,
- Le concept n'a pas été breveté,
- Il peut y avoir inadéquation entre le phénomène physique et le concept technologique utilisé,
- Un verrou technologique doit être levé,
- Un verrou scientifique doit être levé.

Si un verrou scientifique existe, il doit être levé par des travaux de recherche.

Dans les derniers cas, les raisons doivent être recherchées. Elles peuvent concerner soit le système dans son fonctionnement, soit la réalisation pratique du système c'est-à-dire le procédé de fabrication. Lever ces verrous constitue le point de départ d'une évolution du système. A cette fin, on va faire appel aux méthodes de résolution de problèmes type TRIZ ou ceux que le laboratoire I2M-IMC a mis au point (Software MAL'IN [Pailhès and Nadeau 2007]).

4.2.2 Axe 2 : Opportunités issues des tendances d'évolution

Nous poursuivrons avec la matrice des découvertes précédemment ordonnée en ligne de temps de façon automatique. Chaque technologie placée par année sera soumise à une analyse des tendances d'évolution.

En prenant comme principe que les systèmes techniques obéissent à des tendances qui régissent leurs évolutions, nous avons compilé les lois d'évolution de la théorie TRIZ développées par Altshuller (Petrov 2002), des heuristiques de conception présentées par (Calle-Escobar et al. 2014) et des règles de l'art de l'ingénieur. Ces tendances nous permettent d'analyser, classer et définir les évolutions que vont suivre les principes classés dans la matrice des découvertes.

Nous partons du principe qu'en regardant les technologies passées, en suivant leur cheminement technique progressif et en se servant des bases de connaissances pertinentes, nous sommes en mesure d'en déduire les tendances objectives d'évolution d'une branche technologique donnée.

4.2.2.1 Lois d'évolution TRIZ

L'ingénieur et scientifique russe Genrich Saulovich Altshuller en ayant étudié plus de 40,000 brevets, développa des lois objectives qui décrivent les évolutions des systèmes techniques [(Altshuller 1984), (Altshuller 1994), (Altshuller and Seredinski 2004)]. Il s'est appuyé sur son observation, les analyses des brevets, ainsi que l'étude de l'existant (Savransky 2000).

Le Tableau 10 présente une description détaillée des différentes lois initialement décrites par (Salamatov 1996) ancien collègue d'Altshuller :

Tableau 10 Lois d'évolution de la Théorie TRIZ

LOIS DES SYSTEMES TECHNIQUES	
Loi d'intégralité du système :	La décomposition CTOC (Figure 19) est issue de cette loi, il s'agit de vérifier la complétude, des composants convertisseurs, transmetteur, opérateur et contrôle commande. Un flux fonctionnel énergétique assure la réalisation de l'action.
Loi de conductibilité énergétique	Il est nécessaire d'assurer la continuité du flux fonctionnel énergétique entre les éléments du système (libre passage énergétique entre composants).
Loi de coordination des rythmes	Les fréquences et périodicité de comportement des composants doivent concourir à un optimum global.
Loi d'augmentation du niveau de perfectionnement	Tout système tend d'abord à évoluer en augmentant sa complexité puis tend à se simplifier.
Loi de développement inégal des entités du système	Chaque entité a sa propre évolution, l'entité arrivée à son déclin bloque l'évolution du système (plus le système est complexe, plus le développement de ses entités sera inégal).
Loi de transition d'un macro-niveau vers un micro-niveau	Cette loi stipule l'évolution vers l'accroissement de l'utilisation de champs vers la nanotechnologie.
Loi de transition vers le super-système	Un système qui a atteint sa limite de développement va échanger des fonctionnalités avec les milieux environnants. L'évolution finale est l'intégration dans un des milieux environnants.
Loi de dynamisation et d'augmentation du niveau de contrôlabilité	Le système passe de statique à dynamique pour que l'on agisse sur lui, les champs énergétiques vont vers l'immatérialité pour améliorer leur contrôlabilité.
Loi d'augmentation du degré d'idéalité.	Le développement de tous les systèmes tend vers l'augmentation du degré d'idéalité (réduction de la masse, du volume, de la consommation énergétique,...).

Les lois ont été présentées initialement sous la forme de trois groupes, les lois statiques, cinématiques et dynamiques. Les lois nous permettent d'anticiper l'évolution d'un produit. Le département de recherche I2M-IMC a continué à travailler sur ces lois dans le cadre de la méthode MAL'IN. Nous préférons parler de tendances d'évolution en les complétant de règles de l'art de l'ingénieur et d'heuristiques de conception.

4.2.2.2 Heuristiques de conception

Le mot « heuristique » (du grec ancien *heurisko*) a été inventé par le philosophe français René Descartes. Ce qui signifie : *Qui sert à la découverte ou art de trouver, de découvrir*⁹⁷.

La méthode des heuristiques a été fondée et a trouvé une large expansion en l'ancienne URSS⁹⁸. Le professeur Alexander I. Polovinkin a choisi différentes heuristiques issues des meilleures pratiques de résolution de problèmes par les ingénieurs et concepteurs de machines de l'URSS (A. Polovinkin 1991). Les heuristiques ou les « règles de la décision », selon Polovinkin, contiennent de brèves prescriptions pour transformer un prototype ou dans quelle direction il faut chercher pour résoudre un problème donné. Elles fournissent une aide à la réflexion mais ne donnent pas la réponse. Ces heuristiques sont générales et sont publiées à destination de ses étudiants et des inventeurs/ingénieurs débutants (A. I. Polovinkin 1988).

Les divers ouvrages et exemples de Polovinkin sont difficiles à trouver, ils sont rédigés en russe ce qui empêche leur compréhension et application par le public international. Grâce aux efforts des auteurs contemporains les règles de Polovinkin ont été traduites en anglais (Savransky 2000) accompagnées par plusieurs exemples (Savransky, Carvalho, and Wei 2000) et traduites en français par (Scaravetti 2004). Nous avons traduit directement du russe certains passages des textes natifs (Annexe B).

Les fondements des heuristiques sont liés à des bases industrielles. Elles sont constituées par 180 règles, classées en 12 groupes (Tableau 11). Les règles sont généralistes, applicables aux machines, outils, appareils, technologies,...

⁹⁷ Source : <http://www.cnrtl.fr/>

⁹⁸ URSS est l'acronyme de : Union des Républiques Socialistes Soviétiques

Tableau 11 Le douze groupes de règles de Polovinkin (1988)

Groupe	Nom du groupe	Nombre d'heuristiques
1	La transformation de la forme	16
2	La transformation de la structure	19
3	Les transformations en espace	16
4	Les transformations en temps	8
5	La transformation du mouvement et la force	14
6	La transformation de la matière et les substances	23
7	La différenciation	12
8	Les changements quantitatifs	12
9	L'utilisation des mesures préventives	22
10	L'utilisation des réserves	13
11	Les transformations par analogie	9
12	L'augmentation de la facilité de fabrication	16

L'objectif de ces règles est de rendre plus efficace la résolution de problèmes en l'assistant par la réutilisation de l'expérience passée pour la génération de solutions aux nouveaux problèmes. Les règles jouent le rôle d'instructions explicites, c.à.d. les exemples qui représentent des solutions pour les problèmes passés agissent comme sources des descriptions pour d'autres problèmes.

Regardons quelques exemples (parmi plusieurs) décrits par Polovinkin où l'application des règles est pertinente et faisable :

- En ce qui concerne le groupe 8, les changements quantitatifs, la règle 8.1 stipule : Changer de façon spectaculaire (plusieurs fois, des dizaines de fois et des centaines de fois) le ou les paramètres de l'objet (ses éléments, l'environnement), i.e. le jet d'eau jusqu'à 10 MPa érode le sol. L'augmentation de la pression jusqu'à 100 MPa a permis de couper par jet d'eau la pierre et le métal.
- La lampe à arc a été inventée par l'inventeur russe Pavel Iablouchkov en 1875. Dans le système initial, il y avait deux tiges de charbon (disposées sur une ligne droite en face l'une de l'autre ou sous un angle) entre lesquelles se produisait un arc électrique. Pour maintenir cette arc il était nécessaire de les rapprocher jusqu'à une valeur (constante) déterminée pour assurer la combustion. Cette tâche était réalisée par un régulateur spécial automatique. Malgré son succès, dans la pratique, elle avait des défauts majeurs en raison de la complexité de régulateurs peu fiables qui ne permettaient pas la combustion des électrodes de façon uniforme. A l'époque, il fallait trouver une solution technique simple pour assurer la combustion correcte de la lampe à deux électrodes. Pour résoudre ce problème, Polovinkin propose d'utiliser les règles relatives aux transformations en espace (3.1⁹⁹, 3.4¹⁰⁰, 3.7¹⁰¹ et 3.9¹⁰²).

⁹⁹ Changer l'orientation traditionnelle de l'objet dans l'espace : D'une position horizontale à verticale ou inclinée, mettre sur le côté, tourner le bas vers le haut, tourner par rotation.

lablotchkov comprit alors que les électrodes devaient être placées à proximité parallèlement, séparées par des isolateurs consommables.

(Carvalho, Wei, and Savransky 2004) considèrent la théorie TRIZ et ses outils (les 40 principes inventifs, les 76 solutions standards Substance – Champ et ARIZ¹⁰³) comme une œuvre très riche mais inachevée, une méthodologie en cours d'amélioration qui peut être complétée pertinemment par les règles de Polovinkin. Ils présentent une version réduite de 121 heuristiques classées en huit groupes (les plus pertinentes dans le contexte de TRIZ), traduits, adaptés et illustrés par différents exemples issue de l'analyse de brevets. Ils introduisent les heuristiques comme des règles, des stratégies, des principes ou des méthodes pour augmenter l'efficacité dans la résolution des problèmes. Ils affirment que les heuristiques ne fournissent pas des réponses directes ou précises, ni garantissent des solutions aux problèmes. Néanmoins, elles fournissent une aide qui vise à faciliter la résolution des problèmes.

Des travaux plus récents menés par le département I2M-IMC (Calle-Escobar et al. 2014), exploitent les règles de Polovinkin dans le cadre de la résolution de problèmes. Les auteurs précisent que, historiquement, les problèmes sont généralement abordés soit par l'expérience de base et le savoir-faire des ingénieurs de conception, soit par des choix arbitraires provenant des dirigeants (ou des personnes clés) au sein d'une entreprise, ou par l'histoire de la société. Ils mettent en avant l'importance de ne pas permettre (a priori) aux choix de dicter les aspects architecturaux d'un produit. Les auteurs soulignent l'importance d'établir des règles de conception soutenues par la connaissance des nombreux acteurs pour guider les concepteurs au long de leur choix. Pour parvenir à cette fin, ils proposent la détermination des modèles qui peuvent être structurés sous la forme de stratégies de résolution de problèmes.

Les heuristiques font référence aux procédures ou aux approches qui permettent à un concepteur de parvenir à une solution pour un problème particulier. Ces règles sont issues de l'expérience et de l'observation plutôt que d'un processus exhaustif. Dans le cadre de la conception, elles font référence à des solutions techniques ou conceptuelles implémentées et qui ont été déjà éprouvées dans un autre domaine ou contexte. Selon les auteurs, les règles disposent d'un caractère global, du sens et d'un large spectre d'application.

Ils considèrent les 8 groupes proposés par (Carvalho, Wei, and Savransky 2004) et ils prennent en compte le neuvième groupe énoncé par (Savransky 2000).

¹⁰⁰ Changer le placement d'une ligne par plusieurs lignes ou par un plan. Et vice versa.

¹⁰¹ Passer d'un point de contact sur **un point** au point de contact sur **une ligne**; d'un contact sur **une ligne** vers le contact sur **une surface**; du contact sur **une surface** vers **le volume** (le spatial). Et vice versa.

¹⁰² Approcher les organes de travail de l'objet à l'emplacement de la zone d'exécution/opération sans déplacer l'objet (ou sous objets).

¹⁰³ ARIZ est l'acronyme russe de : « Алгоритм решения изобретательских задач »; traduit en français par : « Algorithme de Résolution des Problèmes Inventifs ».

Tableau 12 Les neuf groupes de règles de Polovinkin ; (Carvalho, Wei, and Savransky 2004) et (Savransky 2000)

Groupe	Nom du groupe
1	Transformation de la forme
2	Transformation des structures
3	Transformation dans l'espace
4	Transformation dans le temps
5	Transformation des mouvements et des actions mécaniques
6	Transformation des matériaux
7	Ressources différentielles
8	Modifications quantitatives
9	Transformations liées aux tendances évolutives

Les heuristiques développées par le département I2M-IMC (Calle-Escobar et al. 2014) sont ainsi basées sur TRIZ (loi d'évolution, principes d'innovation, solutions standard), sur les règles de Polovinkin, sur les règles de l'art de l'ingénieur et ont été validées par différentes études du laboratoire.

Pour expliquer la construction d'un groupe d'heuristiques, nous montrons comment construire les heuristiques de modification d'un composant (*Tableau 13, Tableau 14, Tableau 15*). La modification d'un composant peut être locale, globale ou par adaptation de ce composant.

- Le premier départ de branche (modification locale) permet de résoudre le problème à l'endroit où il se pose. Le principe d'innovation 3 (TRIZ, qualité locale) est utilisé avec la proposition de localisation d'une fonction. L'introduction de substance locale est directement liée à la classe 1 (et bien sûr aussi la classe 5) des solutions standard de TRIZ.
- Le concepteur utilise, pour un problème lié à des couplages des phénomènes physiques, des techniques classiques de découplage qui font intervenir un principe très connu, le principe de segmentation. C'est pourquoi, dans la branche A2 (*Tableau 13*), nous proposons de segmenter successivement la structure globale puis les composants et enfin les flux internes. Les niveaux suivants de la branche A2 concernent des typologies de segmentation. Ces heuristiques sont le fruit des principes d'innovation (1, 3, 7, 17, 24, 26, 30, 40), de la tendance d'évolution 6 (bi et polysystèmes), des solutions standard 223 et 226 et aussi des sciences de l'ingénieur.

Tableau 13 Branche 1 de l'heuristique A

A. Modifier des composants	
A.1. Localement	
A.1.1.	En localisant les actions
A.1.2.	En introduisant une substance (localement)

Tableau 14 Branche 2 de l'heuristique A

A. Modifier des composants	
A.1. Localement	
.....	
A.2. Globalement	
A.2.1.	En segmentant la structure des composants
A.2.1.1.	En couches vers les multi couches
A.2.1.2.	En éléments identiques, en éléments creux (tubes, alvéoles). En les interpénétrant, et en dissociant leurs fonctions (multi matériaux)
A.2.1.3.	Jusqu'à des milieux poreux et l'introduction du vide
A.2.2.	En segmentant les composants
A.2.2.1.	Par division en composants démontables, indépendants, modulaires, fragmentables ou adaptables (abradable ou autocicatrisant)
A.2.2.2.	En composants indépendants de plus en plus petits (solide à billes, poudre, particules)
A.2.2.3.	En composants identiques pour augmenter l'efficacité
A.2.2.4.	En composants différents à fonctions identiques, à fonctions différentes, à fonctions inverses ou opposées
A.2.2.5.	Pour les faire évoluer d'homogènes à hétérogènes (ou inversement)
A.2.2.6.	En composants à fonctions indépendantes optimisées et/ou conditionnelles (selon situation de vie, selon ressources disponibles)
A.2.2.7.	En composants à caractéristiques opposées (isolant / conducteur, rigide / déformable, magnétique/ amagnétique)
A.2.3.	En segmentant les flux
A.2.3.1.	En introduisant un flux intermédiaire permanent ou non permanent (selon situation de vie, selon ressources disponibles)
A.2.3.2.	Virtuellement (vision infrarouge, ultraviolet, comportement vibratoire, sonore...) ou en utilisant l'image, le reflet pour un changement d'échelle
A.2.3.3.	En passant d'un contact plan (champ mécanique uniforme) à des contacts ponctuels (champ mécanique discret) (ou inversement).
A.2.3.4.	En passant d'un système déformable à un système rigide par modification du comportement des composants, de flexion à traction + compression (treillis), puis traction ou compression seules (précontrainte) (ou inversement)

Tableau 15 Branche 3 de l'heuristique A

A. Modifier des composants	
A.1. Localement	
A.2. Globalement	
A.3. En adaptant des composants	
A.3.1. Par évolution des flux	
A.3.1.1. En dynamisant le composant	
A.3.1.1.1.	Par passage d'un système rigide à un système articulé (une articulation, deux articulations, n articulations), à un système flexible/déformable, à un système fluide (liquide, gaz), à un système à champs contrôlés (ou inversement)
A.3.1.1.2.	Par passage d'un système rigide à un système déformable par modification du comportement des composants, de traction ou compression seules (précontrainte) à traction + compression (treillis) puis à flexion (ou inversement)
A.3.1.2. En coordonnant les rythmes	
A.3.1.2.1.	Par couplage en phase, en opposition de phase, en résonance accordée ou en compensation
A.3.1.2.2.	Par transformation d'une action continue en une action périodique ou pulsée (ou inversement)
A.3.1.2.3.	Par modification de la fréquence ou de l'amplitude d'une action ou d'une énergie périodique
A.3.1.2.4.	Par accroissement de la fréquence de vibration jusqu'aux fréquences ultrasonores
A.3.1.3. En modifiant les mouvements entre composants	
A.3.1.3.1.	Par substitution d'un mouvement rectiligne par un mouvement de rotation (ou inversement)
A.3.1.3.2.	Par introduction de mouvements internes
A.3.1.3.3.	En remplaçant le glissement par du roulement (ou inversement)
A.3.1.3.4.	Afin de ne pas lutter contre la gravité (ou les effets centrifuges) ou d'utiliser la gravité (ou les effets centrifuges)
A.3.1.4. Suivant la logique MATHEM d'évolution des champs	
A.3.1.4.1.	Par remplacement (ou superposition) d'un flux mécanique par un autre flux de type mécanique: thermique, chimique, optique, acoustique...
A.3.1.4.2.	Par utilisation (ou superposition) d'un champ magnétique, électrique ou électromagnétique
A.3.1.4.3.	Par évolution des champs de stationnaire à dynamique, de constant à variable, d'aléatoire à structuré (ou inversement)
A.3.1.5. Pour réduire les déformations	
A.3.1.5.1.	Par passage d'un système déformable à un système rigide par modification du comportement des composants, de flexion à traction + compression (treillis), puis traction ou compression seules (précontrainte) (ou inversement)
A.3.2. Par évolution des matériaux	
A.3.2.1. Vers une uniformisation ou une diversification	
A.3.2.2. Vers des matériaux poreux (imbibés ou chargés) puis des multi matériaux	
A.3.2.3. En utilisant des revêtements à propriétés différentes	
A.3.2.4. De rigides à déformables (ou inversement)	
A.3.2.5. De coûteux à bon marché (ou inversement)	
A.3.2.6. En utilisant leurs propriétés différentielles (isotropes, anisotropes)	
A.3.2.7. Suivant leurs états (Solide/liquide/gaz/vide)	
A.3.2.8. En changeant de phase	
A.3.2.9. En superposant des champs pour modifier leurs caractéristiques	
A.3.2.10. Vers des matériaux à propriétés changeantes dans le temps	
A.3.3. Par évolution de la forme	
A.3.3.1. En changeant de dimension spatiale de 1D à 2D jusqu'à 3D (ou inversement)	
A.3.3.1.1.	Suivant l'évolution : linéaire, circulaire, spiralée (ou inversement)
A.3.3.1.2.	Suivant l'évolution : linéaire, plan, courbe (ou inversement)
A.3.3.2. Dans une vision alternative	
A.3.3.2.1.	Symétrique/asymétrique
A.3.3.2.2.	Convexe/concave
A.3.3.3. Adaptée aux matériaux	
A.3.3.3.1.	Selon les sollicitations mécaniques subies
A.3.3.3.2.	Selon la fabrication ou l'industrialisation
A.3.3.3.3.	Pour être cohérent avec l'utilisation d'un revêtement
A.3.3.3.4.	Par l'utilisation de mémoire de forme
A.3.3.4. Optimisée selon les critères du CdCF	
A.3.3.4.1.	La masse
A.3.3.4.2.	L'encombrement
A.3.3.4.3.	Le coût
A.3.3.4.4.	Les sollicitations, ...

Dans le cadre des travaux menés par le laboratoire I2M-IMC, les heuristiques de conception sont au nombre de 78. Leur regroupement constitue un arbre de choix dont un extrait est proposé Figure 36.

Ces heuristiques s'expriment sous la forme de stratégies de résolution de problèmes formulées par une phrase construite à partir d'une analyse cause/effets réalisée par le concepteur (Calle-Escobar et al. 2014).

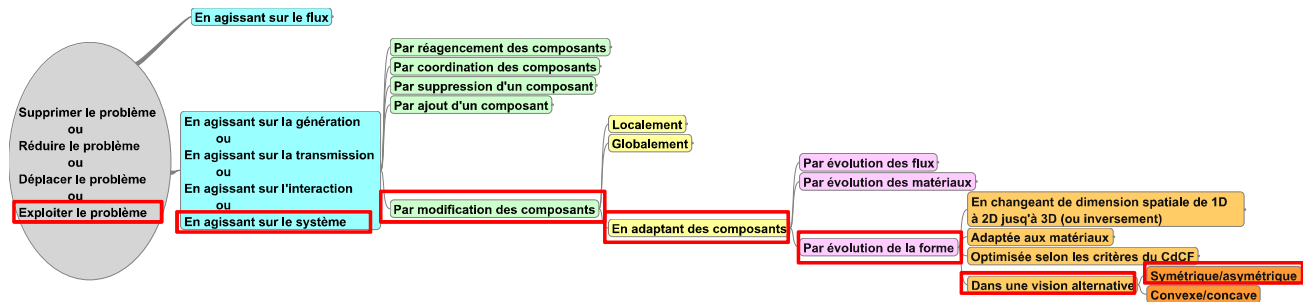


Figure 36 Représentation d'une branche des heuristiques.

Une succession de choix dans l'arborescence est ainsi réalisée par l'utilisateur des heuristiques. Par exemple, selon la branche Figure 36, les orientations pour lesquelles le concepteur pourrait opter lui fourniraient la phrase suivante:

- « Réduire le problème en agissant sur le système par modification des composants, en les adaptant par évolution de la forme dans une vision alternative symétrique / asymétrique »

Le concepteur doit alors interpréter cette phrase explicite, dans le contexte de conception, afin d'exprimer des solutions.

