

**L'INFORMATION BREVET AU SERVICE DE L'INDUSTRIE  
PÉTROLIÈRE : CAS DE CONCEPTION ET D'OPTIMISATION  
DES TRÉPANS PAR INGÉNIERIE INVERSEE**  
*THE PATENT INFORMATION FOR THE OIL & GAS INDUSTRY: CASE  
STUDY OF DRILL BITS DESIGN AND OPTIMIZATION BY REVERSE  
ENGINEERING*

**Abdelkader BAAZIZ**

IRSIC Laboratory, Aix-Marseille Université, Marseille, France

**Luc QUONIAM**

University of Sud Toulon-Var, France

**Abdenacer KHOUDI**

ENSP - Direction Fabrication & Travaux, Alger, Algeria

---

**ABSTRACT**

The aim of this paper is to show the results of a study originally conducted for an Algerian State-Owned Company ENSP (Manufacturing Branch / formerly ALDIM) specialized in drill bits manufacturing. We show innovation opportunities offered by the use of reverse engineering assisted by patent information in the oil industry. This applied research, mainly based on the useful and actionable information, is crowned by the implementation of a dynamic and evolving process of drilling tools production and based on a continuous process of practical learning. We outline the cognitive processes for knowledge capitalization during the technical process of reverse engineering and the contribution of patent information in a technology development survey, identifying promising valuable technologies in the field of drill bits design and manufacturing. We conclude with tangible results by exposing performance obtained by a drill bit manufactured by ENSP (formerly ALDIM) according to the

---

Manuscript first received/*Recebido em*: 28/11/2013 Manuscript accepted/*Aprovado em*: 26/06/2014

Address for correspondence / *Endereço para correspondência*

*Abdelkader Baaziz*, IRSIC Laboratory, Aix-Marseille Université, 21, rue Virgile Marron - 13392 Marseille Cedex 05, France. Abdelkader Baaziz is Doctoral Researcher at the Laboratory IRSIC, Aix-Marseille University (France), Master Degree in Mechanical Engineering at USTHB – University of Algiers (Algeria) in 1991 and Master Degree in Information Systems Management at the University of Perpignan (France). Has held several senior positions in organizations and companies whose Director of Operations Mud Logging in Drilling Division of Sonatrach (Algeria). He can be contacted at: [Abdelkader.baaziz@etu.univ-amu.fr](mailto:Abdelkader.baaziz@etu.univ-amu.fr)

*Luc Quoniam*, University of Sud Toulon-Var Avenue de l'Université - BP20132 - 83957 La Garde Cedex, France. Luc Quoniam is Professor at University of Sud Toulon-Var (France), Doctor in Information Sciences at the University of Aix-Marseille III in 1988 and HDR in 1996, Member of IRSIC Laboratory at Aix-Marseille University (France). He was Cendotec Director at Sao Paulo (2000 – 2004, Brazil), visiting professor at the Universidade de Sao Paulo (2005 – 2007, Brazil) and visiting professor at Universidade Fernando Pessoa (2007-2010, Porto, Portugal). He has directed more than 40 doctoral students and has authored numerous scientific publications. His research and teaching are focused on competitive intelligence, innovation, creativity, knowledge management, adaptation to change, "2.0 concepts". He can be contacted at: [mail@quoniam.info](mailto:mail@quoniam.info)

*Abdenacer Khoudi*, ENSP - Direction Fabrication & Travaux (ex-ALDIM) Zone industrielle Reghaia – BP 109 – Alger, Algeria. Abdenacer Khoudi is Product Line Manager at ENSP - Direction Fabrication & Travaux (ex-ALDIM) - Algeria. He is Master degree in electromechanical engineering, obtained at the prestigious engineering school "ENITA" (Algeria).

Published by/ *Publicado por*: TECSI FEA USP – 2014 All rights reserved.

process described in this paper, while drilling an oil well in the region of Hassi Berkine (Algeria).

**Keywords:** Drill bitoilfield drilling; information; patent; reverse engineering

## RÉSUMÉ

Le but de cet article est de montrer les résultats d'une étude réalisée initialement pour le compte d'une Entreprise Publique Algérienne ENSP (Direction Fabrication / ex-ALDIM), spécialisée dans la fabrication des outils de forage, afin d'évaluer les opportunités d'innovation offertes par l'utilisation du reverse engineering assisté par l'information brevet dans l'industrie pétrolière. Cette recherche appliquée, basée principalement sur l'information utile et actionnable, est couronnée par la mise en place d'un processus dynamique et évolutif de fabrication des outils de forage qui s'appuie sur un processus d'apprentissage continu par la pratique. Nous mettrons en perspective le processus cognitif permettant la capitalisation des connaissances lors du processus technique du reverse engineering ainsi que la contribution de l'information brevet dans le suivi des évolutions technologiques dans le domaine de conception et de fabrication des trépan ainsi que l'identification des technologies porteuses de valeur. Nous terminerons par des résultats concrets, en exposant les performances obtenues par un outil de forage fabriqué par l'ENSP (ex-ALDIM) selon le processus décrit dans cet article, lors du forage d'un puits de pétrole dans la région de Hassi Berkine (Algérie).

**Mot clé:** Trépan; Outil de forage; forage pétrolier; information; brevet; ingénierie inverse

## 1. INTRODUCTION

En s'aidant de l'information brevet et en employant des techniques de reverse engineering, peut-on fournir un outil de forage performant, optimisé pour une formation géologique particulière ? Telle est la problématique que nous tentons d'aborder ici.

Ce document est le résultat d'une étude réalisée initialement pour le compte d'une Entreprise Publique Algérienne ENSP (Direction Fabrication / ex-ALDIM), spécialisée dans la fabrication d'outils de forage, dans le but de montrer les possibilités d'innovation offertes par l'utilisation du reverse engineering, assisté par l'information brevet dans l'industrie pétrolière. Cette recherche appliquée, basée principalement sur l'information utile et actionnable, est couronnée par la mise en place d'un processus dynamique et évolutif de fabrication d'outils de forage puisqu'il est basé sur un apprentissage continu par la pratique.

L'étude de cas débutera par un exposé technique simple permettant aux chercheurs en sciences de l'information de comprendre la problématique qui nous a amenés à proposer la combinaison des techniques du reverse engineering avec les informations contenues dans les bases brevets pour la conception et l'optimisation des trépan.

Nous mettrons en perspective le processus cognitif permettant la capitalisation des connaissances lors du processus technique du reverse engineering, ainsi que la contribution de l'information brevet dans le suivi des évolutions technologiques dans

le domaine de conception et de fabrication des trépan, ainsi que l'identification des technologies porteuses de valeur.

Nous terminerons par des résultats concrets en exposant les performances obtenues par un outil de forage fabriqué par l'ENSP (ex-ALDIM) selon le processus décrit dans ce papier, lors du forage d'un puits de pétrole dans la région de Hassi Berkine (Algérie).

## 1.1 LA PERFORMANCE DU TRÉPAN POUR RÉDUIRE LES COÛTS FORAGE

La forte demande en ressources énergétiques et, en particulier, les hydrocarbures, ainsi que la hausse de leurs prix, a provoqué une augmentation vertigineuse des opérations de forage. Mais, face à la complexité des puits forés, les techniques de forage dites conventionnelles ne permettent plus l'exploitation des réserves de plus en plus profondes dans des conditions géologiques hostiles. Ce qui fait du forage l'une des opérations les plus coûteuses dans les activités d'exploration et de développement.

Les exigences en matière de protection de l'environnement, de sécurité des personnes et des biens, contribuent aussi à l'augmentation des coûts des opérations de forage, d'où la nécessité de réduire la durée des forages en actionnant trois indicateurs de référence pour la mesure des performances de forage :

1. Taux de pénétration (ROP)
2. Temps non productif (NPT)
3. Coût du mètre foré

Ces nombreux challenges, que l'amont pétrolier rencontre aujourd'hui, sont, aussi, propices à l'innovation technique et technologique des forages et en particulier le trépan.

L'efficacité des trépan est augmentée par l'amélioration de leur qualité, ce qui permet une augmentation du ROP, la réduction des NPT dûe aux aléas techniques (voir Annexe 1) et donc la réduction des coûts de forage. Ceci est important lors du forage des puits profonds ou dans le cas du forage des formations dures. Toutes ces raisons ont entraîné une forte concurrence entre les grands fabricants afin d'apporter le développement continu de la technologie du trépan.