Afin de souligner l'importance de ces règles et sa complémentarité dans les activités de conception, il convient d'insister qu'elles complètent les différentes approches existantes. Une comparaison entre les principes inventifs TRIZ et les règles de Polovinkin réalisée par (Savransky and Wei 2001), révèle que moins d'un tiers des 121 heuristiques comparés sont liés directement aux principes inventifs TRIZ, cela veut dire que, le reste des heuristiques enrichit ces principes. Ensuite, en ce qui concerne les règles de l'art de l'ingénieur (Section 4.2.2.3), les heuristiques décrivent des constatations prouvées alors que les règles de l'art de l'ingénieur ont un fondement physique.

Dans le cadre de cette thèse, nous intégrons les heuristiques de conception dans nos tendances d'évolution présentées sous la forme de fiches (Section 4.2.2.4).

4.2.2.3 Règles de l'art de l'ingénieur

L'ingénieur à travers plusieurs années de formation académique, des années d'expérience dans les entreprises et des techniques apprises au cours de sa carrière, a acquis un savoir-faire particulier que nous appelons les « règles de l'art ».

Nos tendances d'évolution intègrent différentes pratiques professionnelles de plusieurs corps métiers, des standards utilisés, ainsi que des travaux de recherche et des acquis de la pratique du laboratoire I2M-IMC, font partie de la base de connaissance qui nous permet de trouver des solutions standardisées pour la conception ou solution de nouveaux problèmes.

Pour illustrer certaines règles de l'art, considérons de manière très générale, les travaux menés conjointement entre le département IMC et la société Galtenco concernant la conception d'une nouvelle génération de réservoirs à pression pour l'industrie pétrolière.

(Martinez 2014) introduit divers concepts pour concevoir un système soumis à une pression extérieure (ou chargement extérieur). Pour modéliser le problème, il définit un réservoir de pression en deux zones, une zone contrainte et une zone non-contrainte. C'est la zone contrainte qui subit les efforts extérieurs et les liaisons à la référence (sol par exemple) et la zone non-contrainte reçoit les systèmes techniques ou sert de stockage. Dans ce contexte, il souligne l'importance de comprendre comment diriger les flux mécanique et les manières d'absorber les énergies de déformation.

Il utilise divers règles de l'ingénieur de la base de connaissances du laboratoire, voici quelques exemples:

- Diriger le flux mécanique
 - a. Réaliser des structures par barres travaillant en traction ou compression (type treillis), les interactions doivent avoir un comportement de liaison pivot,
 - b. Réaliser des structures d'arrêt et répartir les efforts à partir de voussoirs qui arcbutent en étant comprimés,
 - c. Réaliser des zones granulaires pour répartir les efforts localement,
 - d. Réaliser des structures tendues,
 - e.
- Réaliser une structure déformable localement pour absorber les énergies de déformation et rigide globalement pour la stabilité,
- Favoriser le comportement en traction ou compression pour des structures rigides et le comportement en flexion pour des zones déformables,
-

Le Tableau 16 présente une adaptation de plusieurs règles issue des travaux de Martinez. Il concerne divers systèmes/technologiques utilisés comme source d'inspiration pour la conception d'une nouvelle génération de réservoirs à pression en offshore profond (ils peuvent être extrapolés vers d'autres problèmes). Nous portons un intérêt particulier aux règles de conception, certaines d'entre elles sont incluses dans nos tendances d'évolution.

Tableau 16 Extrait des règles de conception liées à la conception des réservoirs à pression [adaptation des travaux de (Martinez 2014)]

Domain / Corps Métier	Système / Objet / Produit	Application / Conditions	Propriétés	Règle de Conception	Remarques
Industrie Aérospatiale et la Défense	Céramiques	Soumise à des contraintes élevées (thermiques et mécaniques)	Nature fragile, propriétés réfractaires, résistance à la compression, dureté.	Pour contrôler le comportement fragile des céramiques, les précontraindre et/ou les confiner	Application a d'autres domaines
Génie Civil	Voussoirs ¹⁰⁴ / d'autres éléments de construction modulaire	Avant : Arches des cathédrales, constructions de ponts, tunnels... Actuellement : Canalisations, réservoirs a pression, chambres de combustion,...	Composant discontinu au niveau microscopique, forme géométrique généralement trapézoïdale ou rectangulaire, normalement en béton,...	Pour assurer la stabilité des éléments de construction modulaire, mettre en place un chargement extérieur qui provoque l'arc-boutement entre composants.	Technique ancienne transposable à d'autres champs d'application
Industrie Offshore et Nucléaire	Réservoir en béton armé	Initialement appliqué dans le génie civil	Le béton présente une nature fragile.	Placer des barres d'aciers pour éviter les cisaillements, les précontraindre pour augmenter les performances	Solution simple et économique, tendances vers coques de confinement et structures multicouches
Exploration des eaux ultra profondes	Sous-marin céramique	Operations ultra profonds (11,000 mètres)	Céramique nature fragile, remplacement des métaux comme éléments structurels (acier et titan)	Pour éviter les contraintes de flexion, séparer en plusieurs pièces et introduire des mobilités	L'utilisation des liens mécaniques, permet une certaine mobilité (semi pivot) entre pièces pour réduire le niveau de contrainte.
Militaire	Sacs de sable ¹⁰⁵	Avant : Constructions de défense, bunkers, fortifications... Actuellement : Constructions civiles	Composant discontinu au niveau microscopique et macroscopique, ils ne possèdent pas un comportement élastique-linéaire, faible tenue face à la contrainte tangentielle	Placer des fibres pour éviter les cisaillements.	Technique de construction rapide et économique
Réservoirs à Pression	Raidisseurs	Systèmes soumis à une pression extérieure	Raidisseurs internes, externes, rigides ou déformables, tubes, bandes, sandwich, maillés, nid-d'abeilles, en matériaux composites, en acier,...	Segmentation du Flux Mécanique.	Augmentation de la résistance structurelle (en limitant les déformations), amélioration du comportement face au flambage, contrôle de la distribution de contrainte le long de la structure.
Armures	Armure céramique	Eléments soumis aux impacts, applications de protection,...	Dureté, matériaux sintérisé ou en poudre, parfois liés chimiquement aux métaux, plastiques ou a des composites.	Pour contrôler le comportement fragile des céramiques, les précontraindre et/ou les confiner	La microstructure des céramiques a une forte influence dans le comportement mécanique

¹⁰⁴ Aussi connu en anglais comme : « Segmented Arc »¹⁰⁵ Aussi connu en anglais comme : « Sandbags ou Earthbags »

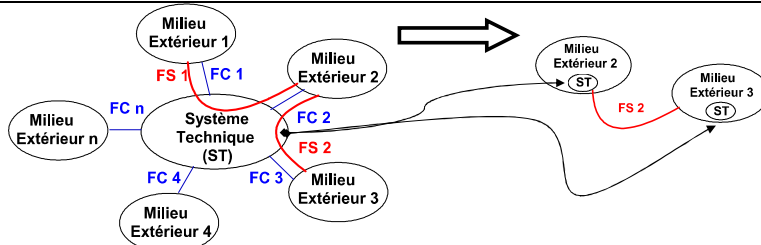
4.2.2.4 Fiches des tendances d'évolution

Nous avons créé huit fiches des tendances d'évolution qui incluent les lois de la théorie TRIZ, les heuristiques et les règles de l'art précédemment citées. Elles seront de grande utilité pour faire évoluer les différentes technologies trouvées et classées en ligne de temps dans la phase d'analyse de brevets de la matrice des découvertes. Le Tableau 17 récapitule et donne une description détaillée des huit groupes.

Tableau 17 Description de groupes des tendances d'évolution proposées

T	Nom	Description
1	SCTOC (Source – Convertisseurs – Transmetteur – Operateur – Contrôle / Commande)	La réalisation d'une fonction impose une source d'énergie (interne/externe). Cette énergie est convertie (Convertisseur), transmise (Transmetteur), et utilisée pour réaliser l'action (Opérateur). Une entité de Contrôle/Commande permet d'assurer la réalisation correcte de la fonction principale.
2	Conductivité énergétique	Un bon système doit assurer de manière efficace le libre passage du flux énergétique à travers les composants SCTOC.
3	Coordination des rythmes	La condition préalable à l'évolution d'un système technique est la mise en concordance ou en discordance volontaire de la fréquence, oscillations, vibrations, périodicité, résonance de toutes les parties du système technique
4	Augmentation du niveau de perfectionnement	Tout système évolue en augmentant sa complexité et doit ensuite se simplifier
5	Développement inégal des entités	Chaque entité du système à sa propre évolution (développement non uniforme des éléments du système). Plus l'évolution des entités est inégale, plus le système devient complexe. Une entité qui arrive à son apogée bloque l'évolution du système. La réduction de la complexité va se faire en résolvant les contradictions techniques et physiques créées.
6	Transition vers les milieux extérieurs	L'évolution d'un système va vers l'élimination du non demandé pour garder le juste nécessaire. L'élimination du non demandé

conduira à éliminer des milieux extérieurs. A la fin du processus le produit initial est absorbé par les deux derniers milieux extérieurs impliqués dans la fonction principale. Des évolutions intermédiaires peuvent exister par échange de fonctionnalités avec les milieux extérieurs.



7	Transition d'un macro-niveau vers un micro-niveau	Une fois qu'une entité opérationnelle ne peut plus être améliorée au macro-niveau, il est encore possible de la faire évoluer au micro-niveau. La notion de macro niveau et de micro niveau est directement liée au niveau structurel observé (solide, granulés, poudre, gel, liquide, brouillards, champs, molécules, atomes, ions, électrons...). Cette loi conduit à l'accroissement de l'emploi de champs immatériels qui viennent remplacer les entités matérielles.
8	Augmentation du dynamisme et du niveau de contrôlabilité	Pour développer ou augmenter l'efficacité d'un système, ces entités doivent évoluer de statiques à dynamiques (mobiles) pour accroître leur contrôlabilité. Différentes étapes d'évolution sont possibles : Les entités non contrôlables deviennent contrôlables, les champs mécaniques sont remplacés par des champs électromagnétiques, les entités deviennent compatibles entre elles. Généralement, l'évolution du système tend vers une diminution de l'intervention humaine.

Pour illustrer nos tendances, prenons la fiche concernant la tendance 4 (Figure 37 et Figure 38). L'augmentation du niveau de perfectionnement établit que tout système évolue en augmentant sa complexité et doit ensuite se simplifier. Cette tendance est illustrée avec les différentes situations de vie d'un système technique depuis sa naissance jusqu'à son déclin.

Dans cette fiche, les heuristiques de conception et les règles métiers élargissent le niveau de détail de l'analyse de la tendance d'évolution, ce qui nous permet d'avoir une vision plus précise des évolutions possibles du système technique.

La courbe en « S » de la Figure 37 est analysée de la façon suivante, la première partie constitue la naissance du produit, c'est-à-dire la création du noyau fonctionnel, puis le produit doit évoluer pour accéder à de nouveaux marchés. A cette fin, il doit se complexifier pour acquérir de nouvelles fonctions. Puis, pour garder ses marchés, il doit se simplifier. La fiche définit les différents stades et possibilités de solutions.

Le début de l'évolution est un accroissement de la complexité car le système doit devenir multifonctions tout en évitant les effets nuisibles. La réalisation de nouvelles fonctions va ajouter des sous-systèmes auxiliaires (T4.1.2). L'ajout de sous-systèmes auxiliaires (T4.1.3)

est nécessaire pour réaliser une fonction manquante tout en évitant les effets nuisibles (TRIZ). Ces actions vont conduire ensuite à la mise en place de niveaux hiérarchiques et, naturellement, on va s'aider des méthodes de segmentation. Les heuristiques I2M-IMC déjà écrites (et décrites Section 4.2.2.2) vont alors venir compléter l'analyse de tendance en sériant la segmentation de la structure des composants, la segmentation des composants ou celle des flux. Le raffinement des différentes possibilités de segmentation est emprunté aux règles de l'art. On en vient à la simplification (T4.2) qui va alors réduire la complexité en éliminant des composants ou en les réduisant au micro-niveau. Les premiers concernés sont les composants d'interaction que l'on doit réduire, standardiser puis éliminer. Puis les composants fonctionnels, après s'être segmentés dans la première phase, doivent se recombinaer ou s'éliminer pour garder le juste nécessaire. Enfin, la réduction finale consiste à rechercher des solutions au micro-niveau en utilisant les nouveaux matériaux qui intègrent déjà des possibilités fonctionnelles.

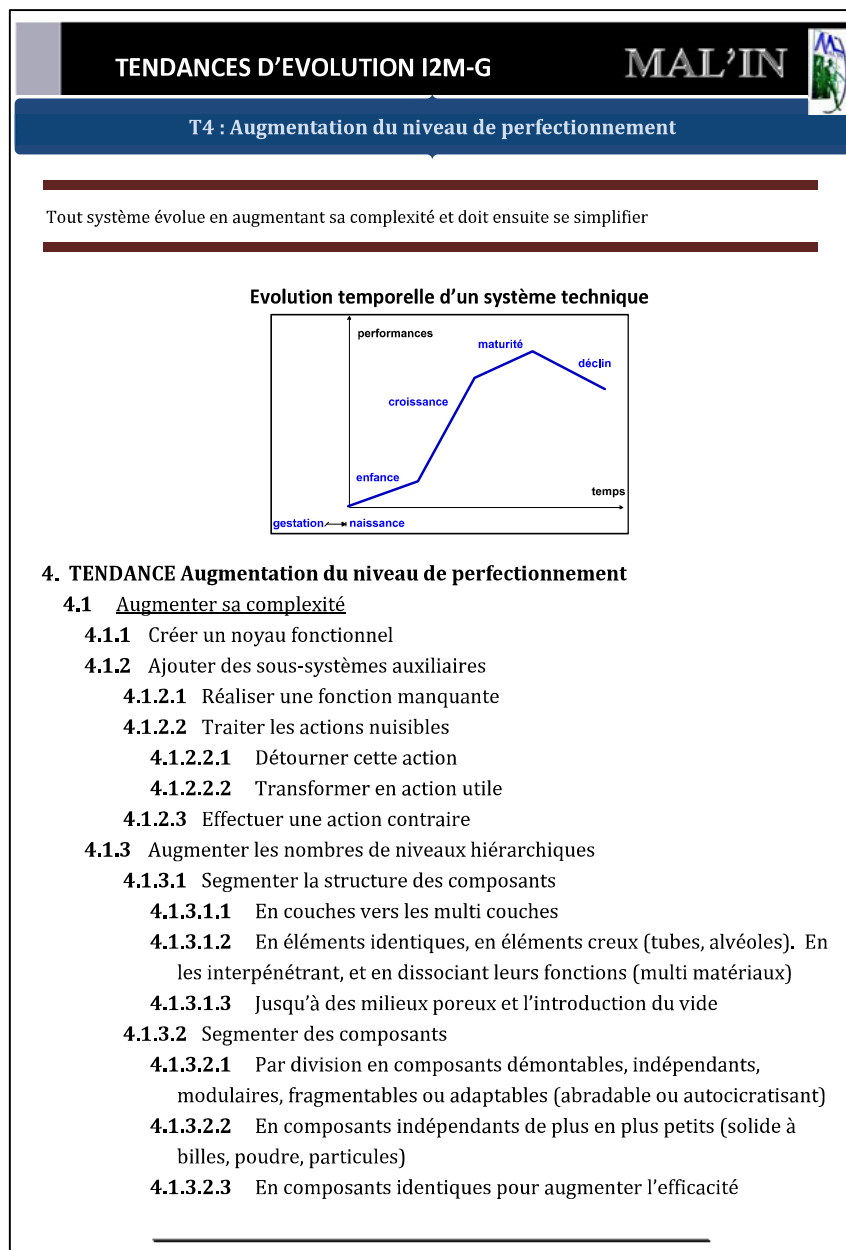


Figure 37 Tendance d'évolution T4

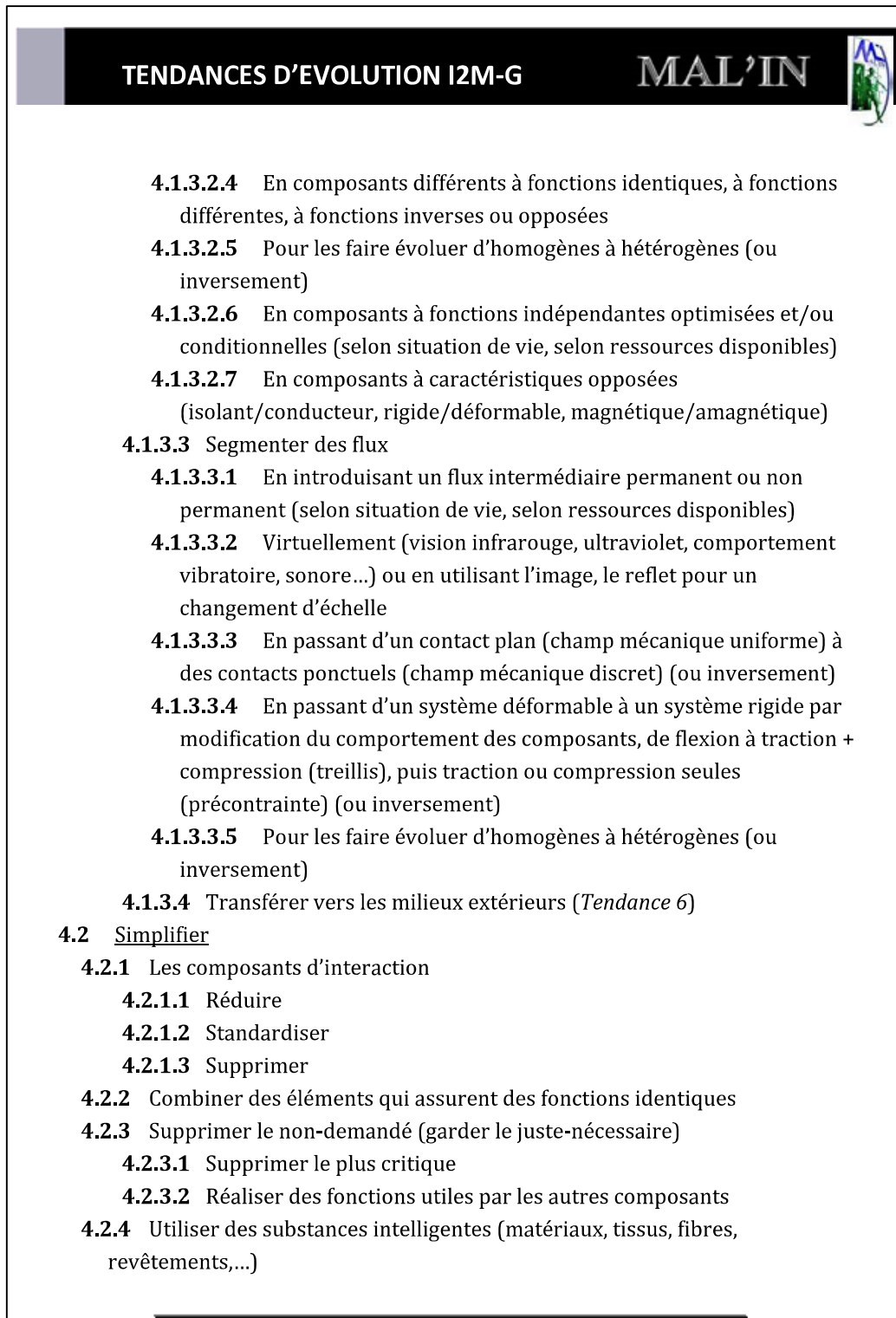


Figure 38 Tendance d'évolution T4 (continuation)

Les cartes des tendances d'évolution sont utiles pour évaluer l'évolution technologique suivis par les systèmes techniques trouvés dans les brevets pertinents. Afin de faciliter leur utilisation par les concepteurs, les fiches sont intégrées à un outil interactif (Chapitre 5) qui permet de parcourir plus efficacement les différentes tendances.

Les sept fiches restantes sont incluses dans la section d'annexes (Annexe A). Concernant le cas d'application de séparateurs bi-phasiques, l'utilité de ces tendances d'évolution sera mise en évidence lors de l'analyse des brevets pertinents classés en ligne de temps.

4.2.3 Axe 3 : Opportunités par le changement de convertisseur énergétique

Dans le chapitre 3, nous avons présenté un extrait de la base de données des effets physiques reliant une énergie d'entrée à une énergie de sortie. Cette base précise tous les effets physiques que l'on peut utiliser pour convertir une énergie d'entrée de sortie différente. Nous avons aussi évoqué que, dans un premier temps, la base nous permet d'aider à la phase d'analyse physique du convertisseur, afin de trouver les effets physiques impliqués dans son fonctionnement. Dans un deuxième temps, elle nous permet de sélectionner un nouvel effet physique pour proposer un convertisseur différent qui va constituer un nouveau concept et ainsi de trouver des solutions dans d'autres champs de recherche.

La pertinence et l'utilité de cette base est mise en évidence dans le cas d'application de la Section 4.4.2.1 où elle est utilisée pour trouver de nouveaux concepts dans le cadre de la séparation bi-phasique.

4.3 Solutions innovantes

L'utilisation des trois axes d'évolution évoqués ci-avant permet de faire émerger de nouvelles solutions. Idéalement, les opportunités d'évolution rencontrées seront transformées en solution innovante. Il s'agit alors de les hiérarchiser ou de les hybrider, c'est-à-dire d'associer plusieurs concepts pour la même solution.

4.4 Application au séparateur bi-phasique

Cette section finalise le cas d'application du champ pétrolier mené dans les deux dernières phases. Nous exploitons les trois axes des opportunités d'évolution pour dégager les premières pistes d'innovation et les premières solutions.

4.4.1 L'évolution temporelle des brevets pertinents

La matrice des découvertes peut être maintenant exploitée.

La Figure 39 montre un classement temporel de l'utilisation de certains phénomènes physiques (i.e. déplacement inertiel,...) utilisés dans différents séparateurs bi-phasiques. Cet extrait permet de s'apercevoir de l'efficacité du concept physique utilisé dans différents types de séparation : Gaz/Liquide, Liquide /Gaz, Liquide /Liquide). Cependant, ce classement n'est pas intéressant pour une analyse d'évolution, il est nécessaire de sérier aussi par les concepts technologiques globaux.