La Direction Fabrication (ex-ALDIM) de l'Entreprise Nationale des Services aux Puits (ENSP), une entreprise publique algérienne spécialisée dans la fabrication des outils de forage (trépan), fait face à cette forte concurrence sur un marché orienté vers la performance, la qualité des ouvrages, la réduction des coûts et des temps non productifs. Pour cela, elle a réalisé, dans un premier temps, des partenariats (notamment avec l'entreprise belge DBS) pour le transfert technologique et du savoir-faire, puis elle a décidé de compter sur ses compétences pour développer ses propres atouts de Recherche & Développement efficaces mais non onéreux. C'est ce qui a motivé cette étude, à mi-chemin entre la recherche académique et la recherche appliquée, menée par une équipe pluridisciplinaire issue de l'entreprise ENSP (Algérie) et du laboratoire IRSIC de l'Université d'Aix-Marseille (France), en alliant hard technologies (technologies du forage et des trépan) aux soft technologies telles que la recherche de l'information brevet et l'apprentissage par la pratique (Jin, 2005).

Le trépan est la partie principale de la garniture de forage, qui est placée au bas de celle-ci. Les trépan sont utilisés pour écraser ou couper la formation rocheuse.

La bonne sélection de trépan et de l'utilisation des paramètres de forage appropriés jouent un rôle crucial dans le déroulement des opérations de forage, des coûts et des durées.

La simulation du forage permet d'analyser les combinaisons de trépan et d'autres paramètres afin de produire une performance optimisée en termes de ROP, de coût et de réduction du temps.

Il existe cinq principaux types de trépan utilisés dans le forage des puits pétroliers :

1. Trépan tricônes à molettes
2. Trépan imprégnés de diamant naturel (NDB)
3. Trépan thermiquement stables (TSP)
4. Trépan compacts en diamant poly-cristallin (PDC)
5. Trépan hybrides
- 6.

### 1. Trépan tricônes à molettes

Un tricône est constitué de 3 bras forgés. Les dents peuvent être usinées directement dans la molette ou des pastilles en carbure de tungstène serties dans des trous percés sur la molette.

Dans les formations dures, les outils à pastilles en carbure de tungstène ont une durée de vie plus longue que les outils à dents (Boryczko, 2012).



Figure 1. Trépan à dents & Trépan à pastilles en carbure de tungstène

### 2. Trépan de diamant naturel (NDB)

Les trépan à diamants ont été introduits dans l'industrie pétrolière en 1952 par Christensen Diamond Products (aujourd'hui Baker Hughes). Ils sont constitués de trois parties principales : les diamants, la matrice et la tige. Une des caractéristiques la plus importante est l'absence de pièces mobiles, ce qui contribue à une plus grande fiabilité (Boryczko, 2012).



Figure 2. Trépan à diamants

### 3. Trépan thermiquement stable (TSP)

La réalisation majeure dans l'amélioration de la résistance thermique de taillants PDC était de produire des trépan au diamant de type PDC avec des lames résistantes à la chaleur (TSP) dans lesquelles l'espace entre les inclusions des grains de diamant ont été gravés au cobalt (Boryczko, 2012).



Figure 3. Trépan TSP

#### 4. Trépans PDC

Les outils PDC (Polycrystalline Diamond Compact) ont dépassé, durant cette décennie, les outils tricône en termes de métrage foré. Cette forte augmentation est due à plusieurs améliorations, tant du point de vue de la qualité des taillants, que de la conception même de l'outil. En effet, de nombreux progrès ont été réalisés dans le domaine de la composition des substrats et des liants (répartition carbure de tungstène / cobalt, microstructure du diamant), de l'interface entre la plaquette diamantée et le substrat, de manière à développer des taillants très résistants à l'abrasion et/ou aux impacts, ou encore de nouveaux procédés chimiques (traitement de la surface, etc.) permettant la réduction du frottement entre la face d'attaque du taillant et la roche (Menand, 2010).



Figure 4. Trépan PDC

#### 5. Trépans hybrides

Enfin, terminons par l'apparition très récente des outils hybrides (combinaison du tricône et du PDC), même si l'idée remonte aux années 50 (Menand, 2010). Le but est de réduire le temps de forage dans les formations les plus complexes, en alliant les avantages des deux types de trépans. L'opérateur peut ainsi obtenir une réduction de 40% du coût du mètre foré.

Si on compare avec les trépans tricônes, la ROP est plus élevée et le WOB plus faible avec moins de rebond.

Si on compare avec les PDC, il y a une nette amélioration de la longévité dans des formations intercalées, moins de stick-slip, un couple de forage plus bas, une meilleure stabilité et un meilleur contrôle directionnel.



Figure 5. Outil Hybride Kymera  
(Source : Baker Hughes)

## 2. SIMULATEURS VIRTUELS DE FORAGE : OUTIL D'OPTIMISATION DU DESIGN ET DES PERFORMANCES DES TRÉPANS

Dans le domaine de la conception des outils de forage, que ce soit pour les outils PDC, imprégnés ou pour les tricônes, des améliorations ont été nécessaires pour s'adapter aux formations dures et abrasives et/ou hétérogènes. Un grand intérêt a été apporté au design de la garde (zone de stabilisation) de l'outil de manière à ce que l'outil de forage initie une déviation comme elle est demandée par le système directionnel (Menand, 2010).

Pour suivre ces avancées technologiques, les logiciels permettant de simuler le processus de forage ont beaucoup évolué pour une meilleure compréhension des phénomènes et leur mise en équations (modèles plus réalistes), des temps de calcul

réduits (augmentation de la puissance de calcul) et enfin de meilleurs outils d'aide à la décision et d'interprétation (visualisation 3D) (Menand, 2010).

DRilling OPTimisation Simulator (DROPS) est un simulateur de forage conçu par Drops Technology AS (créée en 1997 à Oslo en Norvège) pour réduire le coût des puits futurs en se basant sur les logs de forage (Drilling Log), créés à partir des données recueillies dans les précédents puits forés dans la même zone. Pour cela, on utilise des modèles ROP afin de calculer la résistance à la compression de la roche. L'idée de base de DROPS est de simuler l'opération de forage avant le forage réel afin de trouver le niveau optimal des coûts. Il peut simuler n'importe quelle combinaison de conditions d'exploitation : design de l'outil de forage, pull depth, hydraulique, WOB et RPM (Bratli & al., 1997).

**En utilisant cette méthodologie dans le processus de planification, on peut aboutir à des programmes de forage plus rentables. les réductions de coûts obtenues indiquent des économies potentielles de l'ordre de 45 a 50% du coût global du forage par puits, ce qui est énorme par rapport à la pratique usuelle dans une même région (BRATLI & AL., 1997).**

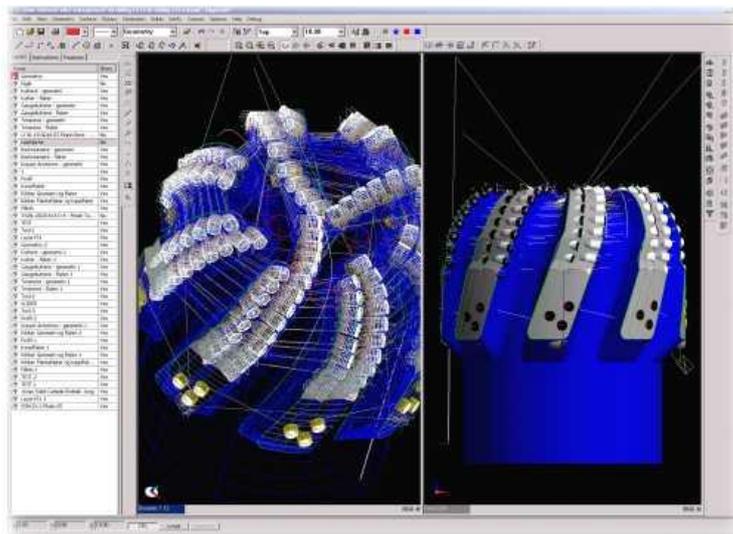


Figure 6. Interface graphique de DROPS représentant un Trépan PDC en 3D (Source : Schlumberger)

DROPS utilise des paramètres de forages réels pour générer la résistance de la roche plutôt que des diagraphies électriques, une pratique qui assure une meilleure qualité des données.

Lyng Drilling, une société du groupe Schlumberger, spécialiste des technologies de pointe en matière de Trépan, a développé une capacité à produire des trépan « sur mesure » pour des puits « particuliers », ce qui a permis une baisse considérable des coûts du forage tout en améliorant les performances. Pour cela, Lyng utilise le simulateur DROPS pour planifier et optimiser ses outils pour les futurs puits.

Smith, une autre compagnie du même groupe, possède sa propre application de design et d'optimisation des trépan : IDEAS (Integrated Drillbit Design Platform). En utilisant une simulation 4D, le processus IDEAS simule le comportement de l'ensemble du système de forage : tiges, outils MWD et LWD, alésoirs, stabilisants

ainsi que les systèmes directionnels, donnant une représentation graphique détaillée des éléments qui ont un impact direct sur forage.