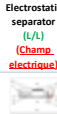
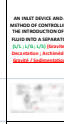
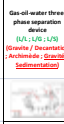
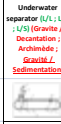
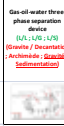
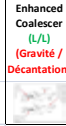
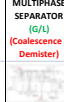
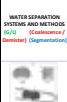
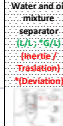
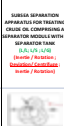
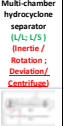
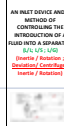
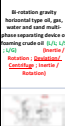
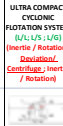
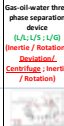
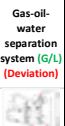
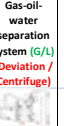
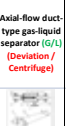
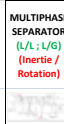
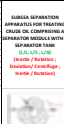
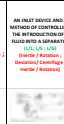
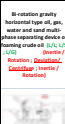
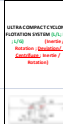
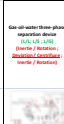
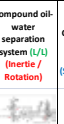
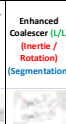
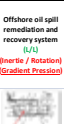
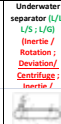
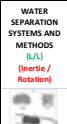
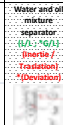
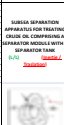
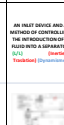
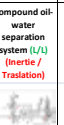
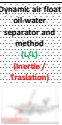
Type	Evolution de l'existant dans la separation des hydrocarbures dans l'offshore																	
Année	1973	1981	1984	1987	1989	1991	2000	2002	2003	2004	2005	2008	2010	2011			2012	
Champ électrique																		
Gradient thermique / Condensation																		
Archimède																		
Gravité / Décantation																		
Choc																		
Coalescence																		
Deviation																		
Inertie / Rotation																		
Inertie / Traslation																		
Année	1973	1981	1984	1987	1989	1991	2000	2002	2003	2004	2005	2008	2010	2011			2012	

Figure 39 Extrait de classement temporel par phénomène physique (entre 1973 et 2012)

La Figure 40 montre les différents brevets pertinents ordonnés maintenant selon leur date d'apparition et leurs technologies associées. Ce classement, permet par simple observation (et une analyse sommaire), de percevoir les différents changements technologiques suivis par les systèmes de séparation bi-phasiques, soit :

- Les cuves de décantation. Dans notre classement, nous observons à partir de 1973 des systèmes déjà utilisés dans le fonds marins avec des échangeurs de chaleur pour contrôler les thermiques des fluides (GB1309826). En 2003, nous continuons avec des systèmes gravitaires qui s'hybrident vers des systèmes utilisant d'autres séparateurs pour gérer le sable entraîné (hydrocyclones) (WO03078793). Jusqu'à 2012 nous voyons un changement de forme mais aussi l'introduction d'éléments à l'intérieur de cuves de décantation pour améliorer leurs performances (US2012000643).
- Les cyclones et hydrocyclones. En 1987, apparaît un système rotatif (type vortex) pour la séparation de gouttes d'huile à partir d'eau (US4702837). En 2000, nous avons des systèmes hybrides à base de cyclones et d'autres composants (i.e. électrodes) (WO0074810). En 2004, plusieurs hydrocyclones sont utilisés en parallèle pour optimiser le procès de séparation (EP1393812). Puis, en 2011 les systèmes à hydrocyclones (en série ou en parallèle) intègrent des agents chimiques (US2011042288). En général, nous observons l'utilisation de systèmes cycloniques en aval d'autres systèmes de séparation.

Nous réalisons une analyse plus structurée avec nos tendances d'évolution dans la prochaine section pour les systèmes à pales, plateaux, ailettes... et pour les systèmes hélicoïdaux afin de dégager les premières opportunités d'évolution.

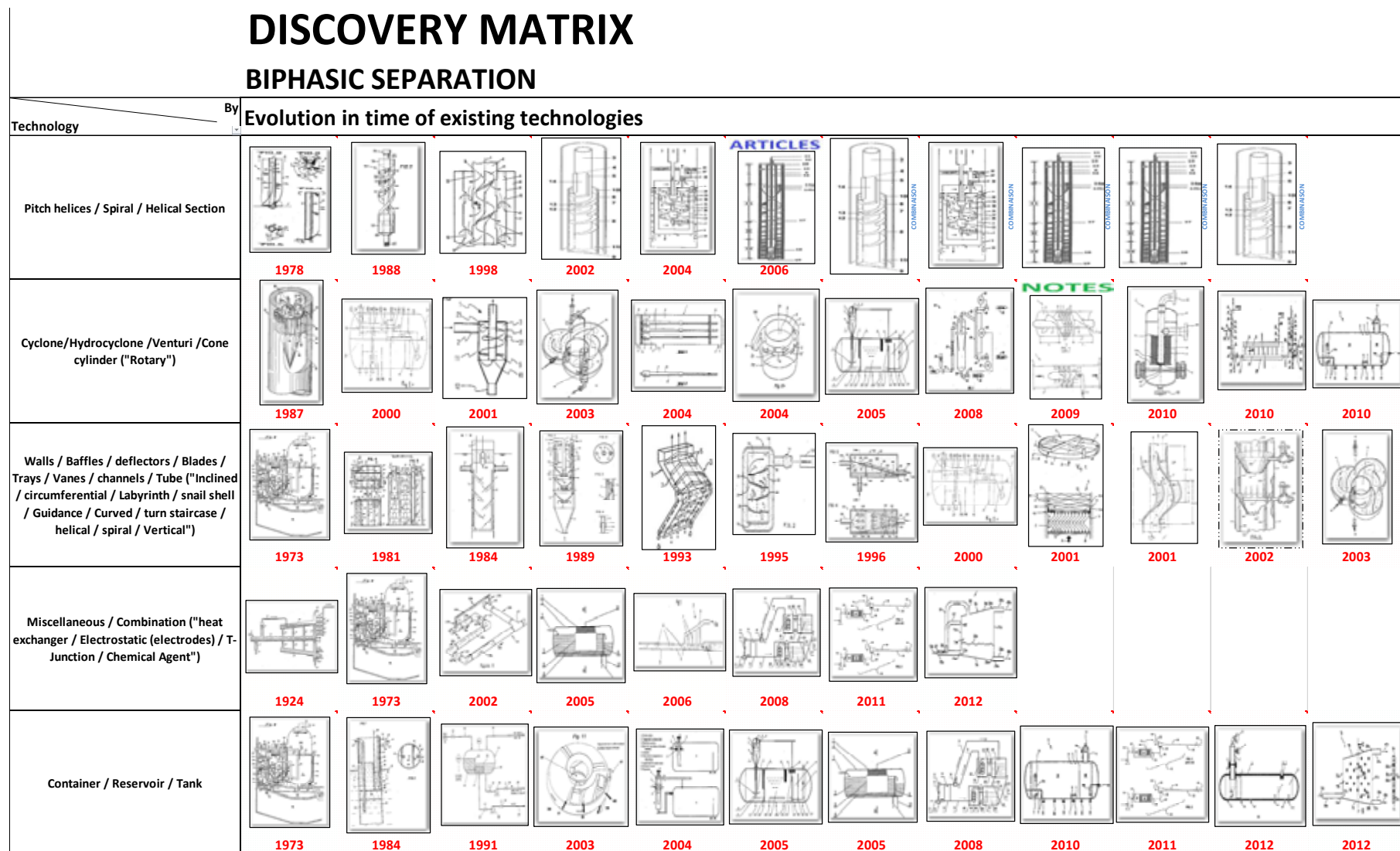


Figure 40 L'évolution temporelle des technologies de séparation bi-phasique (Vert - utile, orange - peut être utile, rouge - pas utile, blanc - pas défini).

4.4.2 A la recherche des opportunités d'évolution - application des trois axes

4.4.2.1 Exemple d'application du premier axe

Une analyse de cellules vides de la matrice (Figure 41) montre qu'aucun brevet reliant le phénomène physique de coalescence à des techniques comme des électrodes, des T-jonctions, des agents chimiques,... n'a pas été trouvé (ou identifié directement dans une première analyse).

	DISCOVERY MATRIX				
Type	BYPHASIC SEPARATION				
	Gas / Liquid				
Relevant Physical parameters	Dynamic (ρ, γ and compactness) (v regard to E_c)				
Physical phenomena	Coalescence				
Technology	By	Demister			Vibration
Heat Exchanger					
T-Junction					
Electrodes					
Chemical Agent					

Figure 41 Exemple de cellules vides de la matrice des découvertes

Nous rappelons les différents cas d'analyse des cases vides :

- La recherche n'est pas exhaustive,
- Le concept est dans le domaine public,
- Le concept n'a pas été breveté,
- Il peut y avoir inadéquation entre le phénomène physique et le concept technologique utilisé,
- Un verrou technologique doit être levé,
- Un verrou scientifique doit être levé.

(1) Echangeur de chaleur

La combinaison avec un échangeur de chaleur qui permet de fluidifier les liquides est une piste intéressante. Le chauffage est intéressant car il va éviter la formation des bouchons d'hydrates.

(2) Jonction en T (« T-Junction »)

Dans notre état de l'art du problème nous avons constaté deux grands axes pour la séparation bi-phasique dans les installations sous-marines : la séparation par gravité et la séparation par centrifugation. Dans les années 1970 un troisième axe a été observé, la séparation par les systèmes à jonction en T (Figure 42). Ils suscitaient un grand intérêt pour les ingénieurs pétroliers, des nombreux systèmes à jonction ont été utilisés dans les vastes réseaux de pipelines en offshore pour la séparation bi-phasique (Oliveira 1992). Ils sont considérés comme des systèmes idéaux dans les installations sous-marines à cause de leur simplicité, le nombre restreint de composants nécessaires, leur réutilisation possible dans d'autres champs d'exploitation et un contrôle simplifié. Il existe plusieurs types de jonctions (i.e. jonction en Y,...) la plus simple est la jonction en T composée de deux tuyaux perpendiculaires. Ces systèmes atteignent un taux d'efficacité de séparation de 85%, néanmoins, ils sont extrêmement sensibles au comportement du flux bi-phasique (Margaris 2007). En effet, leur efficacité est liée à diverses configurations du flux bi-phasique (pétillant « bubbly », stratifié « stratified », transitoire « slug », annulaire « annular ») qui affectent non seulement l'hydrodynamique de l'écoulement mais aussi la quantité de mouvement, la chaleur et le transfert de masse du système (Baker 2003).

Dans ce contexte, le phénomène de coalescence spécifiquement réalisé par des technologies en jonction en T, n'est pas utilisé, ce concept non breveté est donc une piste à étudier car, a priori, il n'y a pas d'impossibilités technologiques.

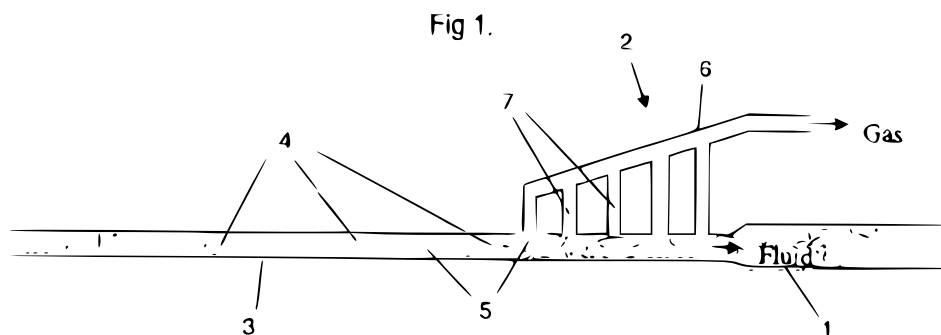


Figure 42 Jonction en T Brevet WO2006098637 (A1), (Eivind and Hannibal 2006)

(3) Electrodes

Cette cellule vide est due à une recherche non exhaustive et au fait que la recherche doit relier 2 mots clés.

Le binôme coalescence/électrodes continue à produire des brevets en utilisant les mots clés de notre base de données « *gas ; liquid ; coalescence ; electrodes* », la recherche aboutit à 3 brevets.

Dans la phase deux, nous avons déjà trouvé le brevet US4154972 en utilisant les mots clés « *gas ; liquid ; coalescence ; cyclone ; separator* » qui est un concept hybride composé d'un cyclone et des électrodes à haute tension pour favoriser la coalescence. Lors de

l'analyse initiale, nous l'avons classé dans les cyclones. Cette erreur de classement nous permet de démontrer l'importance de l'exploration de cellules vides de la matrice des découvertes. Dans tous les cas, ce binôme devrait être exploité à cause de sa faible population de brevets. Les deux autres brevets trouvés, CN202666475 et CN102796554 (la même invention) se servent aussi des électrodes à haute fréquence de résonance pour séparer l'huile, le gaz et l'eau. Ces brevets sont maintenant considérés pertinents et classés dans la matrice, ils seront susceptibles d'une analyse plus détaillée.

(4) Agents chimiques

Cette cellule vide est due à une recherche non exhaustive et au fait que la recherche doit relier 2 mots clés

Nous utilisons les mots clés « *gas ;liquid ;coalescence ;chemical agent* », nous trouvons seulement deux brevets. Le deuxième concerne le domaine des polymères synthétiques, ou la coalescence des particules insolubles dans l'eau est effectuée par l'utilisation des solvants (GB767015). Lors d'analyses ultérieures, nous avons trouvés des inventions qu'utilisent des agents de coalescence chimiques (polymères) mieux connus comme « désémulsifiant¹⁰⁶ » dans le contexte de séparation huile/eau (US2011042288). Nous avons donc des pistes pour relancer les recherches avec des nouveaux mots clés incluant le mot « agent chimique, désémulsifiant,... ».

4.4.2.1 Exemple d'application du deuxième axe

Dans ce deuxième axe, nous analysons la matrice de découvertes en utilisant la base de connaissances des tendances d'évolution. Les familles de séparateurs bi-phasiques sélectionnés évoluent au cours du temps, i.e. la forme, l'agencement de composants, matériels,... Nous analysons ces évolutions avec nos tendances d'évolution. Une analyse par tendances d'évolution est menée pour les systèmes à hélices (Figure 43) puis pour les systèmes à plateaux (déflecteurs, ailettes, chicanes,...) (Figure 47).

(1) Analyse des systèmes hélicoïdaux

Les brevets qui réalisent la séparation bi-phasique par des moyens hélicoïdaux entre la période de 1978 à 2006 de manière générale suivent la tendance 6 (transition vers les milieux extérieurs) précisément la T6.3 (évoluer vers des bi-poly-systèmes). En effet on remarque que, si le brevet de 1978 (CA1036077) comporte un seul type d'hélice à pas constant, tous les autres comportent plusieurs hélices à caractéristiques différentes.

¹⁰⁶ Produits liquides pour briser les émulsions pâteuses d'eau dans le pétrole que l'on récupère sur le littoral ou en mer. Source : <http://www.cedre.fr/>

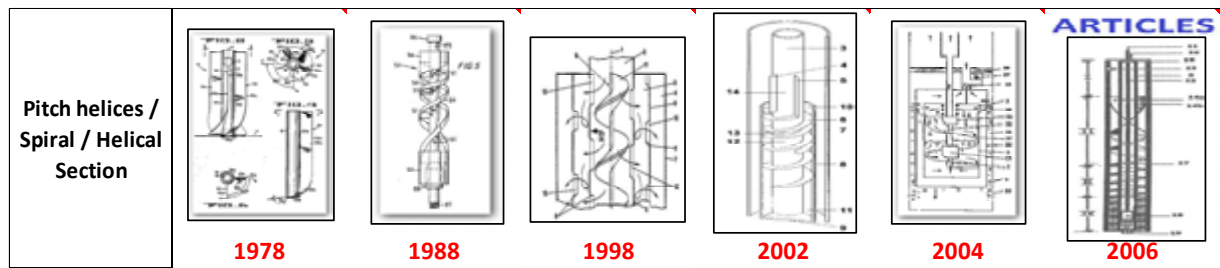


Figure 43 Extrait de l'évolution temporelle de systèmes à hélices

Maintenant nous allons analyser les évolutions de chaque brevet ou groupe de brevets selon les tendances (T1 à T8).

L'étude de la complétude du système (T1) amène, pour tous les brevets, les constatations suivantes :

- Le convertisseur est toujours une pompe,
- Les transmetteurs sont statiques,
- La séparation n'est jamais contrôlée, cela constitue une piste d'évolution majeure.

Tous les systèmes hélicoïdaux génèrent des pertes par frottement. La réduction de ces pertes (T2) va privilégier les systèmes qui évitent les contacts systématiques des gouttes avec les structures métalliques, c'est-à-dire que, dès que les gouttes sont séparées, il faut les évacuer. Le brevet Figure 44 récupère les gouttes latéralement ce qui réduit les parcours. Le brevet Figure 45 utilise la gravité pour aider le déplacement. L'évolution suivante va être d'éliminer complètement ces pertes par chute des gouttes (concept utilisé dans les systèmes à plateaux).

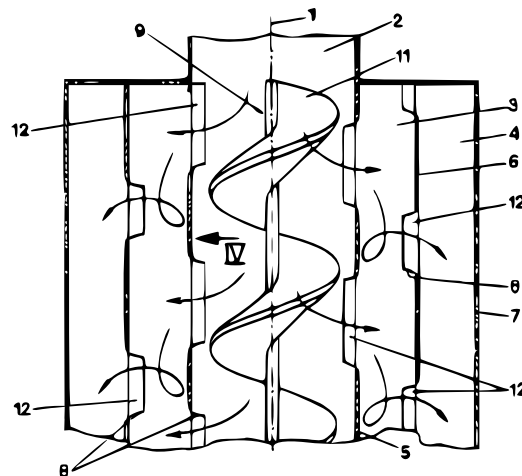


Figure 44 Brevet DE19650359A1 (1998) – récupération latérale

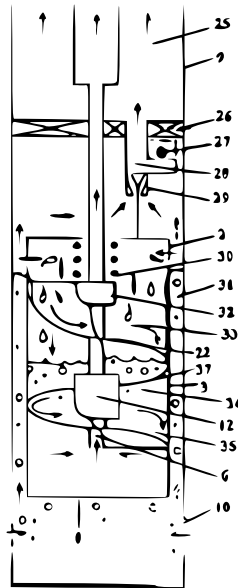


Figure 45 Brevet RO119248B1 (2004): récupération par le bas

La coordination des rythmes (T3) est présente dès le second brevet trouvé. Ainsi on trouve des hélices doublées (en phase), des hélices à pas variables, des hélices inversées (en opposition de phase). Ces variations de pente modifient la dynamique du déplacement du mélange. Il n'a pas de composants dynamiques dans ces systèmes offshore pour éviter les problèmes de maintenance.

On remarque que la complexité du séparateur (T4) augmente au cours du temps. La segmentation (T4.1.3) est très utilisée comme on l'a vu en préambule. Il est impératif d'intégrer des niveaux hiérarchiques pour pouvoir éviter le risque de bouchage dus aux transports transitoires de grosses quantités de liquides (slugs), c'est-à-dire de prévoir, à l'entrée des volumes importants. On note la mise en place de niveaux hiérarchiques en 2006 (Figure 46) pour gérer ce problème, c'est-à-dire qu'à l'entrée, la pente d'hélice est très forte. Les explications fournies sur la Figure 46 expliquent ces niveaux hiérarchiques.

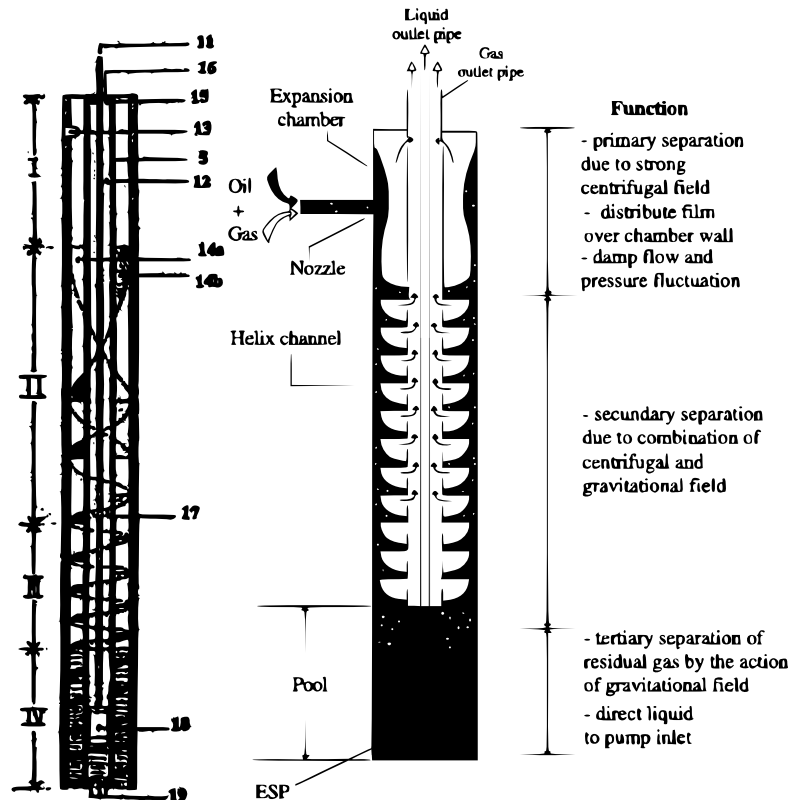


Figure 46 Brevet MY123978 (A) (2006): intégration de niveaux hiérarchiques (Rosa, França, and Ribeiro 2001)

A première vue, la tendance T5, développement inégal des entités, n'est pas perceptible dans la succession de brevets de la Figure 43. Si on remet les systèmes dans le contexte de l'offshore, on voit que les diamètres d'hélice sont faibles ce qui conduit à segmenter les séparateurs. En offshore, on ne peut se permettre de multiplier les séparateurs, on veut donc un nombre restreint et même un seul séparateur. On a donc une contradiction liée au développement des hélices de faible diamètre. Il s'agit, pour faire évoluer les concepts dans notre contexte, de résoudre cette contradiction.

Il n'y a pas de développement au micro-niveau (T7) exprimé par les brevets.

La tendance T8 concerne l'augmentation du dynamisme et du niveau de contrôlabilité. On a vu dès le début qu'il était difficile de contrôler l'efficacité de la séparation. Il faut regarder l'effet de l'évolution des hélices sur la séparation. En effet, on remarque que les systèmes augmentent le dynamisme par la variation de forme (T8.4) de l'hélice et par une segmentation qui modifie les rythmes de déplacement des gouttes jusqu'à la Figure 46 qui comporte deux hélices inversées à pas variable (couplage en opposition de phase T3.1.2). L'accroissement de la contrôlabilité passe maintenant par l'utilisation de champs nouveaux en superposant des effets qui vont amorcer des collisions et permettre la coalescence des gouttes. Ces champs, par exemple des hautes fréquences seront contrôlables.

(2) Analyse des systèmes plateaux

Nous analysons maintenant les brevets impliquant des plateaux (Figure 47). Ces brevets sont tombés dans le domaine public ou en passe de l'être car le plus récent date de 1996.

Les systèmes à plateaux sont dans la lignée de la tendance T6, se sont des composants identiques à même fonctionnalité pour augmenter l'efficacité (T6.3.1), composants qui sont issus d'une logique de segmentation.

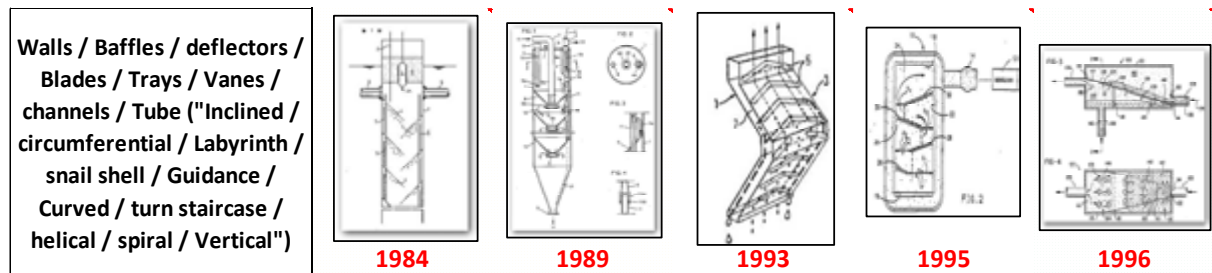


Figure 47 Extrait de l'évolution temporelle des systèmes à plateaux, déflecteurs, pales,...

Nous retrouvons la même analyse sur la tendance T1 que pour les systèmes à hélices, soit un manque de contrôle.

Par contre, les pertes énergétiques (T2) sont moindres car le concept est hybride : un glissement sur les plateaux et une chute entre 2 plateaux, ainsi le liquide reste peu de temps en contact avec les plateaux.

Hormis les deux possibilités (glissement et chute), on ne trouve pas de changement de rythme ce qui pourrait être le cas avec des changements de pente. De la même manière, pas d'utilisation de systèmes vibratoires additionnels. Donc, du point de vue de la tendance T3, il y a des possibilités d'évolutions.

L'augmentation du niveau de perfectionnement (T4) concerne la segmentation caractéristique des plateaux (division en plusieurs entités, T4.1.3.1). Cette segmentation évolue dans les derniers brevets (Figure 48 et Figure 50) en intégrant des perçages qui vont calibrer et faire chuter des gouttes. Comme pour les cyclones à hélices, le dernier brevet, Figure 50, intègre la gestion des transitoires.

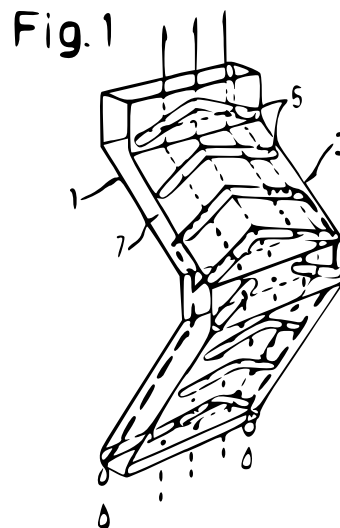


Figure 48 Brevet DE4214094C1 (1993) : gestion des transitoires

On ne discerne pas de développement inégal (T5) ni d'évolution vers le micro niveau (T7).

Comme pour les hélices, on constate une augmentation du dynamisme à partir de l'évolution de la forme (T8.4), de 2D à 3D (T8.4.4) jusqu'à des formes concaves (Figure 49, T8.4.3).

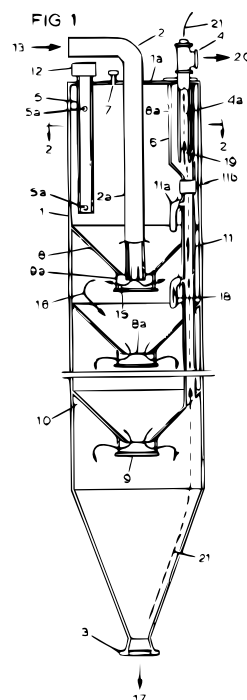


Figure 49 Brevet US4816146A (1989): évolutions de la forme

Nous portons un regard particulier sur l'invention le brevet de 1996 (Figure 50) qui est composé de poly-systèmes et qui, par un plateau inversé, permet de maîtriser les transitoires.

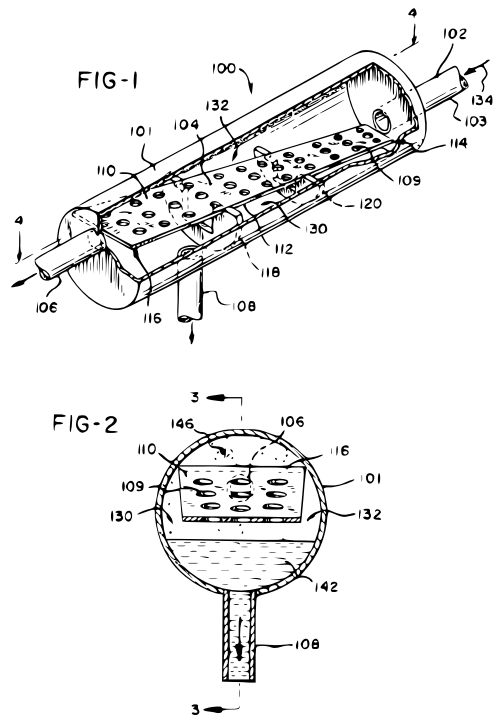


Figure 50 Brevet US5507858A (1996): gestion des transitoires

Cette analyse temporelle par des tendances d'évolution donne des premières idées et des axes possibles d'innovation. La possibilité d'analyser plusieurs technologies par des tendances, permet l'inspiration et dirige vers des systèmes hybrides qui vont intégrer plusieurs concepts pour réaliser la fonction souhaitée.

4.4.2.1 Exemple d'application du troisième axe

Nous utilisons maintenant le dernier axe pour l'exploitation des opportunités d'évolution. Dans notre analyse initiale nous avons utilisé la décomposition fonctionnelle en prenant comme exemple les cyclones. Nous cherchons à faire évoluer ce concept. Pour changer une énergie fluide (qvp) en déplacement de gouttes (VF) nous utilisons alors la base des données des convertisseurs. Plusieurs effets sont disponibles, pour illustrer la démarche, nous allons utiliser l'effet Venturi¹⁰⁷ pour augmenter la vitesse de transport des gouttes. Une nouvelle recherche est faite avec les mots clés « *gas ; liquid ; separator ; venturi* », aucun résultat n'a été trouvé. Grâce à plusieurs itérations réalisées auparavant, le mot clé « *degasser* » a été récupéré. Ce mot clé est souvent utilisé dans le langage de forage pour la séparation bi-phasique. Une nouvelle requête est lancée avec les mots clés « *degasser ; venturi* », 5 résultats sont trouvés. Le brevet GB2401559 sépare le mélange bi-phasique par une réduction de pression statique donc une augmentation de la vitesse (Figure 51).

¹⁰⁷ L'effet Venturi établit qu'il existe une diminution de pression d'un fluide dans les régions où la vitesse d'écoulement est augmentée (i.e. rétrécissement d'une conduite).

Use of the Energetic Converters Database

1- Select a Physical Effect

Energy (Input)	Converter/ Physical Effect	Energy (Output)
Hydraulic	Bernoulli / Venturi Effect	Mechanical

qvp VF

2 – Search in Patent Database

 Espacenet

3 – Analyze the Patent

GB 2 401 559 A

A degasser comprising a main body having an inlet for a gas-liquid mixture which flows from the inlet under gravity over a weir 7 and into a reservoir 10 for degassed liquid, the level of which is controlled by a floatation device 11 and discrete outlets for the separated liquid 4 and gas 17, the gas and liquid being separated by pressure reduction occurring within the body and the gas outlet being in the form of a vacuum, preferably venturi, device 5. A ball valve may be provided in the gas outlet to prevent unwanted discharge of liquid from the gas outlet and to prevent entry of gas into the body via the gas outlet. The floatation device may serve to close off the gas outlet in the event of there being an excess of liquid in the reservoir.

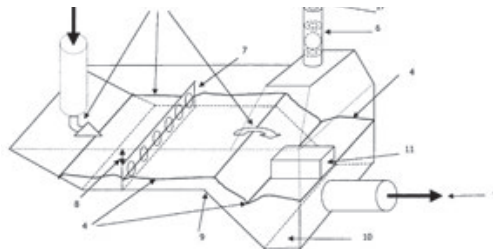


Figure 51 Exemple de l'utilisation de la base de données des convertisseurs.

L'exploration des concepts en utilisant la base de données des convertisseurs ouvre la porte à des nouveaux concepts sur des différents champs de recherche et montre son intérêt dans la phase d'inspiration et de recherche des idées.

4.4.3 Exemple de solutions innovantes

Les différents outils présentés aident le concepteur et permettent de réaliser une recherche ciblée. Pour arriver à des concepts intéressants, plusieurs itérations de recherche par les mots clés ont été faites. Les différentes étapes de définition, d'analyse et d'innovation se sont déroulées. Comme on l'a vu précédemment, différentes opportunités d'évolution ont été exploitées, plusieurs concepts issus de l'analyse des brevets ont servi de source d'inspiration.

Rappelons-nous des concepts essentiels récupérés lors de l'analyse par tendances d'évolution. Premièrement l'intégration de poly-systèmes identiques pour augmenter l'efficacité d'une action (T6.3.1), ensuite les tendances de segmenter une entité en plusieurs entités (T.4.1.3.1), puis l'intégration de systèmes différents à fonctions identiques (T.6.3.2).

Les contraintes de l'offshore génèrent une contradiction si on utilise des cyclones, nous faisons une proposition à partir des plateaux qui permettent d'avoir des diamètres importants. Le concept proposé aux industriels concerne un système hybride, une cuve gravitaire avec des plateaux (tendance de poly-systèmes identiques et segmentation), la récupération du fluide est par le bas. Un plateau inversé gère les transitoires du mélange bi-phasique, ce concept est inspiré du brevet de 1996 qui va tomber dans le domaine public.

L'entrée du mélange se fait en partie haute, ce qui permet la chute du mélange et favorise la séparation.

Sur la base de ces tendances, la Figure 52 illustre une proposition autre que l'utilisation d'un cyclone.

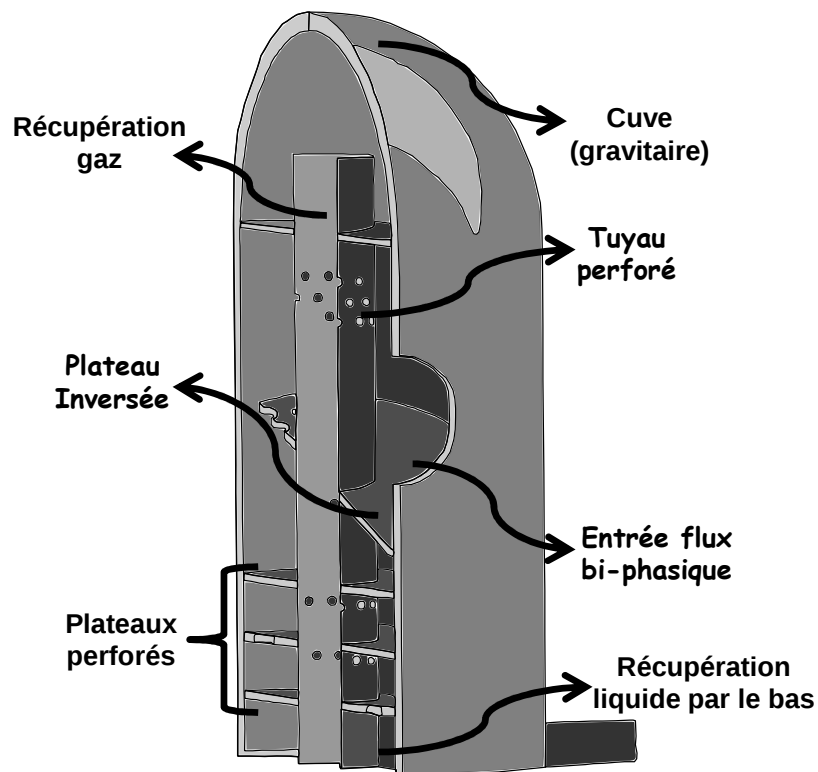


Figure 52 Séparateur bi-phasique: Notre approche d'innovation.

Dans cet exemple, nous avons choisi certaines tendances pour illustrer la démarche d'inspiration pour la conception d'un nouveau séparateur. En ce qui concerne les différentes contraintes mentionnées dans le chapitre deux, nous avons principalement souligné les éléments pour la maîtrise de transitoires afin d'expliquer la méthode. Des travaux ont été réalisés avec l'équipe Galtenco afin de gérer les différentes contraintes comme la gestion du sable, la thermique de fluides,... (Figure 53). Il est évident que des études approfondies doivent être menées pour valider la cohérence de notre proposition.

Plusieurs pistes sont encore à explorer et à valider. Afin de faciliter l'utilisation de la méthode par les concepteurs nous avons créé un outil interactif, expliqué dans le chapitre suivant.

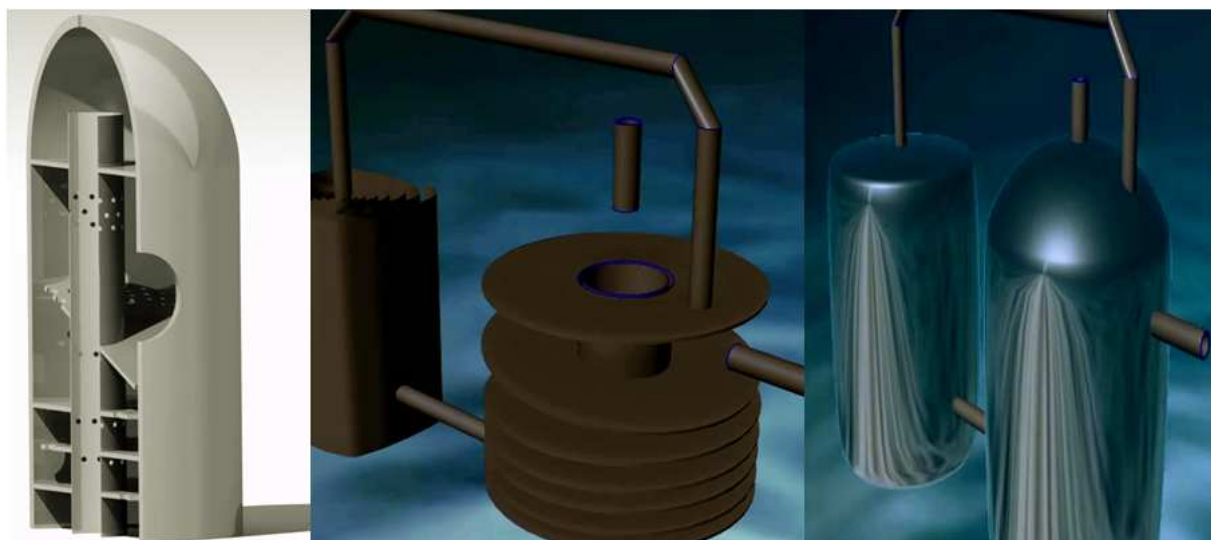


Figure 53 Système bi-phasique en offshore, concept d'intégration avec un échangeur de chaleur.

4.5 Livrables Phase 3 - Application

Le Tableau 18 détaille les livrables de la phase 3 ainsi que les différents concepts issus du cas d'application.

Tableau 18 Livrables de la phase trois

Livrables		Application / Exemples
Techniques de recherche d'opportunités d'évolution	Axe 1 – Identifier les cellules vides de la matrice des découvertes et relancer la recherche par l'utilisation de nouveaux mots clés (association des phénomènes physiques et technologies).	Brevets trouvés par l'utilisation du binôme, <u>Coalescence/Electrodes</u>
		Pistes de recherche : Coalescence/Agent chimique, Désémulsifiant...
	Axe 2 – A partir du classement temporel de brevets et de l'exploitation par les tendances d'évolution.	Les systèmes à hélices montrent des tendances de <u>poly systèmes identiques</u> et des principes de <u>segmentation</u> .
		Les systèmes à plateaux présentent de tendances d' <u>évolution de la forme</u> et l'ajout de <u>systèmes différentes à fonctions identiques</u> .
	Axe 3 – Changer le concept à partir de la base des convertisseurs énergétiques	Les mots clés « <i>degasser</i> » et « <i>venturi</i> », ont donné des résultats pertinents.
Les solutions innovantes		Une approche d'innovation : <u>système hybride</u> , cuve de décantation avec plusieurs plateaux perforées et un plateau incliné pour la gestion des transitoires.

4.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons déterminé différentes opportunités d'évolution pour parvenir aux solutions innovantes par l'exploitation de la matrice des découvertes (Figure 54). L'exploitation se fait sur trois axes. Nous avons souligné les possibilités de rechercher les concepts qui peuvent se trouver derrière les cases vides. Le deuxième axe, à partir du classement temporel, s'appuie sur des tendances d'évolution (lois d'évolution TRIZ, règles de l'art de l'ingénieur et heuristiques de conception) pour analyser les évolutions constatées et proposer des opportunités d'innovation. Finalement, le troisième axe fournit les moyens de changer le concept en remplaçant le convertisseur énergétique grâce à la base de données des convertisseurs.

Nous avons finalisé le cas d'application concernant les séparateurs à mélanges biphasiques et nous avons énoncé les différents livrables pour cette phase.

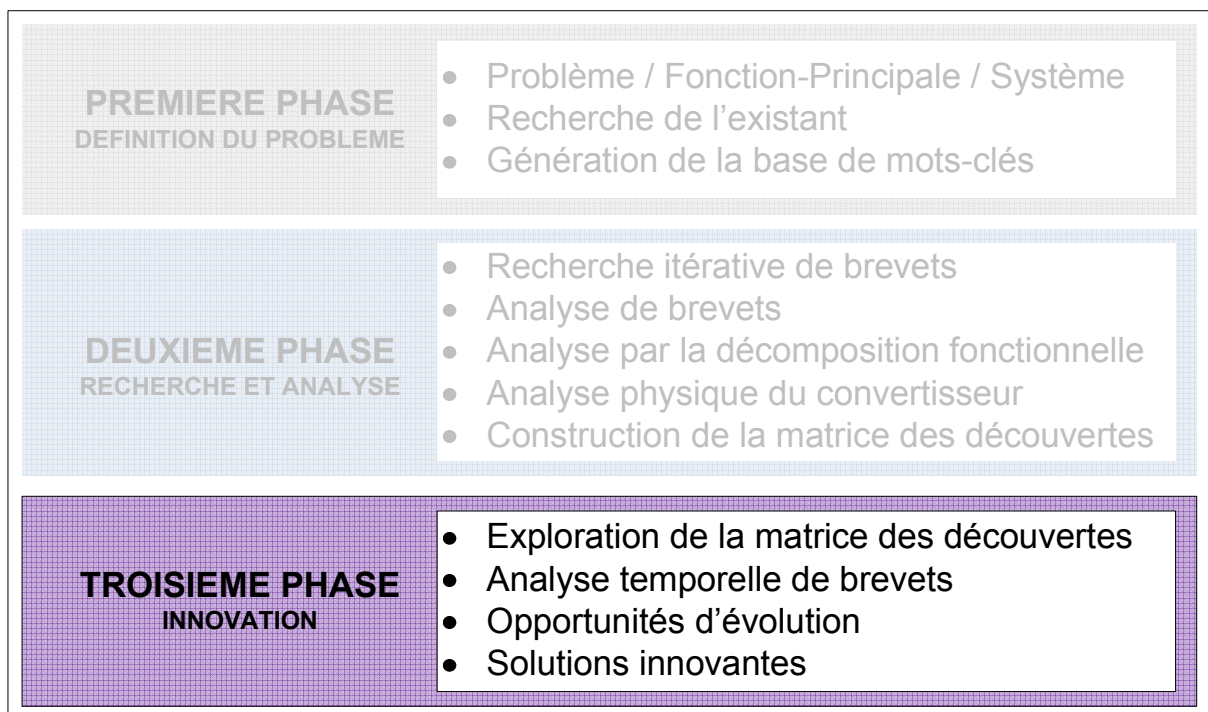


Figure 54 Méthode proposée en trois phases: Troisième phase accomplie

Le synoptique de la Figure 55 explique la construction de la phase trois et les différents blocs qui la composent. La division à gauche indique que les cases vides de la matrice peuvent être aussi exploitées par des outils classiques en innovation (i.e. MAL'IN) pour rechercher des évolutions potentielles afin de faire émerger des solutions innovantes.

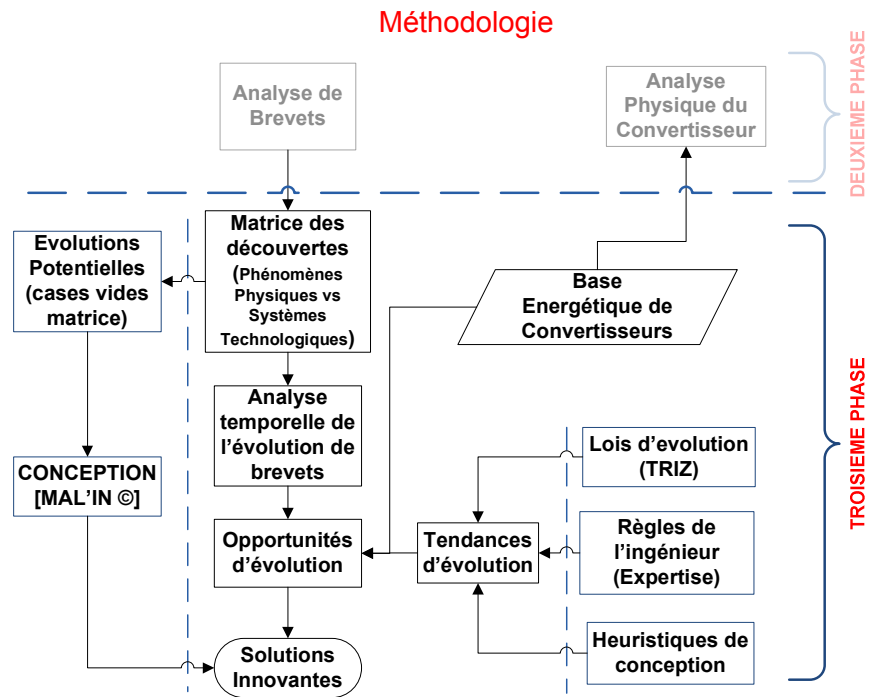


Figure 55 Synoptique de la méthode proposée – Troisième Phase

Chapitre 5 Synthèse

Ce chapitre porte sur la concaténation des trois phases abordées dans les chapitres précédents. La définition du problème, la recherche / analyse et l'innovation sont exposées de façon structurée en vue de fournir un outil d'aide aux utilisateurs.