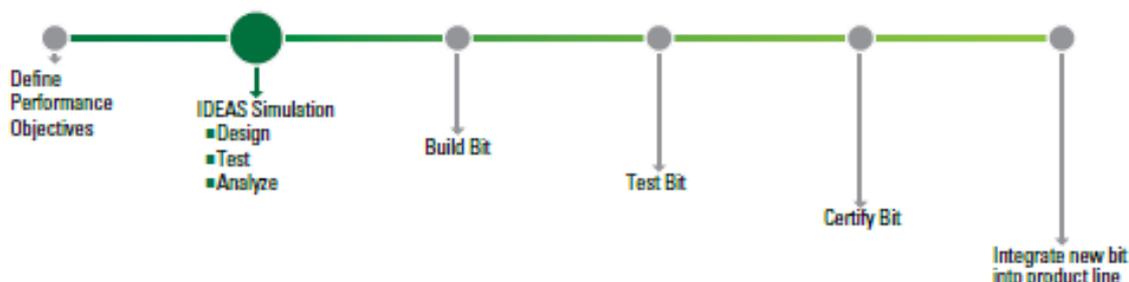


Figure 7. Processus IDEAS (Source : Schlumberger).

A la différence des processus de conception classique des trépan utilisant de multiples essais sur le terrain, la plate-forme IDEAS utilise la simulation virtuelle pour prédire avec précision le comportement du trépan dans le puits pour lequel il est conçu.

Ayant les mêmes soucis de développement et de conception de trépan fiables et de hautes performances, Halliburton a conçu son software de modélisation : « Direction by Design Bit Optimization » capable de définir le lien entre les changements spécifiques de conception de trépan et de quantifier leur impact sur les résultats escomptés. Il en résulte une analyse de la façon dont la modification des paramètres de fonctionnement affecte les performances d'une conception d'un trépan particulier pour une optimisation en temps réel sur le site de forage.

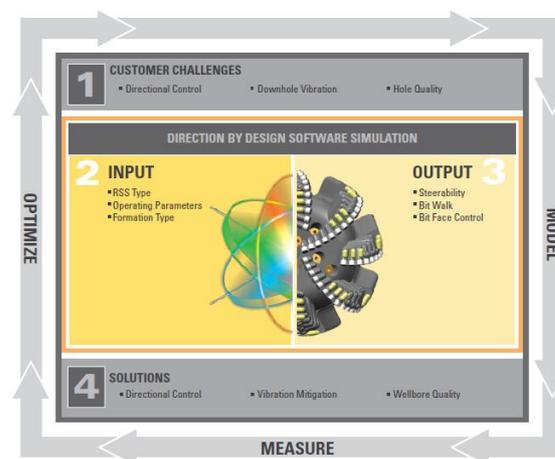


Figure 8. Processus « Direction by Design Bit Optimization » (Source : Halliburton)

A l’instar de son concurrent, le processus de conception « Direction by Design Bit Optimization » remplace l'approche traditionnelle « trial and error ».

Pour fournir à ses clients des produits de haute qualité aux performances optimales, Varel se base pour un processus de modélisation et de fabrication de trépan en six (06) étapes :

1. **GeoScience™** : Analyse préliminaire des formations géologiques à partir des données réelles des puits forés.

2. **SPOT™** : Conception de la structure de coupe, simulation de forage et analyse de l'usure. Des modèles mathématiques sont utilisés pour vérifier qu'ils correspondent aux conclusions de Geoscience.

2A. Trépan existant : Il est recommandé de respecter les exigences de l'analyse de Geoscience.

3. **Pro-Engineer CAD** : Module CAO pour la conception et modélisation 3D des Trépans.

4. **CFD** : Calcul de Dynamique des Fluides pour l'analyse et l'optimisation hydraulique.

5. **Pro-Engineer CAM** : Module de Programmation de Fabrication Assistée par Ordinateur avec génération du code de fabrication du Trépan sur un système CAM pour les besoins d'usinage.

6. **Bit Run & GeoScience Post Run Analysis** : Geoscience est utilisé aussi pour évaluer la performance de l'outil par rapport au plan initial. Au besoin, l'analyse Geoscience initiale est réajustée avant de relancer une nouvelle itération de conception du trépan.



Figure 9. Processus IDT (Source : Varel)

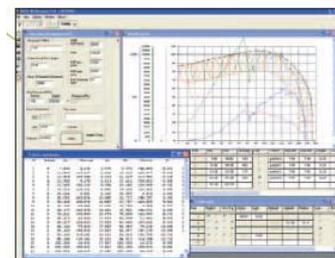


Figure 10. Calcul Dynamique des Fluides



Figure 11. Usinage d'un Trépan

Chez Baker Hughes Christensen, les outils PDC ou Tricône commencent leurs cycles de vie sur les systèmes de CAO. Une fois le modèle numérique créé, le système CAM génère les programmes à commande numérique correspondant. Le modèle passe à la simulation du forage par l'application des contraintes mécaniques. La modélisation des contraintes utilise la méthode des éléments finis (FEA) dans le but de choisir les meilleures combinaisons de matériaux du corps du trépan et des pastilles de coupe permettant d'obtenir une plus grande longévité du trépan et d'optimiser le coût du mètre foré.

Aussitôt produit, le trépan est mis à l'épreuve dans les conditions de forage réel, dans un simulateur à grande échelle appelé BETA (Baker Hughes Experimental Test Area). WOB, ROP, RPM et le système hydraulique sont examinées. Ce qui permet d'analyser l'usure de l'outil et sa manœuvrabilité.

Le simulateur BETA est situé dans un gisement pétrolier épuisé près de Tulsa, Oklahoma. Il apporte un procédé éprouvé durant les opérations de forage, tout en réduisant le risque d'utiliser des outils non testés dans les puits du client. Ceci permet de tester dans une gamme de formations géologiques une variété d'outils de forage, de complétion et de production sur une plate-forme à grande échelle.

La boucle se ferme au laboratoire où l'outil subit une « autopsie » afin de déterminer les problèmes de performance : analyse de l'usure et des défaillances des structures de coupe, roulements, joints et autres éléments du trépan.

REED-HYCALOG rachetée par National Oilwell Varco (NOV), offre un service intégré appelé « Advanced Drilling Solutions (ADS) » combinant des processus techniques, des softwares d'analyse « Terrascope » et « Vibroscope » ainsi qu'une variété d'outils de forage. ADS permet une optimisation de forage à plusieurs niveaux en fonction de l'opération en tenant compte des exigences de personnalisés du client. NOV se base sur sa capacité à gérer la connaissance issue des retours d'expériences et sa culture du benchmarking pour l'amélioration continue dans le but de réduire les coûts de forage. Nous n'avons pas pu exposer son processus détaillé faute de documentation officielle.

### 3. REVERSE ENGINEERING : RÉVISION DE LA LITTÉRATURE

Le reverse engineering est une discipline en pleine évolution, qui couvre une multitude d'activités (Vàrady & al., 1997). Même si cette discipline touche pratiquement tous les domaines des hard technologies (mécanique, électronique, informatique, chimie, biologie, médecine, etc.), cette étude ne s'intéressera qu'à l'ingénierie mécanique (formes géométriques, contraintes mécaniques, etc.).

La littérature académique est abondante dans ce domaine et les premiers travaux, notamment ceux de Zhang (1994), Chivate & Jablokow (1995), Eggert & al. (1996), et Vàyady & al. (1997), datent des années 90. Ces travaux, comme ceux de Motavalli (1998), Zhang (1999), Langbein & al. (2002, 2003 & 2004), Gao & al. (2003) et Fudos (2006), s'intéressent principalement aux algorithmes et processus technique du passage du modèle réel au modèle conceptuel d'un objet dont les formes géométriques sont quelconques. Le processus technique de reverse engineering en quatre (04) phases, proposé par Vàyady & al. (1997), est actuellement la référence en matière de recréation des modèles conceptuels à partir des modèles réels.

Des auteurs, comme Thompson & al. (1999), Zhang (2003), De Toledo & al. (2008) et Bagci (2009), se sont penchés sur l'utilisation de la puissance des systèmes informatiques de conception assistée par ordinateur (CAO) pour la finition des modèles conceptuels obtenus.

D'autres auteurs, notamment Fisher (2004) et Durupt & al. (2008, 2010a et 2010b), sont allés au-delà des techniques pour s'intéresser aux processus cognitifs d'apprentissage par la pratique du reverse engineering, en utilisant des méthodes dites KBRE (Knowledge-Based Reverse Engineering).

Pour notre part, nous avons combiné le processus technique de Vàyady & al. (1997) et le processus d'apprentissage proposé par Durupt & al. (2008) afin de créer, dans un premier temps, un modèle générique global de reverse engineering. Nous avons ensuite élaboré un modèle spécifique pour la conception et l'optimisation des trépan, objet de notre étude.

Le reverse engineering est une approche systémique en vue de l'analyse de la conception de dispositifs (ou systèmes) existants. L'objectif principal étant l'analyse d'un produit existant afin d'en reproduire une copie ou d'en créer une version améliorée. Ceci comprend toute activité visant à déterminer comment fonctionne un

produit, à comprendre les technologies et à s'inspirer des idées qui ont été initialement utilisées pour le développer.

Plusieurs objectifs peuvent être visés par le reverse engineering (Wikipedia, 2013) :

- Comprendre le fonctionnement de cet objet, pour être en mesure de l'utiliser correctement, de le modifier, ou encore de s'assurer de son bon fonctionnement ;
- Fabriquer une copie de cet objet alors qu'on ne peut en obtenir ni les plans ni les méthodes de fabrication (activité généralement illégale sur un plan juridique) ;
- Créer un nouvel objet ayant des fonctionnalités identiques à l'objet de départ, sans violer de brevet ;
- Analyser un objet produit par un concurrent, soit dans le cadre d'une activité de veille concurrentielle soit pour détecter d'éventuelles violations de brevets.

Le reverse engineering est aussi une activité de veille concurrentielle et technologique. Elle est orientée vers (Wikipedia, 2013) :

- L'étude des produits concurrents,
- La compréhension des méthodes utilisées par le concurrent,
- La recherche des fournisseurs,
- La détermination des composants utilisés,
- L'estimation du coût de revient à partir de tout ou partie des informations précédentes,
- La décomposition du coût d'une pièce, en évaluant chacun de ses composants, la matière utilisée, le temps de fabrication et la méthode,
- L'identification d'éventuelles violations de brevets commises par un concurrent ou à éviter.

En général, de nombreux produits sont protégés par des copyrights et des brevets qui représentent la meilleure protection contre la copie car ils protègent les idées, voire les détails du fonctionnement du produit. Mais, souvent, le brevet n'est qu'un signal d'avertissement lancé par le déposant pour décourager ses concurrents. Si le brevet en vaut la peine, un concurrent choisira une des options suivantes (NPD-BOK, 2013) :

- Négocier une licence pour utiliser l'idée,
- Proclamer que l'idée n'est pas nouvelle et qu'elle constitue une étape évidente pour toute personne expérimentée dans le domaine spécifique,
- Réaliser un changement subtil en prétendant que le produit modifié n'est pas protégé par le brevet,
- Vérifier les aspects juridiques pour une utilisation légale du brevet : durée légale, paiement des annuités, étendue géographique, etc.

Suivant la nature de l'objet et l'objectif visé, différentes méthodes et techniques sont utilisées. Pour des objets physiques, il est possible de démonter le système jusqu'à un certain point pour en analyser les constituants. En électronique et en informatique,

la démarche peut être celle de l'étude d'une boîte noire : on isole l'objet à étudier, on détermine les entrées et les sorties actives. On essaie, ensuite, de déterminer la réponse du système en fonction des variations du ou des signaux en entrée (Wikipedia, 2013).

Le reverse engineering des modèles géométriques consiste à extraire suffisamment d'informations à partir d'un objet physique pour reconstruire un modèle CAO. Si l'engineering consiste à transformer un concept (modèle conceptuel) en un artefact (modèle réel), le reverse engineering permet de passer du modèle réel au modèle conceptuel (Vàrady & al., 1997 ; Langbein, 2003).

Idéalement, pour des applications telles que la refonte, le modèle conçu par le reverse engineering doit présenter exactement les mêmes propriétés géométriques que celles présentes dans le design idéal original. Toutefois, ce modèle ne peut être qu'approximatif dans le sens où il présente des régularités géométriques prévues. Ceci est peut-être dû à l'objet physique imparfait modifié par l'usure ou par un procédé de fabrication particulier utilisé lors de sa réalisation. Il peut aussi être provoqué par des erreurs commises dans le processus de reconstruction, en raison d'approximations et d'erreurs numériques, d'imprécisions dans les données mesurées à partir de l'objet d'origine. Selon Langbein (2003), ces problèmes peuvent être éliminés dans le modèle en tenant explicitement compte de l'esprit de la conception, de telle sorte que des modèles plus appropriés seront créés pour une modification ultérieure dans les applications de CAO et améliorés dans une étape de post-traitement.

Le principe du reverse engineering repose sur la prise d'un nuage de points issu de la surface de l'objet à scanner numériquement ou à palper mécaniquement (Vàrady & al., 1997). Ce nuage de points est traité par des fonctions CAO permettant la reconstruction de surfaces, à partir desquelles un modèle paramétrique est redéfini par l'utilisateur et le système générateur (choix des côtes, des relations inter-côtes, tolérance, etc.).

Le recours au reverse engineering se justifie dans de nombreux cas, notamment (Wikipedia, 2013) :

- La conception originelle n'est pas supportée par une documentation suffisante ou adéquate.
- Le modèle CAO originel n'est pas suffisant pour supporter des modifications et/ou les procédés de fabrication courante.
- Le fabricant originel n'existe plus ou ne fabrique plus le produit, mais il existe des demandes pour le produit.
- Des composants usés ou cassés pour lesquels il n'y a aucune source d'approvisionnement.
- Le renforcement des fonctionnalités.
- L'analyse des fonctionnalités des produits des concurrents.
- L'amélioration de la performance et/ou des fonctionnalités du produit.
- Le manque de pièces additionnelles (pièces de rechange).
- L'actualisation des matériaux ou des processus de fabrication obsolètes.

La tendance actuelle, dans le reverse engineering, est l'utilisation de modèles orientés fonctions. Ces modèles conviennent à la fabrication de pièces mécaniques, où il existe des liens bien définis entre les différentes parties du modèle. En outre, ils sont

idéaux pour le design industriel et la fabrication, puisque le modèle produit est facilement modifiable (Fudos, 2006).

Selon Fudos (2006), cette tendance est motivée par la connaissance fournie par le modèle concernant les tolérances, les contraintes, les relations et la connectivité entre les fonctions. Les modèles orientés fonctions et fondés sur les contraintes sont souvent fondés sur la connaissance.

Selon Durupt & al. (2008), nous mettons en évidence deux types de connaissances nécessaires pour permettre la mise en place d'un processus de reverse engineering :

1. La connaissance de fabrication (pour le processus technique) ;
2. La connaissance des exigences fonctionnelles (pour le processus cognitif).

La connaissance orientée Reverse Engineering commence à partir d'un nuage de points 3D complet de la pièce étudiée et consiste à appliquer deux activités principales (Durupt & al., 2008 & 2010) :

1. L'analyse de la connaissance : C'est un ensemble d'outils d'analyse afin de sauvegarder, de réutiliser et de définir les caractéristiques selon le procédé de fabrication et les spécifications fonctionnelles.
2. L'extraction de connaissances : cette étape permet d'ajuster les caractéristiques d'un nuage de points afin d'influer sur les dimensions de l'élément.

#### **4. LES PRINCIPALES PHASES D'UN PROCESSUS COGNITIF TYPIQUE DE REVERSE ENGINEERING**

Le processus cognitif typique de reverse engineering des modèles géométriques solides passe par quatre (04) phases principales (Vàrady & al., 1997 ; Langbein, 2003) :