L'objectif de ce chapitre est de montrer de manière globale la démarche d'exploitation et d'analyse de brevets pour la résolution de problèmes industriels. A cette fin nous présentons différents modules indépendants construits pour conduire les utilisateurs dans le parcours de la méthodologie proposée. Nous abordons une vision interactive et collaborative.

5.1 Synoptique général de la méthode

Le synoptique de la Figure 56 présente la démarche divisée en trois sections constituée par plusieurs blocs ou modules. Le synoptique illustre la logique proposée pour parvenir aux solutions innovantes à partir d'un problème industriel donné.

La première phase est basée sur la définition du problème et du contexte. Cette phase est décomposée en trois blocs, le premier concerne une analyse détaillée de la fonction à satisfaire, le deuxième permet une recherche approfondie de l'existant et le troisième porte sur la récupération de mots clés initiaux pour approvisionner une base de données de mots clés (base de connaissances). Dans un premier temps la fonction à traiter sera décrite minutieusement, nous cherchons ainsi à décomposer le problème afin d'avoir une compréhension précise du sujet. Nous récupérons tous les mots clés initiaux liés directement au problème, mais aussi au contexte en lui-même, i.e. milieux extérieurs, domaines d'application, compagnies impliquées,... Dans un deuxième temps, une recherche de l'existant est réalisée, en utilisant les mots clés précédemment récupérés et listés. Nous fournissons au concepteur un moyen d'élargir son champ de recherche à des revues scientifiques, des archives ouvertes, des bases de données des brevets et des moteurs de recherche, en utilisant des outils de recherche automatiques conçus à cette fin. Une base de données de mots clés est constituée dans cette phase, elle est complétée progressivement à chaque itération de recherche et réutilisée pour générer de nouvelles requêtes.

La deuxième phase concerne l'analyse structurelle des brevets et la poursuite itérative de la recherche. La partie structurelle examine en plusieurs phases et de manière détaillée la connaissance récupérée dans l'étape précédente, i.e. technologies et concepts. Un concept peut se découper en plusieurs concepts se traduisant par plusieurs fonctions. La recherche exhaustive des mots clés pertinents commence par une analyse du flux fonctionnel nécessaire à la réalisation de la fonction. Le fonctionnement attendu va être décrit par une décomposition fonctionnelle qui va conduire à la sélection de phénomènes physiques imposés ou induits. Les phénomènes physiques, les techniques d'amélioration et les mots clés associés constituent la base de connaissances. La décomposition fonctionnelle

énergétique nous permet d'avoir accès à des mots-clés différents qui sortent du champ des mots-clés initiaux. Ces mots-clés proviennent de différents types de convertisseurs que nous pouvons sélectionner. Cela nous permet de rechercher des brevets dans des champs différents. La recherche des brevets, à partir des mots clés recensés dans la base de connaissances, est réalisée en utilisant des bases de données classiques des brevets. La recherche est donc orientée et encadrée. Dans cette phase une matrice des découvertes est construite à partir du croisement de phénomènes physiques et des systèmes technologiques retrouvés, de manière que, le concepteur classe les brevets considérés pertinents. Nous cherchons ensuite à en déduire des opportunités d'évolution pour aller vers des solutions innovantes.

La troisième phase implique nos méthodes d'innovation. Elle permet d'exploiter la matrice des découvertes à partir de trois axes afin de définir les opportunités d'évolution et les axes d'innovation. Le premier axe concerne l'analyse des cellules vides qui correspond à des concepts non trouvés, inexistants ou appartenant au domaine public. Il faut alors valider la possibilité et résoudre le problème avec des méthodes d'aide à l'innovation comme MAL'IN (I2M-IMC). Un classement temporel de brevets pertinents permet d'exploiter la matrice des découvertes par tendances d'évolution des systèmes techniques. Ainsi, le deuxième axe porte sur l'analyse par tendances d'évolution construites à partir des lois d'évolution de la théorie TRIZ, des règles de l'art de l'ingénieur et des heuristiques de conception d'I2M-IMC. La base de données des effets physiques de conversion d'énergie complète les opportunités d'évolution de ces système, elle conforme le troisième axe. Cette base est utilisée aussi pour l'analyse physique de la deuxième phase.

Méthodologie

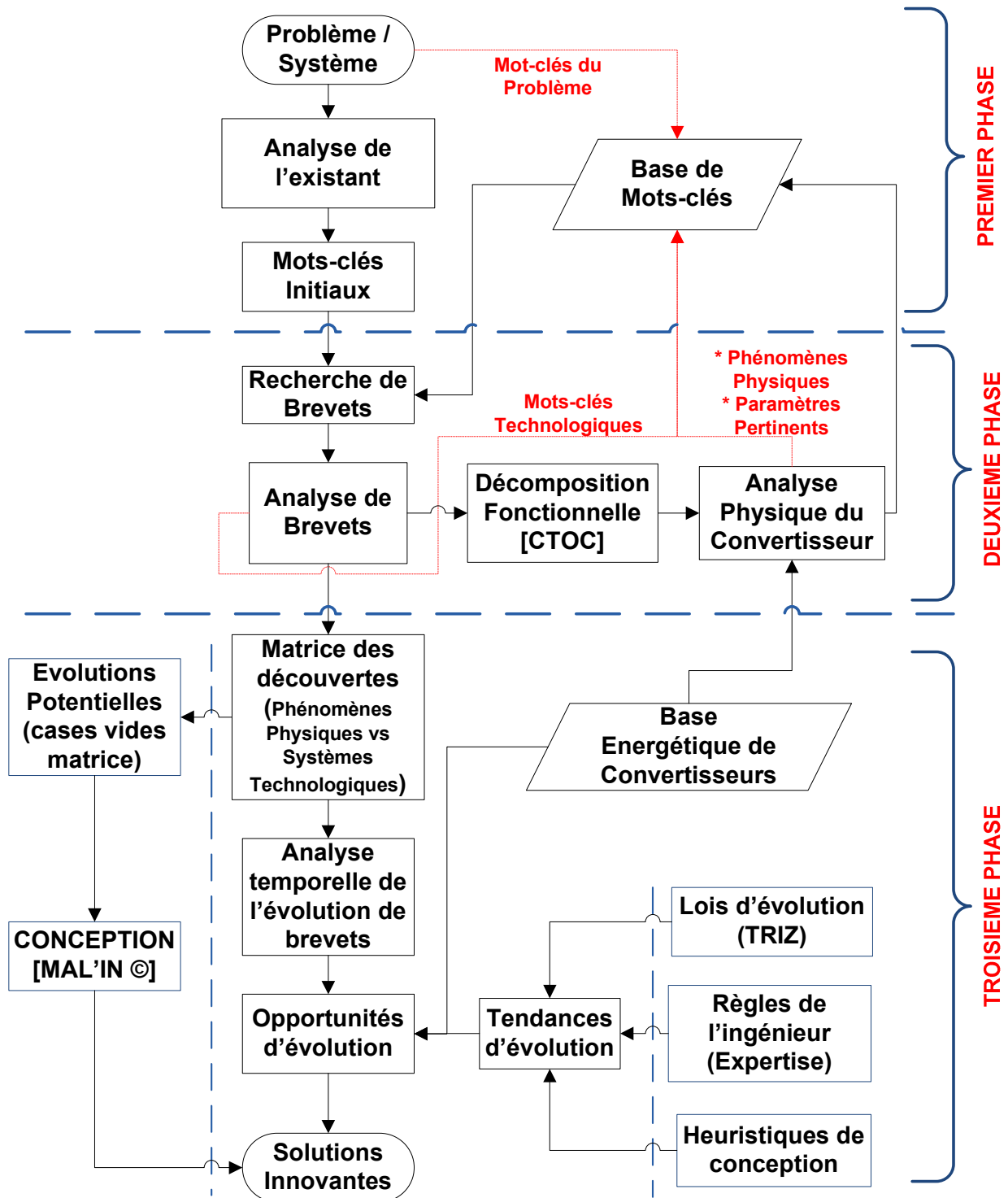


Figure 56 : Synoptique de la méthode proposée

5.2 Méthodologie interactive

Nous cherchons à proposer aux utilisateurs des outils pour pouvoir dérouler facilement la méthode. Pour améliorer l'usage de la méthode il est nécessaire, d'une part, de fournir aux utilisateurs un outil qui automatise les différentes tâches manuelles et fastidieuses (i.e. recherche, récupération, classement,...), et, d'autre part, il est important de les guider à travers chaque phase en utilisant des outils qui interagissent avec eux. Nous visons un outil interactif qui veille sur l'accomplissement correct de chaque phase, qui interagit avec les utilisateurs et qui leur facilite le travail collaboratif.

5.2.1 Méthodologie décomposée en modules interactifs

Nous proposons divers modules regroupés dans un outil interactif (Figure 57) selon le synoptique de la méthodologie précédemment décrite (Figure 56). Certains modules sont liés et interagissent ensemble, d'autres sont indépendants et aident à l'interprétation correcte d'un module spécifique. Cet outil facilitera la démarche du concepteur car il sera guidé à travers les différents pas de la méthodologie et, de surcroît, il donnera la possibilité d'utiliser les technologies interactives comme les écrans « touch » et permettra des recherches collaboratives.

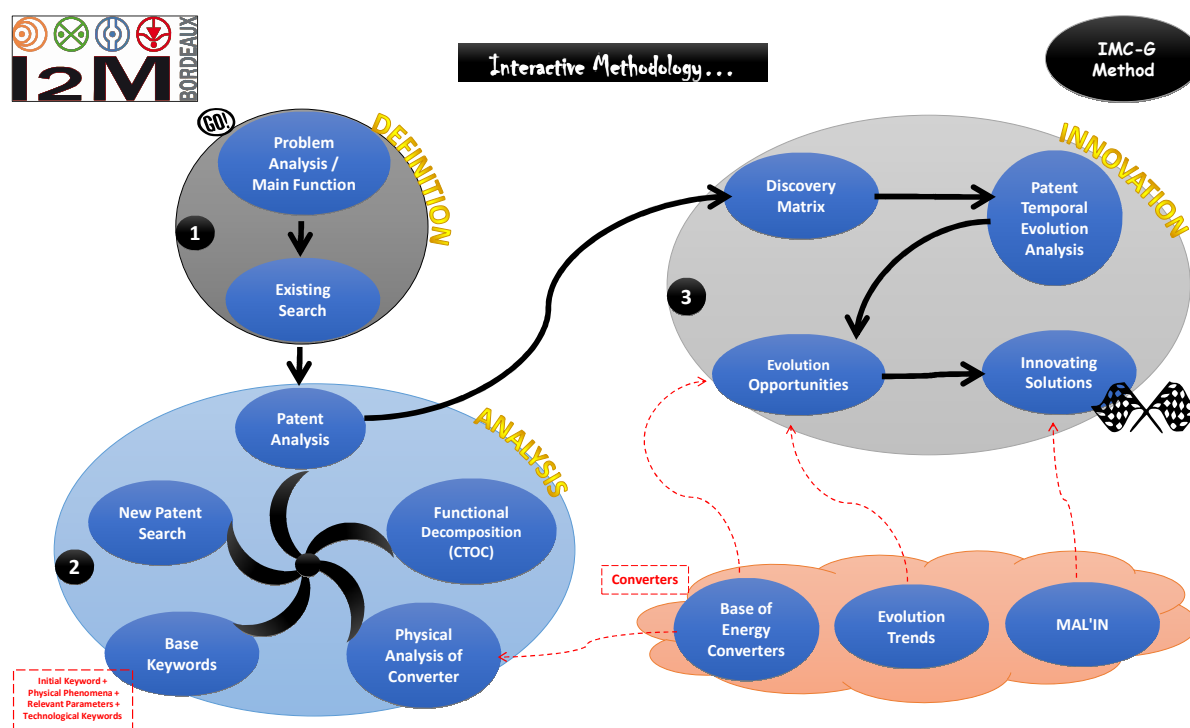
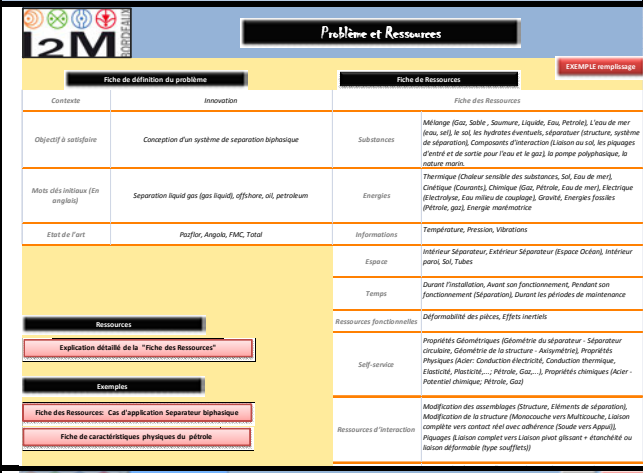
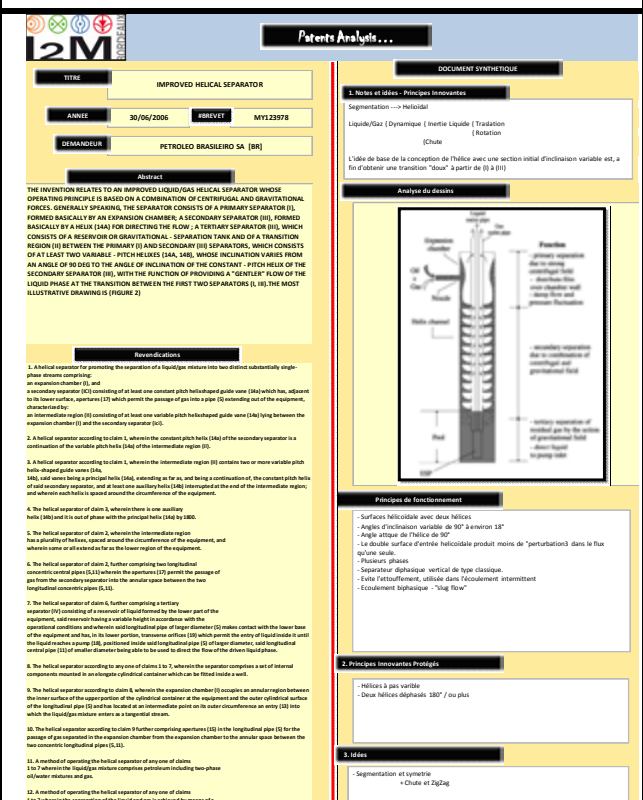


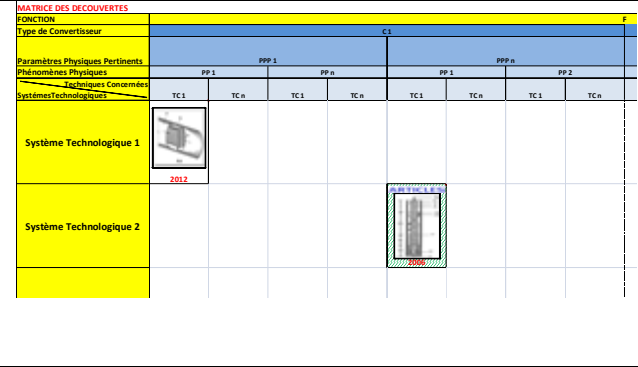
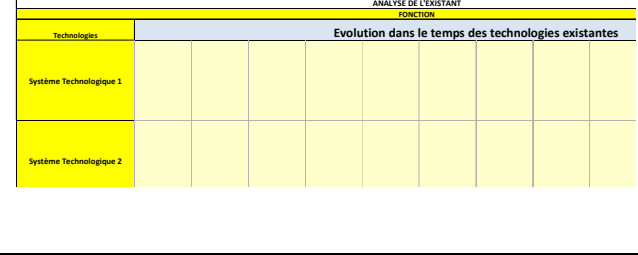
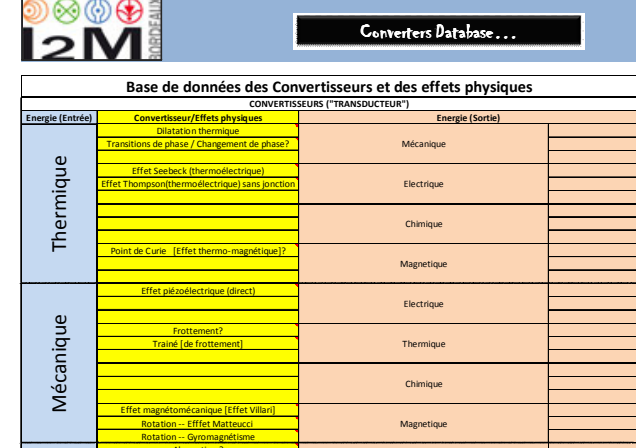
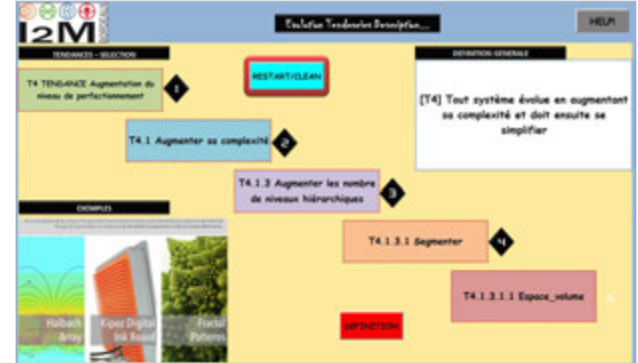
Figure 57 Méthodologie interactive

Dans le Tableau 19 nous décrivons les divers modules qui composent l'outil interactif. A titre indicatif, ces modules déploient des éléments référents au cas d'application pétrolier abordé dans ce travail de thèse. Chaque module contient des instructions de mode d'emploi. Par ailleurs, ils fournissent des exemples d'utilisation. Il convient de mentionner que ces

modules sont introduits sur une version conceptuelle, c.à.d. ils sont le résultat des premiers travaux pour concilier la méthodologie avec une interface interactive.

Tableau 19 Description des différents modules qui constituent la méthodologie interactive

Description du module	Module Interactif
Module de l'analyse du problème Ce module sert à enregistrer toute information liée au problème industriel traité, l'expression du problème, les contraintes associées et l'analyse de ressources. Une fois complété les mots clés initiaux seront récupérés par les utilisateurs et enregistrés dans la base de données des mots clés.	
Module de recherche de l'existant Ce module adresse plusieurs sites web scientifiques et techniques pour lancer les requêtes de recherche. Il permet de garder une trace de mots clés utilisés.	
Module de l'analyse des brevets Cette grille d'analyse récupère de manière automatique les données bibliographiques, images, résumés,... des brevets considérés pertinents par les utilisateurs à partir de la base de données des brevets. Une analyse initiale a été faite au moment de son enregistrement (phénomènes physiques identifiés et technologies associés). Une deuxième analyse peut être faite sur ce module pour identifier les principes innovants, les principes de fonctionnement, les principes innovants protégés, les idées,...	

Module de la matrice des découvertes Ce module est la visualisation des brevets explorés et considérés intéressants par les utilisateurs. Lors de l'analyse initiale de brevets, une grille d'analyse permet l'enregistrement des phénomènes physiques impliqués et des systèmes technologiques associés à l'invention en question. Grâce aux données enregistrées, la matrice croise automatiquement les brevets par phénomènes physiques et technologies.	
Module de l'analyse temporelle des brevets Ce module récupère la matrice des découvertes et permet aux utilisateurs de visualiser un agencement temporel (ou un autre paramètre, i.e. phénomène physique) des brevets pertinents pour une analyse ultérieure par tendances d'évolution.	
Module de la base de données des convertisseurs énergétiques Ce module contient la base des effets physiques concernés à la conversion d'une énergie d'entrée et une énergie de sortie. Plusieurs effets sont disponibles ainsi que leurs définitions correspondantes. Cette base est ressource du module de la décomposition fonctionnelle lors de l'analyse physique du convertisseur. Elle peut servir aussi comme source d'inspiration dans la recherche d'opportunités d'évolution.	
Module de tendances d'évolution Dans ce module, les utilisateurs peuvent sélectionner les diverses tendances d'évolution graduellement en quatre niveaux hiérarchiques. Ce module, ressource l'analyse temporelle de brevets. Nous cherchons à faciliter la tâche d'analyse par tendance d'évolution en fournissant une interface intuitive et enrichie visuellement par divers exemples.	

Le Tableau 19 décrit plusieurs modules d'une interface version « bêta ». Bien que tous ces modules automatisent plusieurs tâches et guident les utilisateurs à travers la méthode, différentes étapes de liaison entre modules doivent être améliorées. Dans la section de perspectives, nous énumérerons les travaux restant à faire et comment se fera l'intégration de différents outils informatiques.

5.2.2 Vision du travail collaboratif

Le travail collaboratif est plus rapide, plus pertinent, pluriculturel et dynamique. La vision de recherche et de classification collaborative améliore, d'une part nos méthodes actuelles de remplissage de la matrice des découvertes, et, d'autre part elle facilite l'analyse physique, l'analyse par tendances,... des brevets trouvés (Figure 58).

En premier lieu, l'analyse d'un brevet est fait manuellement et peut prendre beaucoup de temps selon la quantité de brevets étudiés et la possibilité de sélectionner des brevets non pertinents est probable. Pour pallier cela, nous proposons de travailler à plusieurs sur un même espace de travail (ou à distance) en étant capables d'interagir ensemble (deux ou plusieurs personnes) sur l'analyse de brevets en choisissant ceux qui sont pertinents (l'interaction de plusieurs personnes aidera à une sélection pertinente).

De surcroît, l'analyse physique et l'analyse de tendances d'évolution des inventions classées est plus efficace lorsque plusieurs intervenants discutent sur les principes de fonctionnement d'un ensemble des brevets sur une interface tactile. Les différentes découvertes et annotations peuvent être sauvegardées directement, les différents modules sont toujours accessibles pour ressource la méthode. Ce type de vision dynamise la méthodologie proposée (Rios-Zapata et al. 2015).