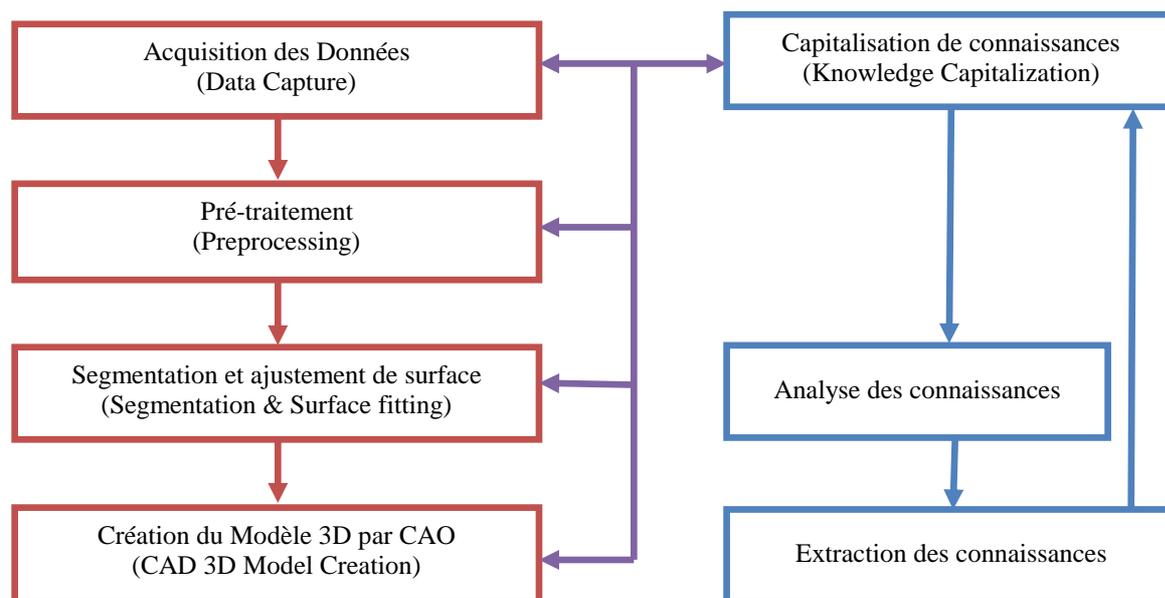


Figure 12. Processus cognitif du reverse engineering des modèles solides, adapté de (Vàrady & al., 1997 ; Langbein, 2003 ; Durupt, 2010)

## 1. Phase d'acquisition de données

Les données brutes mesurées sont collectées à partir d'un objet physique existant. La première étape, dans l'ingénierie inverse, est d'obtenir une collection de points 3D précise et représentative généralement appelée nuage de points (Chivate & al., 1995 ; Eggert & al., 1996 ; Vàrady & al., 1997 ; Langbein, 2003 ; Durupt & al., 2008 ; Bagci, 2009). Selon Vàrady & al., (1997), la précision doit être suffisante pour distinguer les points voisins qui fournissent certaines informations structurales. La densité de points est déterminée par la fréquence d'échantillonnage sur la surface 3D.

Il existe différentes méthodes d'acquisition de données et elles sont classées selon deux grandes catégories :

### 1.1. Méthodes Tactiles :

La collection de points 3D est obtenue par palpation de l'objet original à travers d'un copieur constitué d'un bras robotisé ou d'une machine à mesurer tridimensionnelle (MMT) appelée aussi CMM (Coordinate Measuring Machine) utilisés en métrologie dimensionnelle (Vàrady & al., 1997 ; Fudos, 2006).

### 1.2. Méthodes Sans Contact :

La collection de points 3D est obtenue sans contact avec l'objet original à l'aide de scanners 3D et/ou de caméras.

Les scanners laser 3D peuvent généralement être répertoriés en trois catégories principales :

- Le laser par triangulation,
- Le scanner 3D par détection de temps de vol,
- Le scanner 3D par changement de phase.

Ces techniques de scan laser sont généralement utilisées indépendamment, mais peuvent aussi être combinées pour créer un système de scan plus polyvalent.

Pour obtenir le nuage de points 3D, nous pouvons utiliser la numérisation laser 3D, une multiple reconstruction de l'instantané 2D ou une combinaison des deux.

En utilisant des scanners laser, un grand nombre de coordonnées 3D sur la surface d'un objet est mesuré dans un temps très court. On peut aussi utiliser des clichés 2D pour reconstituer un objet 3D. Ceci peut être accompli en utilisant des caméras calibrées, placées dans des positions exactes, ainsi qu'en employant des méthodes de photogrammétrie pour la reconstruction. Alternativement, nous pouvons utiliser des photographies de caméras portatives et ensuite reconstituer la scène 3D grâce à des méthodes sophistiquées.

Enfin, nous pouvons combiner les résultats de balayage laser avec reconstruction 3D à partir d'images 2D. Ce faisant, nous augmentons l'exactitude des deux méthodes et l'élimination des problèmes qui découlent de l'effet de surface brillant et de l'effet de bord dans la technologie de numérisation laser. Pour bénéficier d'une technique hybride, nous avons besoin d'algorithmes efficaces pour détecter les points correspondants dans les instantanés 2D et l'identification de leurs homologues de points 3D à l'issue du balayage laser. Les nuages de points qui correspondent aux surfaces brillantes et les bords sont remplacés par les résultats de reconstruction 3D (Vàrady & al., 1997 ; Fudos, 2006 ; Bagci, 2009).

Les scanners 3D se démocratisent de plus en plus et nous trouvons actuellement des solutions gratuites avec des kits starter à moins de \$US 500 (David-3D ; Winkelbach & al., 2006).

## **2. Phase de prétraitement**

Beaucoup de problèmes pratiques peuvent surgir lors de l'acquisition de données. Ils sont principalement liés aux complexités des formes, aux erreurs de mesure et d'approche, parmi lesquelles : la calibration, la précision, l'accessibilité, l'occlusion, la finition, le bruit, des données incomplètes, etc. (Vàrady & al., 1997)

Un prétraitement sur ces données est nécessaire afin de combiner plusieurs mesures à partir de différents points de vue.

## **3. Phase de segmentation et d'ajustement de surface**

Les phases du processus les plus cruciales sont la segmentation et la phase d'ajustement de surface : ici, les surfaces individuelles de l'objet doivent être déterminées et les surfaces des types géométriques appropriées doivent être mises en forme.

Pour chacun des sous-ensembles, une ou plusieurs surfaces analytiques sont ajustées séparément. Cependant, la segmentation et l'ajustement de surfaces ne peuvent pas être complètement séparés l'un de l'autre et, pour cela, les méthodes doivent être soigneusement choisies pour la cohérence de l'ensemble.

Dès la segmentation nous devons considérer les types de surface à ajuster ultérieurement aux sous-ensembles.

Les méthodes numériques et particulièrement la méthode des éléments finis, sont utilisées pour le maillage. Nous énumérons les quatre principales tâches habituellement utilisées dans des algorithmes de récupération (Petitjean, 2002) :

1. Estimation : calcule la géométrie de la surface locale en utilisant des paramètres différentiels tels que la normale et de la courbure ;

2. Segmentation : responsable pour diviser les données d'origine en sous-ensembles, chacun d'eux formant probablement une primitive géométrique unique;
3. Classification : cette étape décide dans quel type de surface un sous-ensemble doit être inclus (cylindre, tore, cône ou d'une autre) ;
4. Reconstruction : recherche des paramètres de surface pour adapter correctement les données d'entrée.

#### 4. Phase de Création du Modèle CAO

Enfin, après que les surfaces appropriées aient été trouvées, un modèle complet de représentation des frontières est créé pour assembler les surfaces en utilisant les relations d'adjacence.

La détection de régularité considère plusieurs relations entre les éléments utilisés pour représenter le modèle CAO afin de trouver des régularités potentielles et éventuellement générer le prototype 3D. Avec les imprimantes 3D, il est possible, aujourd'hui, de créer ce type de prototypes à moindre coût.

#### 5. APPLICATION DU REVERSE ENGINEERING À LA GÉNÉRATION DES TRÉPANS

En s'inspirant des processus déjà cités de fabrication par différents constructeurs et, particulièrement celui de Varel, que nous jugeons adaptable à un processus de reverse engineering ainsi que des méthodes classiques abondante dans la littérature académique, nous proposons le modèle de la **figure 17**.

Ce modèle, que nous avons développé, a été utilisé par ALDIM pour concevoir un trépan de type PDC destiné au forage des phases 12<sup>1</sup>/<sub>4</sub> (diamètre du trou). Ce trépan a été remodelé trois (03) fois après sa conception initiale où il a servi à forer cette phase dans quatre puits différents MDZ#592, ONI#23, OMG#602 dans la région de Hassi Messaoud et BRNP#1 dans la région de Hassi Berkine.

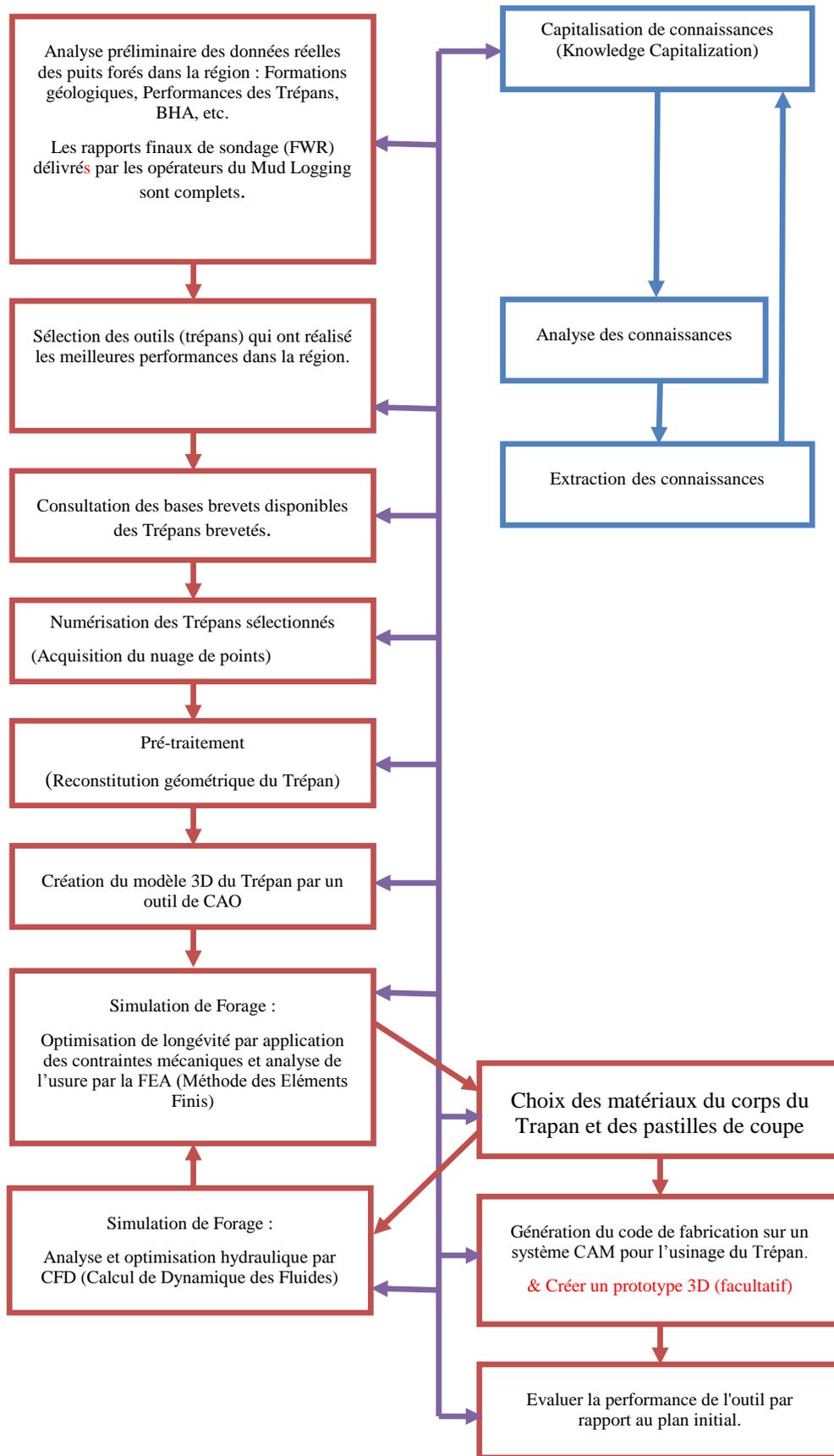


Figure 17. Processus cognitif de conception d'un Trépan par reverse engineering.

## **6. LES BREVETS: SOURCE D'INFORMATION DANS LE PROCESSUS COGNITIF DE CONCEPTION DES TRÉPANS PAR REVERSE ENGINEERING**

Les bases de données brevets sont des sources d'information inestimables car elles contiennent des informations qui ne sont généralement pas publiées ailleurs. Les brevets ont une durée limitée après laquelle ils peuvent être exploités sans droits. Ils peuvent aussi être déchués pour non-paiement des annuités et dans ce cas, leur utilisation est libre. De plus, s'ils ne sont publiés que dans certains pays et non étendus à d'autres, les exploitations de leurs résultats dans ces pays peuvent être faites librement (Quoniam, 2013).

Cette étude est une prospective sur les brevets les plus importants traitant de la fabrication et l'optimisation des trépan ou de leurs composants dans le but de :

- Identifier les leaders sur le marché dans le domaine de la fabrication des trépan et de leurs composants ;
- Suivre les tendances technologiques à travers les brevets récents dans le domaine afin d'établir un éventuel partenariat basé sur le transfert technologique et l'utilisation légale des brevets ;
- Faire l'inventaire du portefeuille de brevets technologiquement valables et dont l'utilisation est possible.

Nous avons utilisé pour cela un outil performant de recherche et d'analyse des brevets Matheo Patent.

### **1. Méthodologie :**

Pour les besoins de notre étude, nous avons organisé la recherche sur l'interrogation de la base de données brevet à partir d'un seul mot clé composé : « Drill Bit » dans les titres et les résumés des brevets déposés sur EspaceNet WordWide et en appliquant une contrainte de classification normalisée CIB en IP Full Digits : « E21B10 » et ce pour la période allant de l'année 1900 à 2013.

Notons que CIB est la Classification Internationale des Brevets appelée aussi IPC abréviation anglaise de International Patent Classification, est composée dans notre cas, comme suit (WIPO, 2013) :

- La section E désigne les constructions fixes ;
- La sous classe E21 désigne le forage du sol ou de la roche ; exploitation minière ;
- La sous-classe E21B désigne le forage du sol ou de la roche (exploitation des mines ou carrières E21C ; creusement des puits, des galeries ou des tunnels E21D) ; extraction du pétrole, du gaz, de l'eau ou de matériaux solubles ou fusibles ou d'une suspension de matières minérales à partir de puits ;

- La désignation standard E21B10 désigne « les trépan » ou « drill bits » spécialement adaptés pour modifier la direction du forage E21B 7/08 ; comportant des moyens pour ramasser des substances E21B 27/00.

La sous-classe E21B couvre principalement (WIPO, 2013) :

- Les équipements pour le forage du sol ou de la roche dans leur formation naturelle ;
- Les équipements analogues pour le forage de structures artificielles in situ, par exemple de routes ou de structures en béton.
- Par contre, elle ne couvre pas (WIPO, 2013) :
- Les machines de perçage tenues à la main, p.ex. pour l'usage domestique ;
- Les équipements de perçage pour la fabrication, c. à d. dans lesquels une pièce est usinée, p. ex. pour un traitement ultérieur couvert par les sous-classes de la section B, p.ex. B23B ;
- Les compositions pour le forage des puits ou pour le traitement de puits ou de trous de forage, qui sont couvertes par le groupe C09K 8/00, p. ex. les compositions pour les méthodes de récupération assistée pour l'extraction d'hydrocarbures C09K 8/58.

La recherche, pour la période (1900 – 1906), a donné ZERO réponse. De fait, pour en être sûr, nous sommes remontés dans le temps jusqu'à l'année 1800. Nous avons conclu avec certitude que le sujet « Drill Bit » n'a fait l'objet d'aucun brevet avant 1907. Pour la période allant de 1907 à 2013, nous avons obtenu 10 070 brevets.

Lors des traitements, nous nous sommes rendus compte que ce chiffre regroupe les outils de forage pétroliers mais aussi ceux utilisés dans les mines « mining drill bit », ceux utilisés sur les chantiers de construction des structures artificielles tels que les routes et chaussées, tels que les marteaux piqueurs « hammer drill bit » et ceux utilisés pour faire des trous dans les structures (murs, plafonds, etc.) en béton comme les « concrete drill bit ».

Nous avons évité l'utilisation du mot clé composé « Oil Drill Bit » pour ne pas perdre des informations concernant des trépan, utilisés dans les forages pétroliers sur des brevets qui ont omis de le préciser dans le titre ou le résumé.

Nous n'avons pas utilisé les termes français « trépan » ou « outil de forage » parce que de toute façon si les brevets français en font référence, la traduction anglaise fera obligatoirement et systématiquement référence au mot « drill bit ».

Nous avons donc décidé de filtrer ces informations en procédant par élimination et en utilisant des mots clés indésirables tels que : « mine drill bit », « mining drill bit », « hammer drill bit », « concrete drill bit », etc. Cette étape de traitement nous a pris du temps, particulièrement lorsque nous doutions du contenu d'un brevet, nous accédions à son contenu à travers le lien donné par Matheo Patent sur « EspaceNet Worldwide ». Il faut noter que les brevets chinois et russes ont été les plus difficiles à traiter pour des raisons évidentes de langue, surtout lorsque le résumé n'est pas bien explicite ou tout simplement inexistant. Dans ce cas, l'accès au brevet devient une obligation pour consulter la partie DRAWINGS.