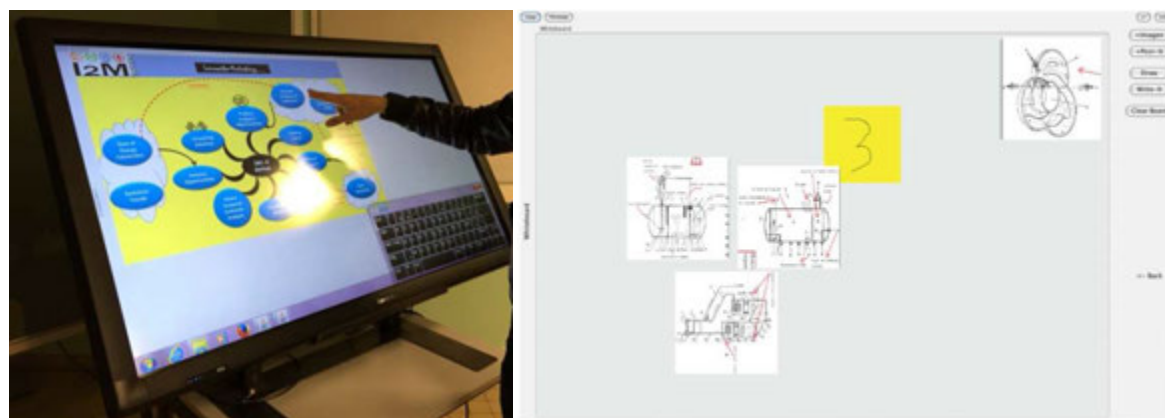


Figure 58 Travail collaboratif en utilisant les technologies « Touch screen »

5.3 Conclusion

Premièrement, nous avons, dans ce chapitre, proposé un logigramme récapitulant les trois phases de la méthode proposée. Une description détaillée de chaque bloc du synoptique a été proposée. Nous avons proposé un premier outil interactif d'aide aux utilisateurs pour la résolution de problèmes industriels. Différents modules indépendants ont été définis. Ces modules permettent d'automatiser divers tâches comme la recherche des brevets, la récupération des brevets, la classification des brevets,... D'autres modules ressource l'outil et contribuent à l'analyse physique du convertisseur, à l'analyse par tendances d'évolution, aux opportunités d'évolution,...

Ensuite, la vision interactive et collaborative représente un premier effort pour proposer un outil accessible aux concepteurs. Nous cherchons à faciliter l'utilisation de la méthode en intégrant des technologies récentes qui incorporent la puissance de travail en groupe. Cet outil devra être validé et raffiné par d'autres cas d'application pluridisciplinaires.

Notre vision de travail collaboratif favorise l'interaction des intervenants bien définis dans le cadre d'un projet industriel traité, cependant, notre approche pourrait évoluer vers les technologies ou les modèles de collaboration par l'utilisation des réseaux sociaux en ligne, l'intelligence collective à travers l'utilisation du Web 2.0¹⁰⁸, etc. Tel est le cas des auteurs comme (Lopez Flores et al. 2015) qui dans une vision d'innovation assistée par ordinateur et d'innovation ouverte (« open innovation »), promeuvent la résolution de problèmes inventifs par une synergie entre la méthode TRIZ et les stratégies de raisonnement par cas (par son sigle en anglais CBR¹⁰⁹) (Negny, Robles, and Lann 2008). Il pourrait être intéressant de considérer l'intégration de notre méthode aux entreprises qui combinent les connaissances internes avec les connaissances externes pour générer la valeur, c'est-à-dire, celles qui ont une vision stratégique d'innovation ouverte avec des modèles pertinents pour soutenir l'innovation des processus collaboratifs (Steiner, Morel, and Camargo 2014).

Finalement, l'intégration de diverses techniques informatiques sera abordée dans les perspectives de cette thèse.

¹⁰⁸ Le Web 2.0 désigne l'évolution du web vers l'interactivité et la simplicité proposée originalement par Tim O'Reilly. C'est la notion d'un web collaboratif qui permet aux internautes d'interagir de façon active aux échanges et partages d'informations.

¹⁰⁹ CBR est l'acronyme anglais de : Case Based Reasoning

Chapitre 6 Conclusion générale et perspectives

Ce travail de thèse a été effectué au sein du laboratoire I2M-IMC du centre de Bordeaux Talence d'Arts et Métiers ParisTech, en partenariat avec l'entreprise Galtenco Solutions.

Les travaux développés dans cette de thèse ont conduit à la proposition une méthodologie d'aide à la résolution de problèmes industriels complexes par l'exploitation de connaissances disponibles dans les brevets.

Nous évoquons les principales contributions de nos travaux de recherche. Puis nous discuterons sur les constatations effectuées lors de l'application de la méthode à une problématique industrielle d'actualité. Enfin, nous énonçons les perspectives envisagées concernant l'évolution de la méthodologie et ses outils interactifs inhérents, ainsi que la nécessité de la mettre en pratique dans d'autres domaines industriels.

6.1 Contexte

La société Galtenco Solutions est une PME détentrice d'un savoir faire particulier en matière de résolution de problèmes industriels non conventionnels. L'entreprise est pourvue des compétences pluridisciplinaires, des méthodes et des acquis qui lui permet de proposer des solutions innovantes dans un large éventail de domaines. Son objectif d'optimiser la recherche de concepts, les performances et la fiabilité des propositions a conduit à orienter ce travail de thèse vers la formalisation d'une méthode d'exploitation des concepts de la propriété industrielle et complétée par les connaissances et outils du laboratoire I2M-IMC.

En effet, les brevets constituent un réservoir richement pourvu d'informations techniques exploitables. Une exploration minutieuse et structurée des inventions dévoilera des connaissances essentielles pour la résolution des problèmes industriels. Il existe une grande diversité des méthodes et techniques qui se servent de l'information disponible dans les brevets, pour des aspects économiques, stratégiques, statistiques,... D'autres approches exploitent les brevets pour recueillir des connaissances pour supporter les activités de conception. De nombreuses approches sont plus orientées vers l'automatisation de tâches complexes comme l'analyse et extraction de connaissances grâce à l'utilisation de l'informatique et l'intelligence artificielle. Nous constatons un manque de finesse dans la phase d'analyse de la fonction principale du problème en question, ce qui amène à une sélection inadéquate des mots clés initiaux et par conséquent à la récupération de brevets, a priori, non pertinents. Peu de ces méthodes réalisent une analyse physique fine de la fonction étudiée, ce qui est primordial pour une compréhension scrupuleuse du problème.

Les travaux de thèse ont pallié les critiques émises après cette analyse des méthodes existantes.

6.2 Contributions

6.2.1 Une méthode structurée

Nous proposons une méthodologie d'exploitation de brevets qui cherche à améliorer la sélection initiale de mots clés en intégrant une vision fonctionnelle et une analyse physique fine de la fonction principale (système ou problème) à satisfaire. Nous structurons la méthode en trois axes pour analyser et exploiter les inventions dans les brevets : la définition, la recherche / analyse, et l'innovation. La définition précise de la fonction principale commence par la récupération de mots clés initiaux grâce à une analyse approfondie de l'existant. La décomposition fonctionnelle énergétique complète ces mots clés en dissociant trois éléments clés de la réalisation de la fonction (Convertisseur, Transmetteur, Operateur). Une base de mots clés créée à partir de mots clés initiaux et enrichie par les mots clés physiques et technologiques permet d'encadrer la recherche des concepts. Par d'une phase itérative de recherche et une période d'analyse, les brevets considérés pertinents sont classés dans une matrice des découvertes structurée à partir des croisements des phénomènes physiques impliqués et des technologies associées. Trois axes d'étude ont été établis pour déceler les zones d'innovation: l'analyse de cellules de la matrice des découvertes non pourvues, l'analyse des brevets par tendances d'évolution à partir du classement temporelle, et le changement de concept par la substitution du convertisseur grâce à une base de données de convertisseurs énergétiques.

Nous avons développé quatre éléments clés liés aux verrous scientifiques identifiés lors de la démarche d'exploitation de brevets : la base de connaissances, la base des convertisseurs d'énergie, la matrice des découvertes et les tendances d'évolution. Pour terminer la méthode et les différents éléments développés sont rassemblés dans un outil interactif.

6.2.2 La base de connaissances

La génération d'une base de connaissance à partir de la sélection des mots clés pertinents permet une recherche d'informations tout azimut. Cette base est constituée en premier lieu par la concaténation des mots clés pertinents. Les mots clés liés à l'analyse physique proviennent de l'analyse du fonctionnement attendu et du flux fonctionnel nécessaire à la réalisation de la fonction, ce flux sera décrit par une décomposition fonctionnelle énergétique. Cette décomposition permet d'identifier et de sélectionner les phénomènes physiques mis en jeux ou induits. Les phénomènes physiques, les techniques d'amélioration et les mots clés associés à la fonction à satisfaire, constituent la base de connaissance. La décomposition fonctionnelle nous permet d'avoir accès à des mots-clés différents qui sortent du champ des mots-clés initiaux. Ces mots-clés proviennent de différents types de convertisseurs d'énergie que nous pouvons sélectionner. Cela nous permet de rechercher des brevets dans des champs différents.

6.2.3 La base de convertisseurs d'énergie

La base de données des effets physiques liés aux convertisseurs permet de remplir la base précédente mais aussi complète la recherche des opportunités d'évolution. Cette base corréle une énergie d'entrée et une énergie de sortie par le biais d'un effet physique. L'importance de la base de convertisseurs d'énergie est mise en évidence, dans un premier temps lors de l'analyse physique de la fonction principale où elle fournit différents mots clés physiques qui serviront ensuite à raffiner les recherches. Dans un second temps, cette base permet l'évolution des concepts en proposant de nouveaux convertisseurs lors du troisième axe de recherche d'opportunités d'évolution.

6.2.4 La matrice des découvertes

Les brevets pertinents sont classés dans des matrices des découvertes construites à partir des phénomènes physiques impliqués dans le fonctionnement croisés avec les technologies utilisées. La matrice des découvertes que nous avons construite, n'est pas seulement un moyen de classement, elle oriente la recherche d'exploitation des brevets. Le premier axe d'études des opportunités d'évolution trouvées concerne les cellules vides de la matrice des découvertes qui constituent des concepts non encore protégés mais peut être réalisables. Nous utilisons alors des méthodes d'aide à l'innovation structurées comme TRIZ ou MAL'IN et cherchons à en déduire des opportunités d'évolution pour aller vers des solutions innovantes.

6.2.5 Les tendances d'évolution

Nous proposons des tendances d'évolution de systèmes techniques enrichis par les lois d'évolution de la théorie TRIZ, les règles de l'art de l'ingénieur et selon des heuristiques de conception développées par I2M-IMC. Pour ce qui est des opportunités d'évolution, nos tendances bâtissent le deuxième axe, elles permettent d'analyser les brevets préalablement classés par ordre de parution. L'analyse par tendances consiste à s'aider de huit fiches des tendances d'évolutions pour étudier les brevets et déceler les évolutions futures.

De surcroît, l'intégration de trois fondements techniques (lois, règles, et heuristiques) compilés en fiches des tendances, ouvre un champ de possibilités pour plusieurs auteurs qui, jusqu'à aujourd'hui, se servent uniquement de lois d'évolution pour exploiter les brevets en vue de la prévision technologique, l'évaluation technologique, le transfert technologique...

6.2.6 L'outil interactif

Nous avons cherché à outiller la méthodologie globale sous la forme interactive. Plusieurs modules sont proposés pour guider le concepteur dans le parcours de la méthode. Certains modules ont été conçus pour automatiser différentes activités de la méthode et faciliter les tâches manuelles, soit :

- Pour accélérer et approfondir la recherche d'information, un module spécifique incorpore plusieurs sites du domaine scientifique et technique i.e., brevets, moteurs

de recherche spécialisés, revues scientifiques, archives ouvertes,... et fournit aussi des sites pour cartographier les mots clés, ce qui contribue aux recherches.

- Un module de recherche permet de gérer les requêtes en combinant les mots clés de la base de connaissances. La sélection de plusieurs mots clés constitue une requête qui est lancée directement sur l'interface d'EspaceNet.
- Les brevets considérés pertinents sont classés directement sur la matrice grâce à une extension de récupération de données qui permet aussi l'enregistrement de premières connaissances.

Nous cherchons à proposer un outil dynamique et intuitif qui relie les différentes activités nécessaire à la méthodologie (analyse de problème, recherche de l'existant, classification des brevets, recherche des axes d'innovation,...), lors de l'étude d'un problème industriel. La version développée est basée sur Excel et programmée sur VBA¹¹⁰. Cet outil est repris et amélioré dans la thèse de David Rios-Zapata qui se soutiendra dans 2 ans.

6.3 Applications

La méthodologie pour la résolution de problèmes industriels a été confrontée à un cas d'application du domaine pétrolier. Il s'agissait de trouver des concepts intéressants pour concevoir un nouveau système de séparation des mélanges bi-phasiques en offshore profond. L'application de notre approche a permis d'illustrer amplement le parcours à suivre en passant à travers trois axes prédéfinis (définition, recherche / analyse, et l'innovation). Ensuite, elle a fourni plusieurs concepts partiels lors de l'exploration de trois axes de zones d'innovation. Enfin, une proposition hybride a été définie, elle constitue une première approche d'innovation et un point d'inspiration pour le développement de futurs systèmes de séparation de mélanges à huile/gaz.

L'efficacité et la robustesse de la méthode est mise en évidence au cours de :

- L'analyse physique et la décomposition fonctionnelle des systèmes centrifuges, qui nous ont donné accès à des mots clés sortants du champ d'application initial,
- La généralisation de la recherche en changeant le type de force de séparation, qui nous a permis de changer le concept initial,
- L'analyse par tendances d'évolution des systèmes de séparation à hélices et à plateaux, qui nous a fourni des pistes d'innovation,
- L'application d'une vision exhaustive qui nous a orientés vers des systèmes allant des forces gravitaires aux forces électromagnétiques.

La méthodologie d'exploitation de brevets menée dans ces travaux de recherche vient à compléter l'ample répertoire de bases de connaissances, outils, techniques et savoir-faire originaux de la société Galtenco Solutions. Nous avons proposé à l'entreprise une méthodologie originale qui est en harmonie avec sa vision innovatrice, basée sur une

¹¹⁰ VBA est l'acronyme anglais de : Visual Basic for Applications

compréhension fine de la physique fondamentale dans la résolution de problèmes complexes.

6.4 Limites et perspectives

La méthode actuelle à certaines limitations et offre de nombreuses perspectives citées dans les paragraphes suivants.

Cette méthodologie a levé le verrou concernant l'expression de nouveaux mots clés étroitement liés à la réalisation et à l'évolution de la fonction à satisfaire. Au long de l'application de cette méthode, principalement dans la phase de définition du problème, nous avons constaté que certaines requêtes n'ont pas de pertinence pour le domaine cherché, c.à.d. les résultats affichés sont incohérents. Cela résulte du fait que, soit un mot clé à diverses significations selon le contexte d'utilisation, soit le mot a changé de sens lors de la combinaison avec d'autres mots clés ou soit un ou plusieurs mots clés sélectionnés proviennent d'une traduction faite à partir d'une autre langue ou le sens n'est pas le même. Pour contourner cette ambiguïté, dans le premier chapitre, nous avons souligné les travaux de (Setchi and Bouchard 2010). Il serait intéressant d'intégrer une approche fondée sur l'extraction des concepts visuels. Une telle approche pourrait ressourcer nos requêtes par des supports visuels, en particulier les dessins, pour valider leur pertinence et pourrait servir en tant que source d'inspiration pour les concepteurs.

En ce qui concerne l'analyse de brevets, notre méthodologie est limitée à une exploration manuelle pour extraire les technologies et les phénomènes physiques impliqués dans chaque invention étudiée. Un axe possible d'amélioration peut être l'adoption des techniques, méthodes et outils issus de l'intelligence artificielle. En effet, l'intégration des méthodes abordées dans le premier chapitre (i.e. le traitement de langage naturel, la mesure de la similarité sémantique,...), peuvent améliorer considérablement le temps d'analyse et automatiser la phase d'extraction d'informations pertinentes.

La méthode interactive ici présentée continue à évoluer vers une ambiance collaborative en intégrant des nouveaux outils et des technologies informatiques récentes (thèse en cours de David Rios-Zapata).

Notre méthodologie doit être appliquée dans d'autres domaines industriels afin de corroborer sa validité et sa fiabilité. Nous avons commencé un autre cas d'application dans un domaine purement mécanique. L'étude d'évolution des nacelles à bras télescopique donnera l'occasion de tester à nouveau l'efficacité de la méthode.

Nous cherchons à assurer la complétude de nos tendances d'évolution par d'autres règles de conception. Il serait enrichissant de faire tester nos fiches de tendances par diverses communautés qui exploitent les brevets pour mesurer leur degré de finesse dans les activités de conception.

Enfin, un projet en préparation avec le GREThA qui mène des recherches dans le domaine de l'intelligence technologique et développe des méthodologies pour une compréhension

fine de l'environnement concurrentiel des firmes des secteurs de haute technologie. Il s'agira de prouver la complétude des 2 approches.

REFERENCES

- Ahlemeyer-Stubbe, Andrea, and Shirley Coleman. 2014. *A Practical Guide to Data Mining for Business and Industry*. doi:10.1002/9781118763704.
- Altshuller, Genrich Saulovich. 1984. *Creativity as an Exact Science: The Theory of the Solution of Inventive Problems*. CRC Press.
- . 1994. *And Suddenly the Inventor Appeared TRIZ , the Theory of Inventive Problem Solving*. Edited by Lev Shulyak. www.triz.org.
- Altshuller, Genrich Saulovich, and A Seredinski. 2004. *40 Principes D'innovation: TRIZ Pour Toutes Applications*. Seredinski (Avraam). <https://books.google.ca/books?id=emILGQAACAAJ>.
- Amiroudine, Sakir, and Jean-Luc Battaglia. 2011. *Mécanique Des Fluides*. Paris: Dunod.
- Anne, Kao, and R.Poteet Stephen. 2009. *Natural Language Processing and Text Mining*. Edited by Springer. doi:10.1007/978-1-84628-754-1.
- Baker, Glen. 2003. "Separation and Control of Gas-Liquid Flows at Horizontal T-Junctions." Ph.D Thesis., University of Nottingham School. <http://etheses.nottingham.ac.uk/1721/>.
- Beckman, Jeremy. 2008. "Total Turns to Subsea Separation for Problematic Pazflor Crude." *Offshore*. <http://www.offshore-mag.com/articles/print/volume-68/issue-5/field-development/total-turns-to-subsea-separation-for-problematic-pazflor-crude.html>.
- Bécue, Mathieu, Marina Flamand, and Vincent Frigant. 2013. "Une Analyse Des Trajectoires Inventives À Travers Le Triptyque Brevet , Réglementation , Finance : Le Cas de L'ophtalmologie Laser" 5: 51–70.
- Calle-Escobar, Manuela, Ricardo Mejía-Gutiérrez, Jean-Pierre Nadeau, and Jérôme Pailhes. 2014. "Heuristics-Based Design Process." *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*. doi:10.1007/s12008-014-0248-x.
- Carvalho, Marco Aurélio de, Tz-chin Wei, and Semyon D Savransky. 2004. *121 Heuristics for Solving Problems*. USA: Lulu Press Inc.
- Cavallucci, Denis, François Rousselot, and Cécilia Zanni. 2011. "Using Patents to Populate an Inventive Design Ontology." *Procedia Engineering* 9: 52–62. doi:10.1016/j.proeng.2011.03.100.

- Chang, Pao-Long, Chao-Chan Wu, and Hoang-Jyh Leu. 2012. "Investigation of Technological Trends in Flexible Display Fabrication through Patent Analysis." *Displays* 33 (2): 68–73. doi:10.1016/j.displa.2012.03.003.
- Chen, Liang, Naoyuki Tokuda, and Hisahiro Adachi. 2003. "A Patent Document Retrieval System Addressing Both Semantic and Syntactic Properties." *Proceedings of the ACL-2003 Workshop on Patent Corpus Processing* 20: 1–6. doi:http://dx.doi.org/10.3115/1119303.1119304.
http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1119303.1119304\nhttp://dx.doi.org/10.3115/1119303.1119304.
- Choi, Sungchul, Hyunseok Park, Dongwoo Kang, Jae Yeol Lee, and Kwangsoo Kim. 2012. "An SAO-Based Text Mining Approach to Building a Technology Tree for Technology Planning." *Expert Systems with Applications* 39 (13): 11443–11455. doi:10.1016/j.eswa.2012.04.014.
- Chulvi, Vicente, and Rosario Vidal. 2011. "Usefulness of Evolution Lines in Eco-Design." *Procedia Engineering* 9: 135–144. doi:10.1016/j.proeng.2011.03.107.
- Costantini, Valeria, Francesco Crespi, and Ylenia Curci. 2015. "A Keyword Selection Method for Mapping Technological Knowledge in Specific Sectors through Patent Data: The Case of Biofuels Sector." *Economics of Innovation and New Technology* 24 (4).
- De Bellis, Nicola. 2009. *Bibliometrics and Citation Analysis: From the Science Index to Cybermetrics*. Scarecrow Press, Inc.
- Eivind, Gramme Per, and Lie Gunnar Hannibal. 2006. "PIPE SEPARATOR INLET."
- El-Haik, Basem Said. 2005. *AXIOMATIC QUALITY Integrating Axiomatic Design with Six-Sigma, Reliability, and Quality Engineering*. John Wiley & Sons, Inc.
- Fall, C. J., A. Töröcsvári, K. Benzineb, and G. Karetka. 2003. "Automated Categorization in the International Patent Classification." *ACM SIGIR Forum* 37 (1): 10–25. doi:10.1145/945546.945547.
- Fantoni, G., R. Apreda, F. Dell'Orletta, and M. Monge. 2013. "Automatic Extraction of Function-behaviour-state Information from Patents." *Advanced Engineering Informatics* 27 (3): 317–334. doi:10.1016/j.aei.2013.04.004.
- Fujii, Atsushi, Makoto Iwayama, and Noriko Kando. 2007. "Introduction to the Special Issue on Patent Processing." *Information Processing and Management* 43 (5): 1149–1153. doi:10.1016/j.ipm.2006.11.004.
- Gero, John S. 1990. "Design Prototypes: A Knowledge Representation Schema for Design." *AI Magazine* 11 (4): 26. doi:10.1609/aimag.v11i4.854.
http://www.aaai.org/ojs/index.php/aimagazine/article/view/854.