## 2. Discussions :

Après l'opération de nettoyage des données, nous avons obtenu **7259 brevets** répartis sur 86 IP Class 4 digits, comme suit :

Inventeurs :	<b>5582</b>
Déposants :	<b>1903</b>

IP Class 4 Digits :	<b>6</b>
IP Class Full Digits :	<b>96</b>

Les dix (10) premières IP Class 4 Digits sont (WIPO, 2013) :

/Cls	Désignation de la Sous-Classe IPC-4D	bre
<b>21B</b>	FORAGE DU SOL OU DE LA ROCHE	259
<b>22F</b>	TRAVAIL DES POUDRES MÉTALLIQUES ; FABRICATION D'OBJETS A PARTIR DE POUDRES MÉTALLIQUES ; FABRICATION DE POUDRES MÉTALLIQUES	47
<b>23P</b>	AUTRES PROCÉDÉS MÉCANIQUES DE TRAVAIL DU MÉTAL; OPÉRATIONS MIXTES; MACHINES-OUTILS UNIVERSELLES	76
<b>23B</b>	TOURNAGE; PERÇAGE	43
<b>16C</b>	ARBRES; ARBRES FLEXIBLES; PIÈCES DU MÉCANISME DES ARBRES-MANIVELLES; PIÈCES ROTATIVES AUTRES QUE LES PIÈCES DE TRANSMISSION MÉCANIQUE; PALIERS	35
<b>22C</b>	ALLIAGES	21
<b>16J</b>	PISTONS; CYLINDRES; RÉCIPIENTS SOUS PRESSION EN GÉNÉRAL; JOINTS D'ÉTANCHÉITÉ	8
<b>06F</b>	TRAITEMENT ÉLECTRIQUE DE DONNÉES NUMÉRIQUES	0
<b>23K</b>	BRASAGE OU DEBRASAGE; SOUDAGE; REVÊTEMENT OU PLACAGE PAR BRASAGE OU SOUDAGE; DÉCOUPAGE PAR CHAUFFAGE LOCALISÉ, p. ex. DÉCOUPAGE AU CHALUMEAU; TRAVAIL PAR RAYON LASER	3
<b>23C</b>	REVÊTEMENT DE MATÉRIAUX MÉTALLIQUES; REVÊTEMENT DE MATÉRIAUX AVEC DES MATÉRIAUX MÉTALLIQUES; TRAITEMENT DE SURFACE DE MATÉRIAUX MÉTALLIQUES PAR DIFFUSION DANS LA SURFACE, PAR CONVERSION CHIMIQUE OU SUBSTITUTION; REVÊTEMENT PAR ÉVAPORATION SOUS VIDE	6

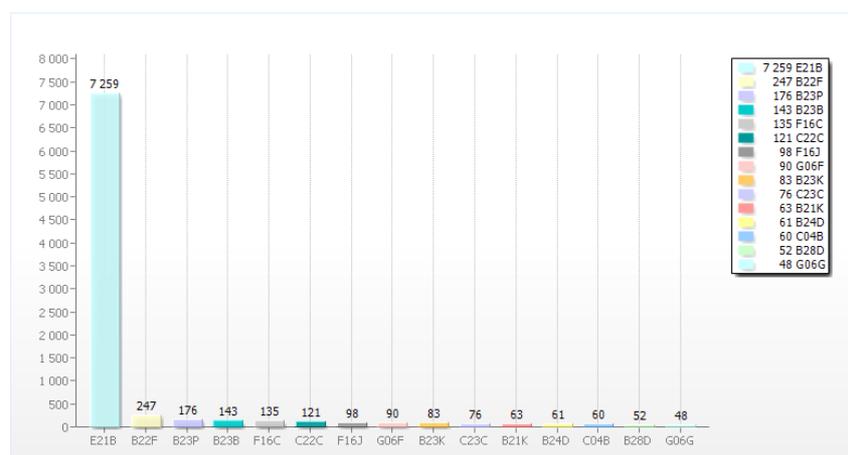


Figure 18. Répartition des brevets en IP Class 4 Digits « 15 premières classes »

Le TOP 15 de la classification IPC-4D montre que la majorité des brevets traite des matériaux utilisés pour la fabrication des éléments de coupe tels que les inserts en diamant naturel ou en PDC, des procédés de montage des inserts et/ou des moyens de fabrication des trépan et l'optimisation de leurs performances.

Un zoom en IPC-FD nous a permis de constater que les dix-huit (18) premières IP Class Full Digits se réfèrent toutes à E21B10 c'est-à-dire à : Trépan (spécialement adaptés pour modifier la direction du forage E21B 7/08; comportant des moyens pour ramasser des substances E21B 27/00).

Le tableau suivant précise les désignations des 10 premières IPC-FD (WIPO, 2013) :

/Cls	Désignation de la Sous-Classe IPC-FD	bre
<b>E21B10/56</b>	· parties rapportées du type bouton (E21B 10/52 à priorité)	107
<b>E21B10/46</b>	· caractérisés par des parties résistant à l'usure, p.ex. des diamants rapportés	87
<b>E21B10/60</b>	· caractérisés par des canaux ou des buses pour les fluides de forage (pour les trépan à organes coupants roulants E21B 10/18; pour les trépan à percussion E21B 10/38)	53
<b>E21B10/42</b>	· Trépan rotatifs du type racleur comportant des dents, des lames ou des organes de coupe similaires, p.ex. du type à fourche, en queue de poisson (caractérisés par leurs parties résistant à l'usure E21B 10/46, par des canaux ou des buses pour les fluides de forage E21B 10/60, par des éléments amovibles ou réglables E21B 10/62)	81
<b>E21B10/56 7</b>	· · · comportant des éléments de coupe préformés, montés sur un support distinct, p. ex. des parties rapportées polycristallines	78
<b>E21B10/00</b>	Trépan (spécialement adaptés pour modifier la direction du forage E21B 7/08 ; comportant des moyens pour ramasser des substances E21B 27/00)	37
<b>E21B10/16</b>	· · caractérisés par la forme ou la disposition des dents	31
<b>E21B10/22</b>	· · caractérisés par des détails de paliers, de lubrification ou d'étanchéité	19

<b>E21B10/43</b>	· · caractérisés par la disposition des dents ou des autres éléments coupants	09
<b>E21B10/08</b>	· Trépan à organes coupants roulants, p. ex. à molettes (trépan carottiers à organes coupants roulants E21B 10/06 ; avec une partie pilote E21B 10/26 ; caractérisés par des parties résistant à l'usure E21B 10/46)	86

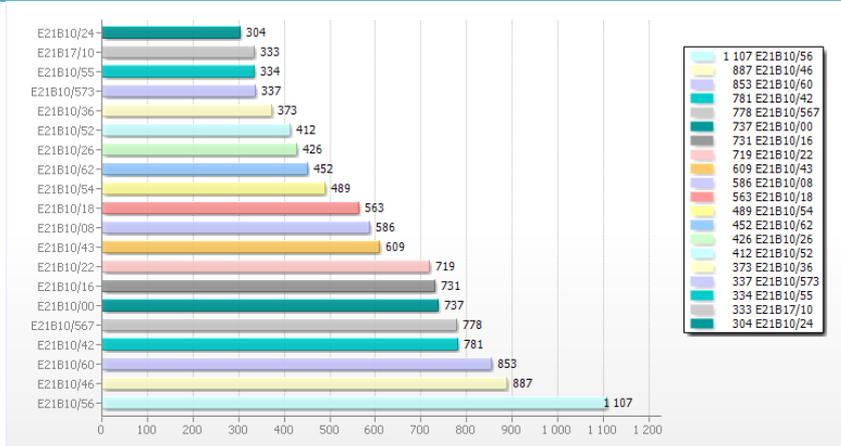


Figure 19. Répartition des brevets en IP Class Full Digits « 20 premières classes »

Nous constatons que la majorité des brevets se rapporte à :

- la fabrication du trépan ou de ses composants,
- la composition des organes de coupe (inserts en diamant naturel ou PDC),
- l'optimisation des formes des organes de coupe des Trépan : inserts, forme, etc.,
- processus d'optimisation des performances des trépan.