- Gero, John S., and Udo Kannengiesser. 2004. "The Situated Function–behaviour–structure Framework." *Design Studies* 25 (4) (July): 373–391. doi:10.1016/j.destud.2003.10.010. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0142694X03000735>.
- Gomez, Guillermo Valente. 2010. "Enrichissement de Requêtes et Visualisation Sémantique Dans Une Coopération de Systèmes D'information: Méthodes et Outils D'aide À La Recherche D'information." Ph.D Thesis., Université de Bourgogne.
- Igor, Boshakov, and Gelbukh Alexander. 2004. *Computational Linguistics: Models, Ressources, Applications*. Instituto Politecnico Nacional.
- Ingwersen, Peter, and Kalervo Järvelin. 2005. *The Turn Integration of Information Seeking and Retrieval in Context*. Springer.
- Jakus, Grega, Veljko Milutinović, Sanida Omerović, and Sašo Tomažič. 2013. *Concepts, Ontologies, and Knowledge Representation*. Springer. doi:10.1007/978-1-4614-7822-5. <http://link.springer.com/10.1007/978-1-4614-7822-5>.
- Jozef-K, Tylko. 1979. "Apparatus and Procedure for Reduction of Metal Oxides." United State patent US4154972. http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=worldwide.espacenet.com&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=19790515&CC=US&NR=4154972A&KC=A.
- Kristiansen, Olav. 2012. "Compact , Inline Separation Technology – What and Why ?"
- Li, Yan-Ru, Leuo-Hong Wang, and Chao-Fu Hong. 2009. "Extracting the Significant-Rare Keywords for Patent Analysis." *Expert Systems with Applications* 36 (3): 5200–5204. doi:10.1016/j.eswa.2008.06.131.
- Li, Zhen, Derrick Tate, Christopher Lane, and Christopher Adams. 2012. "A Framework for Automatic TRIZ Level of Invention Estimation of Patents Using Natural Language Processing, Knowledge-Transfer and Patent Citation Metrics." *Computer-Aided Design* 44 (10): 987–1010. doi:10.1016/j.cad.2011.12.006.
- Loh, Han Tong, Cong He, and Lixiang Shen. 2006. "Automatic Classification of Patent Documents for TRIZ Users." *World Patent Information* 28 (1): 6–13. doi:10.1016/j.wpi.2005.07.007.
- Lopez Flores, René, Jean Pierre Belaud, Stéphane Negny, and Jean Marc Le Lann. 2015. "Open Computer Aided Innovation to Promote Innovation in Process Engineering." *Chemical Engineering Research and Design*: 1–18. doi:10.1016/j.cherd.2015.08.015. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0263876215003135>.
- Mann, Darrell. 2002. *Hands-on Systematic Innovation*. Edited by CREAX Press.

- Mann, Darrell L. 2003. "Better Technology Forecasting Using Systematic Innovation Methods." *Technological Forecasting and Social Change* 70 (8): 779–795. doi:10.1016/S0040-1625(02)00357-8.
- Margaris, Dionissios P. 2007. "T-Junction Separation Modelling in Gas-Liquid Two-Phase Flow." *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 46 (2): 150–158. doi:10.1016/j.cep.2006.05.007. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0255270106001528>.
- Martinez, Imanol. 2014. "Conception Innovante D'un Réservoir À Pression Pour L'offshore Profond." Bordeaux.
- Melucci, Massimo, and Ricardo Baeza-Yates. 2011. *Advanced Topics in Information Retrieval. Information Retrieval*. Vol. 25. Springer. doi:10.1007/978-3-642-20946-8.
- Montecchi, Tiziano, Davide Russo, and Ying Liu. 2013. "Searching in Cooperative Patent Classification: Comparison between Keyword and Concept-Based Search." *Advanced Engineering Informatics* 27 (3): 335–345. doi:10.1016/j.aei.2013.02.002.
- Nadeau, Jean-pierre, and Jérôme Pailhès. 2007. "L'analyse Des Phénomènes Physiques, Éléments Essentiels Vers La Résolution de Problèmes Industriels." *Mechanique & Industries* 171: 165–171. doi:10.1051/meca:2007035.
- . 2010. *Méthodologie En Conception Préliminaire*. Arts et Métiers ParisTech.
- Negny, Stéphane, Guillermo Cortes Robles, and Jean Marc Le Lann. 2008. "Design Acceleration in Chemical Engineering." *Chemical Engineering and Processing Process Intensification* 47 (11): 2019–2028. doi:10.1016/B978-0-08-096659-5.00018-3. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0255270107003224>.
- Nickles, Thomas. 1981. "What Is a Problem That We May Solve It?" *Scientific Method as a Problem-Solving and Question- Answering Technique* 47 (1): 85–118. <http://www.jstor.org/stable/20115620>.
- Oliveira, Paulo Jorge Dos Santos Pimentel de. 1992. "Computer Modelling of Multidimensional Multiphase Flow and Application to T-Junctions." Ph.D Thesis, University of London.
- Ottawa University. 2015. "Les Brevets." Accessed September 1. <http://uottawa.libguides.com/c.php?g=265337&p=1772698>.
- OuYang, Kuang, and Calvin S. Weng. 2011. "A New Comprehensive Patent Analysis Approach for New Product Design in Mechanical Engineering." *Technological Forecasting and Social Change* 78 (7): 1183–1199. doi:10.1016/j.techfore.2011.02.012.
- Pahl, Gerhard, and Wolfgang Beitz. 1988. *Engineering Design A Systematic Approach*. Springer-Verlag.

- Pailhès, Jérôme, and Jean-Pierre Nadeau. 2007. "Innover En Conception Par Les Méthodes d'Aide À L'INnovation MAL'IN." In *7ème Congrès International de Génie Industriel*. Troisrivières, Canada.
- Pailhès, Jérôme, Mohammed Sallaou, Jean-Pierre Nadeau, and Georges M. Fadel. 2011. "Energy Based Functional Decomposition in Preliminary Design." *Journal of Mechanical Design* 133 (5): 051011. doi:10.1115/1.4004193.
- Park, Hyunseok, Kwangsoo Kim, Sungchul Choi, and Janghyeok Yoon. 2012. "A Patent Intelligence System for Strategic Technology Planning." *Expert Systems with Applications* 40 (7): 2373–2390. doi:10.1016/j.eswa.2012.10.073.
- Park, Hyunseok, Jason Jihoon Ree, and Kwangsoo Kim. 2013. "Identification of Promising Patents for Technology Transfers Using TRIZ Evolution Trends." *Expert Systems with Applications* 40 (2): 736–743. doi:10.1016/j.eswa.2012.08.008.
- Park, Hyunseok, Janghyeok Yoon, and Kwangsoo Kim. 2013. "Using Function-Based Patent Analysis to Identify Potential Application Areas of Technology for Technology Transfer." *Expert Systems with Applications* 40 (13): 5260–5265. doi:10.1016/j.eswa.2013.03.033.
- Petrov, Vladimir. 2002. "The Laws of System Evolution." *The TRIZ Journal*. <http://www.triz-journal.com/laws-system-evolution/>.
- Polovinkin, Alexander. 1991. "Theory of New Technique Design: Laws of Technical Systems and Their Application." [*in Russian*.] *Informeletro*: 98–102.
- Polovinkin, Alexander I. 1988. *Fundamentals of Engineering Creativity - For Students of Technical Colleges*. Moscow: Mashinostroenie.
- Rios-Zapata, David, Jérôme Pailhès, Jean-Pierre NADEAU, and Valverde Ulises. 2015. "Development of Integrating Framework to Support Product Design Processes in Conceptual Design Stage through Multitouch Interfaces." In *14e Colloque National AIP-Priméca*. La Plagne.
- Roper, Alan Thomas, Scott W Cunningham, Alan L Porter, Thomas W Mason, Frederick a Rossini, and Jerry Banks. 2011. *Forecasting and Management of Technology*. Wiley.
- Rosa, E.S, F.a França, and G.S Ribeiro. 2001. "The Cyclone Gas–liquid Separator: Operation and Mechanistic Modeling." *Journal of Petroleum Science and Engineering* 32 (2-4): 87–101. doi:10.1016/S0920-4105(01)00152-8. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410501001528>.
- Russo, Davide, and Tiziano Montecchi. 2011a. "A Function-Behaviour Oriented Search for Patent Digging." *Proceedings of the ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*: 1–10. doi:10.1115/DETC2011-47733.

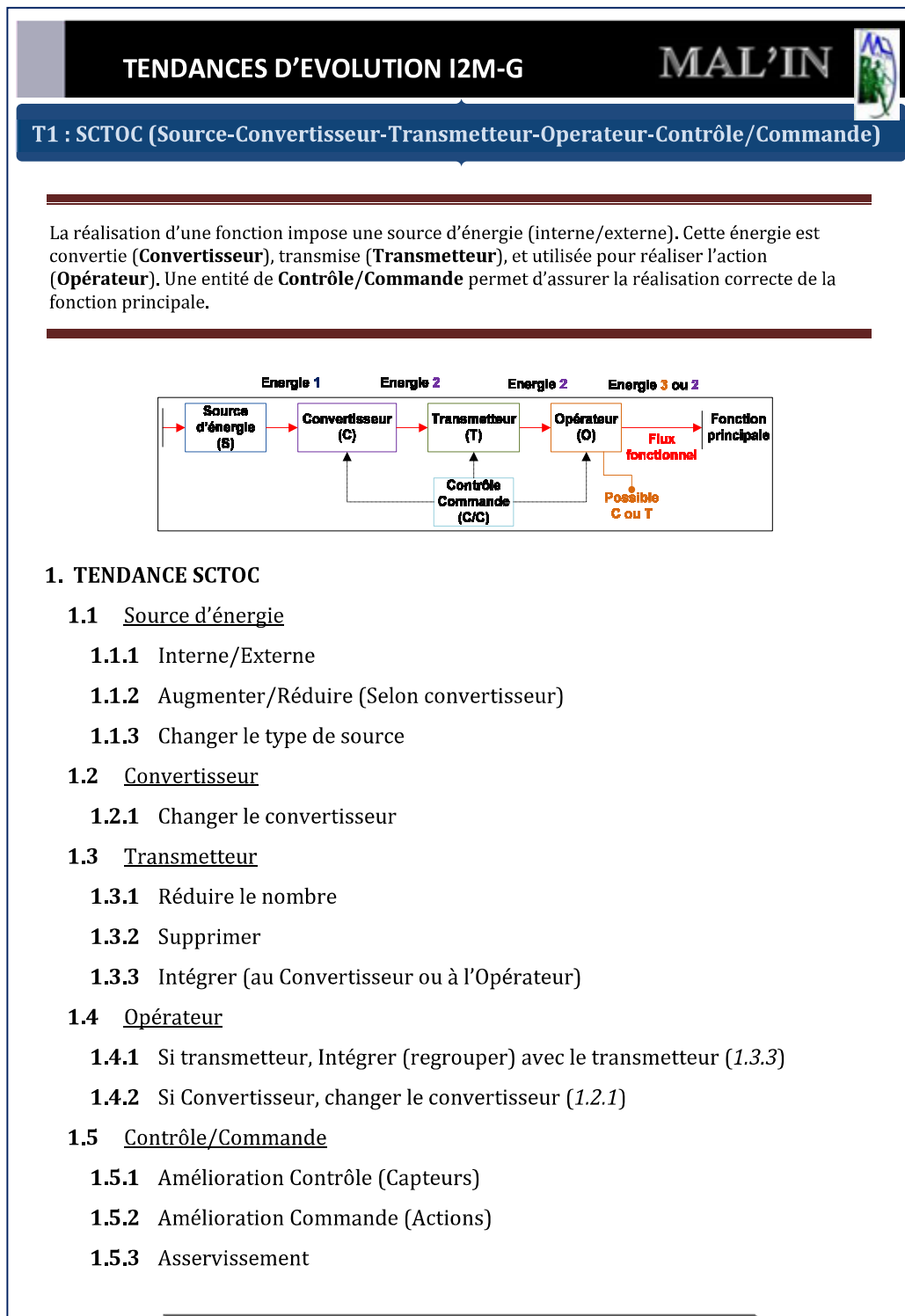
- . 2011b. "Creativity Techniques for a Computer Aided Inventing System." In *ICED 11 - 18th International Conference on Engineering Design - Impacting Society Through Engineering Design*, 362–373. Lyngby/Copenhagen, Denmark.
- Russo, Davide, Tiziano Montecchi, and Liu Ying. 2012. "Functional-Based Search for Patent Technology Transfer." In *ASME International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 1–11. doi:10.1115/DETC2012-70833.
- Salamatov, Yuri Petrovich. 1996. "A System of Laws of Technology Evolution (Basics of The Theory of Technical System Evolution." [in Russian.] *Second Edition*, Krasnoyarsk, *Institute of Innovative Design*. <http://www.trizminsk.org/e/21101000.htm#toc>.
- Sallaou, Mohammed. 2008. "Taxonomie Des Connaissances et Exploitation En Conception Préliminaire - Application a Un Système Éolien -." Arts et Métiers ParisTech.
- Samet, Wafa. 2010. "Développement D'une Méthode D'éco-Innovation : Eco-MAL'IN." Arts et Métiers ParisTech.
- Savransky, Semyon D. 2000. *Engineering of Creativity, Introduction to TRIZ Methodology of Inventive Problem Solving*. CRC Press. CRC Press Book.
- Savransky, Semyon D., Marco A. de Carvalho, and Tz-Chin Wei. 2000. "100+ Heuristics for Systems Transformations: A Brief Report of US Patent Fund Study." *The TRIZ Journal*. <http://www.triz-journal.com/100-heuristics-systems-transformations-brief-report-us-patent-fund-study/>.
- Savransky, Semyon D., and Tz-Chin Wei. 2001. "Comparison of Polovinkin's Heuristics with Altshuller's Principles." *The TRIZ Journal*. <http://www.triz-journal.com/comparison-polovinkins-heuristics-altshullers-principles/>.
- Scaravetti, Dominique. 2004. "Formalisation Préalable D'un Problème de Conception, Pour L'aide À La Décision En Conception Préliminaire." Arts et Métiers ParisTech.
- Setchi, Rossitza, and Carole Bouchard. 2010. "In Search of Design Inspiration: A Semantic-Based Approach." *Journal of Computing and Information Science in Engineering* 10 (3): 145. doi:10.1115/1.3482061.
- Stalph, Patrick. 2014. *Analysis and Design of Machine Learning Techniques*. Springer. doi:10.1007/978-3-658-04937-9.
- Steiner, Alexis, Laure Morel, and Mauricio Camargo. 2014. "Well-Suited Organization to Open Innovation: Empirical Evidence from an Industrial Deployment." *Journal of Innovation Economics & Management* 13: p. 93–113. doi:10.3917/jie.013.0093. www.cairn.info/revue-journal-of-innovation-economics-2014-1-page-93.htm.

- Suh, N P. 1990. *The Principles of Design*. Oxford Series on Advanced Manufacturing. Oxford University Press. <https://books.google.fr/books?id=Z5fF5qQPQ9sC>.
- Sun, Zhiying, Chen Haijun, Liu Haili, Liu Dongjie, Zhao Zhongjie, Zhang Fumin, Wu Luning, et al. 2013. "High-Frequency Resonance Induction Coalescence Oil-Gas-Water Remover." Patent CN202666475. http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=worldwide.espacenet.com&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20130116&CC=CN&NR=202666475U&KC=U.
- Tian, Liang, Yang Zhiping, and Hu Zhengyin. 2013. "The Large Aperture Optical Elements Patent Search System Based on Domain Knowledge Organization System." *World Patent Information*: 1–5. doi:10.1016/j.wpi.2013.04.007.
- Tor, Bruun, Fiveland Torbjørn, and Werswick Bjoernar. 2012. "GAS-LIQUID SEPARATOR." United State patent US2012/000643.
- Tseng, Yuen-Hsien, Chi-Jen Lin, and Yu-I Lin. 2007. "Text Mining Techniques for Patent Analysis." *Information Processing & Management* 43 (5): 1216–1247. doi:10.1016/j.ipm.2006.11.011.
- Verhaegen, P-A, J D'hondt, J Vertommen, S Dewulf, and J.R Duflou. 2009. "Relating Properties and Functions from Patents to TRIZ Trends." *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* 1 (3): 126–130. doi:10.1016/j.cirpj.2008.09.010.
- "What Are Parts of Speech?" 2015. Accessed September 12. <http://www.whitesmoke.com/parts-of-speech>.
- White, Michael. 2010. "Patent Searching: Back to the Future How to Use Patent Classification Search Tools to Create Better Searches." In *1st CEEA Conference: Queen's University Kingston*. Ontario. <http://library.queensu.ca/ojs/index.php/PCEEA/issue/view/338>.
- Wolff, Tom. 2015. "Patent Databases." <http://wiki.piug.org/display/PIUG/Patent+Databases>.
- Yoon, Byungun, and Yongtae Park. 2004. "A Text-Mining-Based Patent Network: Analytical Tool for High-Technology Trend." *The Journal of High Technology Management Research* 15 (1): 37–50. doi:10.1016/j.hitech.2003.09.003.
- Yoon, Janghyeok, and Kwangsoo Kim. 2011. "An Automated Method for Identifying TRIZ Evolution Trends from Patents." *Expert Systems with Applications* 38 (12): 15540–15548. doi:10.1016/j.eswa.2011.06.005.
- Yoon, Janghyeok, and Kim, Kwangsoo. 2012. "TrendPerceptor: A Property-Function Based Technology Intelligence System for Identifying Technology Trends from Patents." *Expert Systems with Applications* 39 (3): 2927–2938. doi:10.1016/j.eswa.2011.08.154.

- Yuhong, Xie, Song Huang, Lvxiong Ke, Daquan Li, Shengjie Zhou, Hui Hu, Weiming Wen, and Gongping Li. 2011. "Cyclone Separator at Front of Moisture Compressor in Production Process of Natural Gas." Patent CN202052637. http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/biblio?DB=worldwide.espacenet.com&II=0&ND=3&adjacent=true&locale=en_EP&FT=D&date=20111130&CC=CN&NR=202052637U&KC=U.
- Yukio, Ohsawa. 2003. *Chance Discovery*. Edited by McBurney Peter. doi:10.1007/978-3-662-06230-2.
- . 2006. *Chance Discoveries in Real World Decision Making*. Edited by Tsumoto Shusaku.
- Zouaoua-ragab, Dalia. 2012. "Lois D'évolution de TRIZ Pour La Conception Des Futures Générations Des Produits : Proposition D'un Modèle."

ANNEXES

Annexe A Fiches des tendances d'évolution



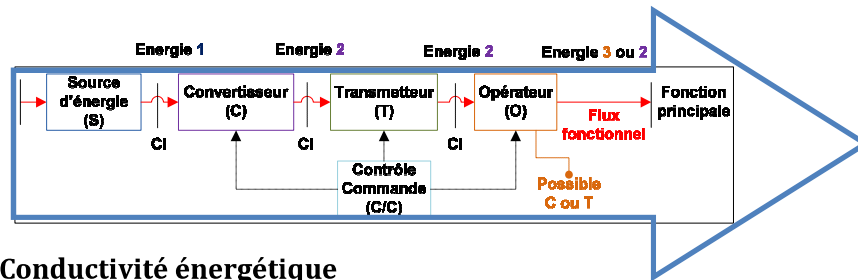
TENDANCE D'EVOLUTION I2M-G

MAL'IN



T2 : Conductivité énergétique

Un bon système doit assurer de manière efficace le libre passage du flux énergétique à travers les composants SCTOC.



2. TENDANCE Conductivité énergétique

2.1 Raccourcir le trajet énergétique

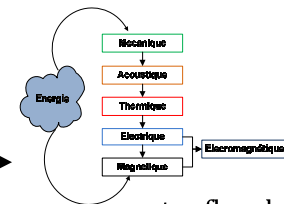
- 2.1.1 Diminuer le nombre de composants
- 2.1.2 Diminuer le nombre de composants d'interaction (CI) jusqu'à les éliminer

2.2 Améliorer le fonctionnement du convertisseur

- 2.2.1 Réduire les transformations successives
- 2.2.2 Transformer ou améliorer les paramètres de transfert
- 2.2.3 Garder en haut niveau des variables d'état (T, P,...)

2.3 Accroître la contrôlabilité des champs (MATHEM)

- 2.3.1 Par remplacement (ou superposition) d'un flux mécanique par un autre flux du type mécanique: thermique, chimique, optique, acoustique...
- 2.3.2 Par utilisation (ou superposition) d'un champ magnétique, électrique ou électromagnétique
- 2.3.3 Par évolution des champs de stationnaire à dynamique, de constant à variable, d'aléatoire à structuré



2.4 Réduire les pertes

- 2.4.1 Modifier les variables d'état (T, P,...)
 - 2.4.1.1 Modifier Localement
 - 2.4.1.2 Modifier Globalement
- 2.4.2 Superposer une action contraire préalable pour éliminer ou compenser les effets nuisibles
 - 2.4.2.1 Précontraindre le système (actions continues)
 - 2.4.2.2 Rajouter une action en opposition de phase (actions périodiques)



T3 : Coordination des rythmes

La condition préalable à l'évolution d'un système technique est la mise en concordance ou en discordance volontaire de la fréquence, oscillations, vibrations, périodicité, résonance de toutes les parties du système technique

3. TENDANCE Coordination des rythmes

3.1 Coupler

- 3.1.1 En phase
- 3.1.2 En opposition de phase
- 3.1.3 En compensation
- 3.1.4 Résonance accordée

3.2 Découpler

- 3.2.1 En indépendance
- 3.2.2 Eliminer les effets indésirables

3.3 Amortir

3.4 Transformer l'action

- 3.4.1 De continue à périodique ou pulsée
- 3.4.2 De périodique ou pulsée à continue

3.5 Accroître/Modifier la fréquence

- 3.5.1 D'une action
- 3.5.2 D'une énergie périodique
- 3.5.3 De vibration (fréquences ultrasonores)

3.6 Accroître/Modifier l'amplitude

- 3.6.1 D'une action
 - 3.6.2 D'une énergie périodique
-

TENDANCES D'EVOLUTION I2M-G

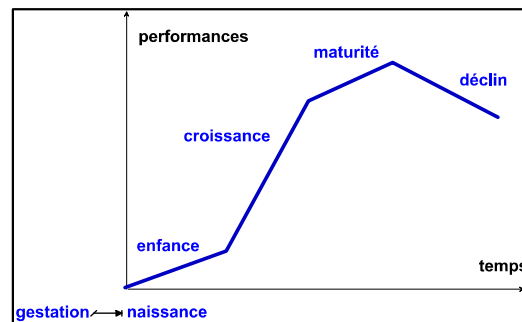
MAL'IN



T4 : Augmentation du niveau de perfectionnement

Tout système évolue en augmentant sa complexité et doit ensuite se simplifier

Evolution temporelle d'un système technique



4. TENDANCE Augmentation du niveau de perfectionnement

4.1 Augmenter sa complexité

4.1.1 Créer un noyau fonctionnel

4.1.2 Ajouter des sous-systèmes auxiliaires

4.1.2.1 Réaliser une fonction manquante

4.1.2.2 Traiter les actions nuisibles

4.1.2.2.1 Détourner cette action

4.1.2.2.2 Transformer en action utile

4.1.2.3 Effectuer une action contraire

4.1.3 Augmenter les nombres de niveaux hiérarchiques

4.1.3.1 Segmenter la structure des composants

4.1.3.1.1 En couches vers les multi couches

4.1.3.1.2 En éléments identiques, en éléments creux (tubes, alvéoles). En les interpénétrant, et en dissociant leurs fonctions (multi matériaux)

4.1.3.1.3 Jusqu'à des milieux poreux et l'introduction du vide

4.1.3.2 Segmenter des composants

4.1.3.2.1 Par division en composants démontables, indépendants, modulaires, fragmentables ou adaptables (abradable ou autocicatrisant)

4.1.3.2.2 En composants indépendants de plus en plus petits (solide à billes, poudre, particules)

4.1.3.2.3 En composants identiques pour augmenter l'efficacité

TENDANCES D'EVOLUTION I2M-G

MAL'IN



- 4.1.3.2.4 En composants différents à fonctions identiques, à fonctions différentes, à fonctions inverses ou opposées
- 4.1.3.2.5 Pour les faire évoluer d'homogènes à hétérogènes (ou inversement)
- 4.1.3.2.6 En composants à fonctions indépendantes optimisées et/ou conditionnelles (selon situation de vie, selon ressources disponibles)
- 4.1.3.2.7 En composants à caractéristiques opposées (isolant/conducteur, rigide/déformable, magnétique/amagnétique)
- 4.1.3.3 Segmenter des flux
 - 4.1.3.3.1 En introduisant un flux intermédiaire permanent ou non permanent (selon situation de vie, selon ressources disponibles)
 - 4.1.3.3.2 Virtuellement (vision infrarouge, ultraviolet, comportement vibratoire, sonore...) ou en utilisant l'image, le reflet pour un changement d'échelle
 - 4.1.3.3.3 En passant d'un contact plan (champ mécanique uniforme) à des contacts ponctuels (champ mécanique discret) (ou inversement)
 - 4.1.3.3.4 En passant d'un système déformable à un système rigide par modification du comportement des composants, de flexion à traction + compression (treillis), puis traction ou compression seules (précontrainte) (ou inversement)
 - 4.1.3.3.5 Pour les faire évoluer d'homogènes à hétérogènes (ou inversement)
- 4.1.3.4 Transférer vers les milieux extérieurs (*Tendance 6*)

4.2 Simplifier

- 4.2.1 Les composants d'interaction
 - 4.2.1.1 Réduire
 - 4.2.1.2 Standardiser
 - 4.2.1.3 Supprimer
- 4.2.2 Combiner des éléments qui assurent des fonctions identiques
- 4.2.3 Supprimer le non-demandé (garder le juste-nécessaire)
 - 4.2.3.1 Supprimer le plus critique
 - 4.2.3.2 Réaliser des fonctions utiles par les autres composants
- 4.2.4 Utiliser des substances intelligentes (matériaux, tissus, fibres, revêtements,...)

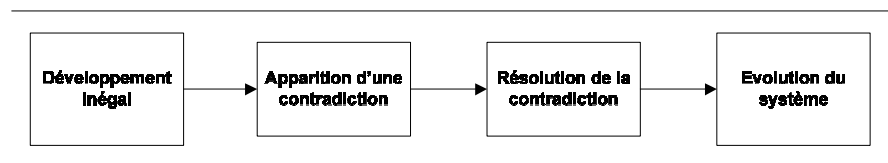
TENDANCE D'EVOLUTION I2M-G

MAL'IN



T5 : Développement inégal des entités

Chaque entité du système a sa propre évolution (développement non uniforme des éléments du système). Plus l'évolution des entités est inégale, plus le système devient complexe. Une entité qui arrive à son apogée bloque l'évolution du système. La réduction de la complexité va se faire en résolvant les contradictions techniques et physiques créées.



5. TENDANCE Développement inégal des entités

5.1 Exprimer les contradictions

5.2 Résoudre les contradictions

5.2.1 Techniques

5.2.2 Physiques

5.3 Analyser les évolutions des entités bloquantes et reconcevoir les entités de façon homogène

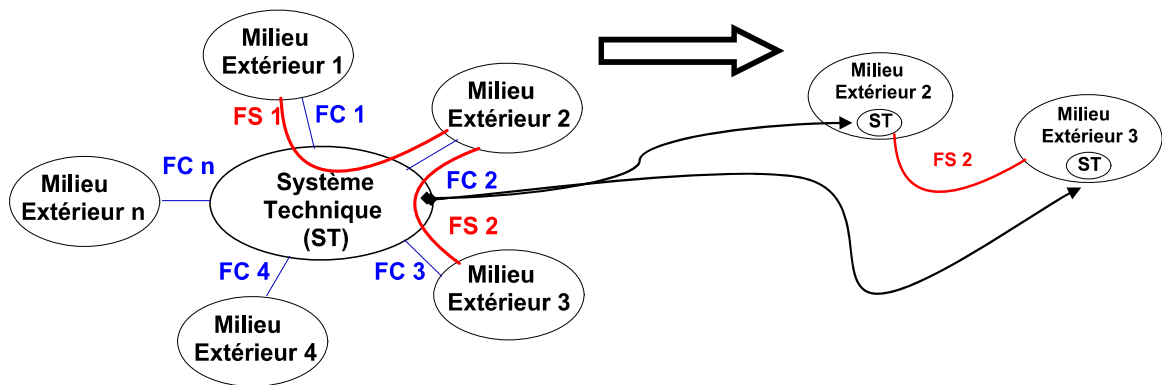
TENDANCES D'EVOLUTION I2M-G

MAL'IN



T6 : Transition vers les milieux extérieurs

L'évolution d'un système va vers l'élimination du non demandé pour garder le juste nécessaire. L'élimination du non demandé conduira à éliminer des milieux extérieurs. A la fin du processus le produit initial est absorbé par les deux derniers milieux extérieurs impliqués dans la fonction principale. Des évolutions intermédiaires peuvent exister par échange de fonctionnalités avec les milieux extérieurs.



6. TENDANCE Transition vers les milieux extérieurs

- 6.1 Prendre en compte le cycle de vie et les situations de vie de l'entité
- 6.2 Récupérer des fonctionnalités des milieux extérieurs (ou inversement)
- 6.3 Evoluer vers des bi-poly-systèmes
 - 6.3.1 Utiliser des Systèmes identiques pour augmenter l'efficacité
 - 6.3.2 Utiliser des Systèmes différents à fonctions identiques
 - 6.3.3 Utiliser des Systèmes différents à performances différentes
 - 6.3.4 Utiliser des Systèmes différents à fonction différentes
 - 6.3.5 Utiliser des Systèmes à fonctions inverses ou opposées
- 6.4 Intégrer l'un des milieux extérieurs (ou les deux)

TENDANCES D'EVOLUTION I2M-G

MAL'IN



T7 : Transition d'un macro-niveau vers un micro-niveau

Une fois qu'une entité opérationnelle ne peut plus être améliorée au macro-niveau, il est encore possible de la faire évoluer au micro-niveau. La notion de macro niveau et de micro niveau est directement liée au niveau structurel observé (solide, granulés, poudre, gel, liquide, brouillards, champs, molécules, atomes, ions, électrons...). Cette loi conduit à l'accroissement de l'emploi de champs énergétiques qui viennent remplacer les entités matérielles.

7. TENDANCE Transition d'un macro-niveau vers un micro-niveau

7.1 Segmenter

7.2 Evoluer vers les microsystemes

7.3 Evoluer vers la technologie moléculaire

7.4 Améliorer l'efficacité des champs (MATHEM)

7.4.1 Directs

7.4.2 En opposition

7.4.3 En résonance

7.4.4 Impulsions

7.4.5 Combinés

TENDANCE 3

7.4.6 Remplacer/Superposer un flux mécanique par une autre (mécanique, thermique, chimique, optique, acoustique,...)

7.4.7 Utiliser/Superposer un champ magnétique, électrique, électromagnétique

7.4.8 Faire évoluer les champs

7.4.8.1 De stationnaire à dynamique (ou inversement)

7.4.8.2 De constant a variable (ou inversement)

7.4.8.3 D'aléatoire à structuré (ou inversement)

7.5 Faire évoluer les matériaux

7.5.1 Vers une uniformisation

7.5.2 Vers une diversification

7.5.3 Vers de matériaux poreux (imbibés ou chargés)

7.5.4 Vers des multi matériaux

7.5.5 Utiliser des revêtements à propriétés différentes

7.5.6 De rigides à déformables (ou inversement)

7.5.7 Utiliser leurs propriétés différentielles (isotropes, anisotropes)

7.5.8 Changer leur état (solide/liquide/gaz/vide)

7.5.9 Changer de phase

7.5.10 Superposer des champs pour modifier leurs caractéristiques

7.5.11 Vers des matériaux à propriétés évolutives dans le temps

7.5.12 Matériaux à mémoire de forme

7.5.13 Matériaux à fonctions intégrées

TENDANCES D'EVOLUTION I2M-G

MAL'IN



T8 : Augmentation du dynamisme et du niveau de contrôlabilité

Pour développer ou augmenter l'efficacité d'un système, ses entités doivent évoluer de statiques à dynamiques (mobiles) pour accroître leur contrôlabilité. Différentes étapes d'évolution sont possibles : Les entités non contrôlables deviennent contrôlables, les champs mécaniques sont remplacés par de champs électromagnétiques, les entités deviennent compatibles entre elles. Généralement, l'évolution du système tend vers une diminution de l'intervention humaine.

8. LOI Augmentation du dynamisme et du niveau de contrôlabilité

8.1 Evoluer vers des multifonctionnalités

8.2 Accroître le nombre de degrés de liberté

8.2.1 De statique à dynamique

8.2.1.1 Passer d'un système rigide à déformable

8.2.1.2 Passer d'un système rigide à un système flexible (1,..., n articulations)

8.2.1.3 Passer d'un système flexible (1D) à déformable (2D, 3D)

8.2.1.4 Utiliser des fluides (liquide, gaz)

8.2.1.5 Utiliser des champs (4D)

8.2.1.6 Modifier le comportement des composants

8.2.1.6.1 De traction ou compression (précontrainte) à traction plus compression (treillis) puis flexion

8.2.1.6.2 En changeant les matériaux et leurs propriétés physiques

8.3 Accroître la contrôlabilité (MATHEM)

8.3.1 Par remplacement (ou superposition) d'un flux mécanique par un autre flux du type mécanique: thermique, chimique, optique, acoustique...

8.3.2 Par utilisation (ou superposition) d'un champ magnétique, électrique ou électromagnétique

8.3.3 Par évolution des champs de stationnaire à dynamique, de constant à variable, d'aléatoire à structuré

8.4 Faire évoluer la forme

8.4.1 De symétrique à asymétrique

8.4.2 Utiliser des matériaux poreux

8.4.3 De convexe à concave

8.4.4 Faire évoluer en 1D, 2D, 3D et 4D

8.5 Modifier les mouvements entre composants

8.5.1 Changer une translation par une rotation (ou inversement)

8.5.2 Introduire de mouvements internes

8.5.3 Remplacer le glissement par du roulement (ou inversement)

8.5.4 Supprimer l'effet de la gravité / les effets centrifuges

8.5.5 Utiliser l'effet de la gravité / les effets centrifuges

Annexe B Traduction des règles de Polovinkin Groupe 9 à 12.

Traduction du russe en français à partir de « *Fundamentals of Engineering Creativity - For Students of Technical Colleges* » (A. I. Polovinkin 1988). Le groupe 1 à 9 (selon Savransky) est disponible dans la thèse de (Scaravetti 2004).

9. L'utilisation de mesures préventives

- 9.1** Prévoir la protection et la couverture des éléments « fragiles » se cassant facilement. i.e. Blinder les objets.
- 9.2** Introduire des dispositifs de sécurité ou de blocage
- 9.3** Diviser l'objet fragile (ou souvent endommagé) en plusieurs parties.
- 9.4** Réaliser l'objet démontable de manière à remplacer les parties endommagées.
- 9.5** Pour réduire les temps morts (ou d'arrêt) et pour augmenter la fiabilité, utiliser des organes de travail standard. Regarder dans les parties principales de l'objet les éléments redondants ou doublés.
- 9.6** Protéger l'élément contre l'air ou un autre milieu environnant agressif.
- 9.7** Avant de fournir à l'objet une tension d'alimentation réviser la polarité du branchement.
- 9.8** Anticiper des changements opposés aux changements inadmissibles ou indésirables qui apparaissent au moment du fonctionnement de l'objet.
- 9.9** Anticiper le changement demandé de l'objet (entièrement ou quand même partiellement).
- 9.10** Fournir un lubrifiant de façon « automatique » aux parties soumises à frottement (pièces en mouvement)
- 9.11** Isoler l'objet du milieu ambiant par des enveloppes souples et des pellicules fines (placer l'objet dans une enveloppe, une capsule, une cartouche,...). Ou inversement.
- 9.12** Donner à l'objet une nouvelle propriété, par exemple, assurer sa flottabilité, étanchéité, auto-guérison, le faire transparent, électro-conductible, etc.
- 9.13** Faire des objets (éléments) interchangeables, c.à.d. les utiliser indifféremment.
- 9.14** Prévoir la compensation des inexactitudes de la fabrication de l'objet.
- 9.15** Diviser l'objet en plusieurs parties, de sorte que, en cas de panne, un élément de l'objet dans son ensemble reste opérationnel.
- 9.16** Préparer d'avance les moyens d'alarme afin d'augmenter la sécurité.
- 9.17** Assurer la réduction ou l'élimination de vibrations, le choc des charges et l'inertie des surcharges.

- 9.18** Utiliser des objets nature animée et inanimée dans l'élaboration de la zone d'impact esthétique.
- 9.19** Exclure de l'environnement de façon objective les objets qui provoquent des émotions négatives (la création de la haie verte des arbres et des buissons, le camouflage, le mimétisme sous les objets provoquant ainsi des émotions positives, etc.).
- 9.20** Exclure les bruits et les odeurs qui provoquent des émotions négatives et les transformer en sons plus esthétiques et en parfums.
- 9.21** Créer des technologies fermées sans déchets avec l'utilisation et le retour à la production des polluants sous forme des matières premières et matériaux.
- 9.22** Développer des nouveaux appareils et des nouvelles technologies pour assurer la réduction de la pollution et le changement climatique (i.e., la géo technologie, les centrales hydrauliques, etc.).

10. L'utilisation des réserves

- 10.1** Utiliser la masse de l'objet où les efforts apparaissant périodiquement (ou par intermittence) pour obtenir un effet supplémentaire.
- 10.2** Compenser la consommation excessive d'énergie par la réception de quelque effet positif supplémentaire.
- 10.3** Eviter l'adaptation (ajustement et alignement) des pièces et assemblages dans l'objet (l'objet sélectionné).
- 10.4** Éliminer le facteur nuisible (par exemple, par la compensation d'autre facteur nuisible).
- 10.5** Utiliser, accumuler ou freiner le passage d'une énergie reçue.
- 10.6** Réaliser une action inverse ou opposée, au lieu de réaliser l'action dictée par les données du problème (par exemple, ne pas refroidir l'objet et le chauffer).
- 10.7** Utiliser l'objet devenu un élément de gaspillage inutile (énergie, matériaux) pour d'autres fins.
- 10.8** Utiliser les facteurs nuisibles (en particulier, les effets néfastes pour l'environnement) pour recevoir/produire des effets positifs.
- 10.9** Choisir et assurer les paramètres optimaux (la température, l'humidité, l'éclairage etc.).
- 10.10** Préciser les paramètres caractéristiques des éléments en fonction de l'utilisation des modèles mathématiques et des ordinateurs plus précis.
- 10.11** Aller vers d'autres principes physiques d'action par des sources d'énergie non polluantes, bon marché, accessibles, avec un plus haut rendement.
- 10.12** Après l'amélioration constructive de quelques éléments, définir comment on doit changer d'autres éléments pour que l'efficacité de tout l'objet augmente encore plus.

11. Les transformations par analogie / Conversions par similarité

- 11.1** Appliquer l'objet conçu pour satisfaire une fonction similaire dans une autre branche de l'ingénierie, en se servant des classifications des brevets (codes de classification).
- 11.2** Utiliser le principe naturel de la répétition des éléments similaires (cellules en nid d'abeille, les carreaux, les feuilles, les cristaux, etc.)
- 11.3** Utiliser à titre de prototype de l'inconnue technique cherchée, l'objet de la nature inanimée ou vivante, les domaines proches ou éloignés de la technique.
- 11.4** Appliquer une solution similaire à celles existantes: installations dans les secteurs technologiques de pointe ou dans le « passé antique/précédente » de la technique :
 - Dans la nature inanimée physique, la chimie, la biochimie, etc.);
 - Dans les organismes vivants ou éteints;
 - Dans la vie économique et sociale de gens;
 - Dans la littérature de science-fiction.
 - Répondre à la question, comment se reproduisent des problèmes semblables dans des domaines semblables ?
- 11.5** Utiliser par analogie les propriétés des autres objets; puis utiliser les propriétés sans l'objet lui-même.
- 11.6** Appliquer le principe d'imitation consistant en la création d'objets, qui sont analogues ou semblables à des autres objets, selon la forme, la couleur, l'aspect ou des autres propriétés nécessaires
- 11.7** Utiliser l'empathie : mentalement se transformer en l'objet, avec l'aide des sensations trouver la décision la plus rationnelle.
- 11.8** Utiliser à titre de prototype les jouets d'enfant.
- 11.9** Dans un lieu d'inaccessible, complexe, ou objet coûteux ou fragile, utiliser des copies simplifiées et bon marché, des modèles, des maquettes,...

12. L'augmentation de la capacité d'adaptation / Augmentation de la adaptabilité

- 12.1** Simplifier la forme et la structure des détails par la réduction du nombre des surfaces travaillées, les surfaces non plates et non circulaires.
- 12.2** Choisir la forme et la structure des éléments, en assurant ou en fournissant l'application de l'équipement, appareils et outils technologique le plus productif.
- 12.3** Réaliser les détails de conception en assurant un alignement maximal et en exécutant simultanément les opérations d'usinage et d'assemblage.
- 12.4** Réduire ou éliminer les travaux d'assemblage, utiliser les moyens de compensation de l'inexactitude de la fabrication.

- 12.5** Réaliser l'unification technologique des structures, la forme et les dimensions des détails.
- 12.6** Remplacer l'usinage par des méthodes de transformation sans enlèvement de matière.
- 12.7** Utiliser des éléments autorégulateurs, se rétablissant, auto-affûtants et des outils réduisant la complexité, la maintenance préventive et la réparation.
- 12.8** Utiliser de façon maximale ou appliquer au maximum les éléments standard avec une très large gamme d'applications.
- 12.9** Utiliser le principe modulaire de la conception, quand d'un petit nombre d'éléments standard (l'ensemble universel) on peut assembler n'importe quel produit dans la catégorie donnée (par exemple, les appareils préfabriqués universels, le système universel des composants pneumatiques industriels).
- 12.10** Utiliser au maximum dans l'objet projeté les éléments maîtrisés en production
Maximiser l'utilisation d'ébauches avec des dimensions proches des dimensions de la pièce finie, utiliser le moulage, l'estampage, le soudage.
- 12.11** Sélectionner la subdivision la plus rationnelle de l'objet, en blocs ou en pièces.
- 12.12** Sélectionner les matériaux qui fournissent une complexité minimale pour les pièces de fabrication.

METHODOLOGIE D'AIDE A L'INNOVATION PAR L'EXPLOITATION DES BREVETS ET DES PHENOMENES PHYSIQUES IMPLIQUES

RESUME : L'objectif de ce travail de thèse est de développer une méthodologie d'extraction de connaissances à partir de brevets pour aider les concepteurs dans la phase de résolution de problèmes industriels. La méthodologie est fondée sur trois piliers : la définition, la recherche / analyse et l'innovation. La **définition** exhaustive de la fonction principale du système industriel cible le champ de recherche et permet la récupération de mots clés initiaux grâce à une analyse approfondie de l'existant. La **recherche** itérative des brevets se base sur la décomposition fonctionnelle et sur l'analyse physique. L'**analyse** intègre la décomposition fonctionnelle énergétique pour déceler les énergies, les flux fonctionnels transmis et les phénomènes physiques impliqués dans le processus de conversion énergétique afin de sélectionner des effets physiques potentiellement pertinents. Pour délimiter le champ d'exploration nous formulons des requêtes de recherche à partir d'une base de données de mots clés constituée par des mots clés initiaux, des mots clés physiques et des mots clés technologiques. Une matrice des découvertes basée sur les croisements entre ces mots clés permet le classement des brevets pertinents. La recherche des opportunités d'**innovation** exploite la matrice des découvertes pour déceler les tendances évolutives suivies par les inventions. Les opportunités sont déduites à partir de l'analyse des cellules non pourvues de la matrice des découvertes, de l'analyse par tendances d'évolution et du changement de concept par la substitution du convertisseur énergétique. Nous proposons des tendances d'évolution construites à partir de lois d'évolution de la théorie TRIZ, d'heuristiques de conception et de règles de l'art de l'ingénieur. Un cas d'application concernant l'étude d'évolution et la proposition de nouveaux systèmes de séparation de mélanges bi-phasiques en offshore profond met en valeur la méthode.

Mots clés : aide à l'innovation, exploitation des brevets, décomposition fonctionnelle, conception inventive, créativité, tendances d'évolution

INNOVATION AID METHODOLOGY THROUGH PATENT EXPLOITATION AND PHYSICAL PHENOMENA INVOLVED

ABSTRACT : The aim of this thesis work is the development of a methodology for knowledge extraction from patents to assist design engineers in the industrial problem-solving phase. The methodology is based on three pillars: definition, search / analysis and innovation. A comprehensive **definition** of the main function of the industrial system delimits the research field and allows the retrieval of initial keywords through a detailed analysis of what is currently available. The iterative patent **search** is based on functional decomposition and physical analysis. The **analysis** phase uses energy functional decomposition to identify energies, transmitted functional flows and physical phenomena involved in the energy conversion process in order to select potentially relevant physical effects. To delineate the exploration field we formulate search queries from a keywords database composed by initial, physical, and technological keywords. A discovery matrix based on the intersections between these keywords allows the classification of pertinent patents. The research for **innovation** opportunities exploits the discovery matrix in order to decipher the evolutionary trends followed by inventions. Opportunities are deduced from an analysis of the discovery matrix empty cells, an analysis of the evolution trends, and from changing the concept by energy converter substitution. We propose evolution trends constructed from the evolution laws of TRIZ theory, design heuristics, and rules of the art of the engineering. An application case concerning the study of the evolution and the proposal of innovative biphasic separation systems in deep offshore highlights the method.

Keywords : innovation aid, patent exploitation, functional decomposition, inventive design, creativity, evolution trends.