Le tableau suivant met en évidence les 25 premiers déposants de brevets :

Classement	Compagnie	Nbre de Brevet
<b>01</b>	(SLB) SMITH INTERNATIONAL ( US )	1331
<b>02</b>	(BHI) BAKER HUGHES ( US )	1084
<b>03</b>	(SLB) CAMCO LTD ( GB )	293
<b>04</b>	(GE) GENERAL ELECTRIC / DRESSER ( US )	269
<b>05</b>	(NOV) REED HYCALOG ( US )	254
<b>06</b>	(HAL) HALLIBURTON DBS / SECURITY DBS ( US )	210
<b>07</b>	SHELL ( NL )	158
<b>08</b>	(SLB) SCHLUMBERGER ( US )	130
<b>09</b>	CHINA UNIVERSITIES & INSTITUTES ( CN )	126
<b>10</b>	(BHI) CHRISTENSEN ( US )	108
<b>11</b>	VAREL INTERNATIONAL ( US )	67
<b>12</b>	NL PETROLEUM PROD ( GB )	65

13	HALL DAVID R ( US )	60
14	SANTRADE LTD ( CH )	55
15	ATLAS COPCO AB ( SE )	51
16	NL INDUSTRIES INC ( US )	47
17	SKF ( SE )	47
18	US SYNTHETIC CORP ( US )	46
19	RUSSIA INSTITUTES ( RU )	42
20	(WFT) WEATHERFORD ( US )	41
21	PRAD RES & DEV LTD ( VG )	37
22	ZHAO YUNLIANG ( CN )	32
23	STEVENS JOHN H ( US )	31
24	BP-AMOCO ( US )	30
25	EXXON-MOBIL ( US )	29

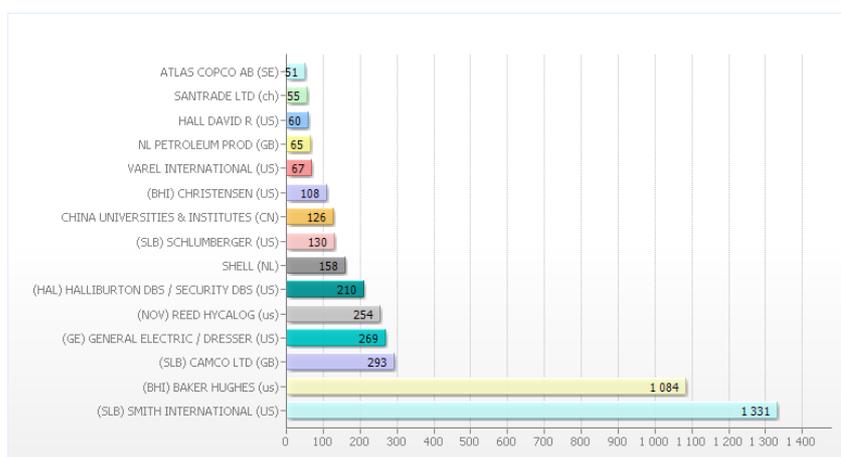


Figure 20. Répartition des brevets selon les Déposants « TOP 15 »

La lecture du tableau précédent et de la figure 20 demande des informations complémentaires, obtenues par le biais des matrices (Annexe 1) : Déposants/Pays, Déposants/IPC-4D, Déposants/IPC-FD, Déposants/Année de Publication ainsi que l'histoire des fusions/acquisitions opérées sur les compagnies spécialisées dans la fabrication des trépan.

Il faut savoir que :

- Schlumberger a racheté Camco Ltd en juin 1998 et Smith International en août 2010.
- Baker Hughes a racheté Christensen Diamond Products en 1992.
- General Electric a racheté Dresser Inc. (appartenant initialement à Halliburton) en février 2011.
- Halliburton a racheté Security DBS en 2007.

Cette reconfiguration nous permet d'obtenir une short-liste « TOP 5 » des fabricants des trépan :

Classement	Compagnie	Score
01	SHLUMBERGER (+ SMITH + LYNG + CAMCO)	1754
02	BAKER HUGHES (+ CHRISTENSEN)	1192
03	NOV (+ REED HYCALOG)	269
04	HALLIBURTON (+ DBS)	254
05	VAREL	67

Cette short-liste peut servir de white-liste pour les compagnies algériennes qui veulent acquérir des trépan pour leurs forages à travers des consultations restreintes (par exemple : Appel d'Offre Restreint), en précisant, en tant que condition éliminatoire, le nombre minimum de brevets déposés dans le domaine de fabrication des trépan. Elle peut servir aussi pour réaliser des partenariats (joint-ventures) permettant un réel transfert technologique ou l'utilisation légale des brevets.

Nous avons éliminé Dresser Inc. de la short-liste malgré son important portefeuille brevet. La raison est qu'elle n'a publié aucun brevet depuis 2008 (Matrice 4a) et a même abandonné la fabrication des trépan depuis son acquisition par GE en 2011, pour se concentrer sur des produits et services du contrôle des flux (valves, instruments de mesure, etc.). Il est tout de même intéressant de vérifier le statut juridique de son patrimoine brevet. En effet, à titre d'exemple, le brevet « JET BIT WITH VARIABLE ORIFICE NOZZLE », publié aux Etats-Unis d'Amérique, en date du 08/05/2001, sous le numéro « US6227316B1 », a expiré le 08/05/2009 (c'est-à-dire avant échéance) pour non-paiement des annuités. Cette information est vérifiable en consultant INPADOC legal status du brevet en question sur « EspaceNet ». Il est donc possible d'utiliser le contenu de ce brevet en toute légalité sans paiement de royalties.

Camco Ltd. n'a plus publié de brevet sur les trépan depuis 2007 (Matrice 4a) et a aussi abandonné la fabrication depuis son rachat par Schlumberger. De toute évidence, une partie de son portefeuille brevets est passée sous le contrôle de cette dernière, alors qu'une autre partie est toujours gérée par REED-HYCALOG (actuellement NOV).

Les opérations successives de fusions et d'acquisitions subies par des compagnies telles que Dresser, Camco ou autres, peuvent générer des dysfonctionnements dans la gestion du portefeuille brevets. Ces failles juridiques peuvent faire tomber un brevet dans le domaine public.

En s'intéressant à une liste plus importante de déposants (25 premiers), nous remarquons, outre ce qui a été énoncé, ce qui suit :

- Avec 126 brevets déposés et une neuvième (09) place au classement du TOP 10, les universités et instituts chinois sont féconds en matière de production de brevets dans tous les domaines et, en particulier, dans les processus de fabrication du trépan et de ses composants. Il est intéressant d'étudier ces brevets (même si c'est difficile) parce que leur adaptation est aisée du fait de leur étendue géographique, généralement limitée à la Chine.
- Les compagnies pétrolières telles que SHELL, BP-AMOCO, EXXON-MOBIL et même TOTAL vont au-delà de leurs métiers d'exploration et de

production en participant à la conception et à l'optimisation des trépan. Les dépôts de brevets sont, dans ces cas, le résultat d'opérations réalisées pour des besoins spécifiques de leurs forages.

- Parmi les déposants les plus actifs, se trouvent des personnes physiques indépendantes ou liées à des compagnies telles que HALL DAVID R (indépendant), ZHAO YUNLIANG (lié à Smith International) et STEVENS JOHN H (lié à Baker Hughes).
- On s'étonne, lorsqu'on constate que SKF, leader mondial des roulements et paliers, est déposant de brevets dans le domaine des trépan. La matrice 3 (Annexe 1) nous donne la réponse : SKF a déposé 40 brevets (sur 47) dans la classe E21B10/22 ce qui correspond à « · · caractérisés par des détails de paliers, de lubrification ou d'étanchéité » (WIPO, 2013). Donc, cela correspond bien à son métier de fournisseur de paliers comme composants entrant dans la fabrication des trépan.

En utilisant la matrice 1 (Annexe 1) représentant les déposants par pays, on obtient le classement suivant des pays déposants :

1	Etats-Unis d'Amérique (US)	6	Pays Bas (NL)
2	Grande Bretagne (GB)	7	Canada (CA)
3	Chine (CN)	8	Iles Vierges (VG)
4	Russie (RU)	9	Suède (SE)
5	Allemagne (DE)	10	France (FR)

Aucune surprise par rapport à la première place occupée naturellement par les Etats-Unis d'Amérique. Notons que la Chine occupe la 3<sup>ème</sup> position et que la France n'est qu'à la 10<sup>ème</sup> position.

Les matrices 4a et 4b (Annexe 1) désignent, en fait, deux périodes consécutives de 20 ans :

- La première, allant de 1994 à 2013, représente les 20 ans de protection légale des brevets. Durant cette période, l'utilisation d'un brevet nécessite de l'accord du déposant, moyennant le paiement des royalties. Il est cependant possible d'utiliser tous les brevets tombés dans le domaine public pour non-paiement des annuités ou pour d'autres motifs que nous avons déjà cités.
- La seconde période, allant de 1974 à 1993, représente 20 ans pendant lesquels nous pouvons considérer que le brevet est technologiquement valable et son utilisation est tout à fait libre et légale puisqu'il est tombé systématiquement dans le domaine public.
- La période avant 1973 représente l'histoire de l'évolution technologique du trépan dont l'exploitation n'est pas appropriée au vu de l'obsolescence des technologies décrites.

### 3. Historique des dépôts de Brevets sur le sujet « Drill Bit »

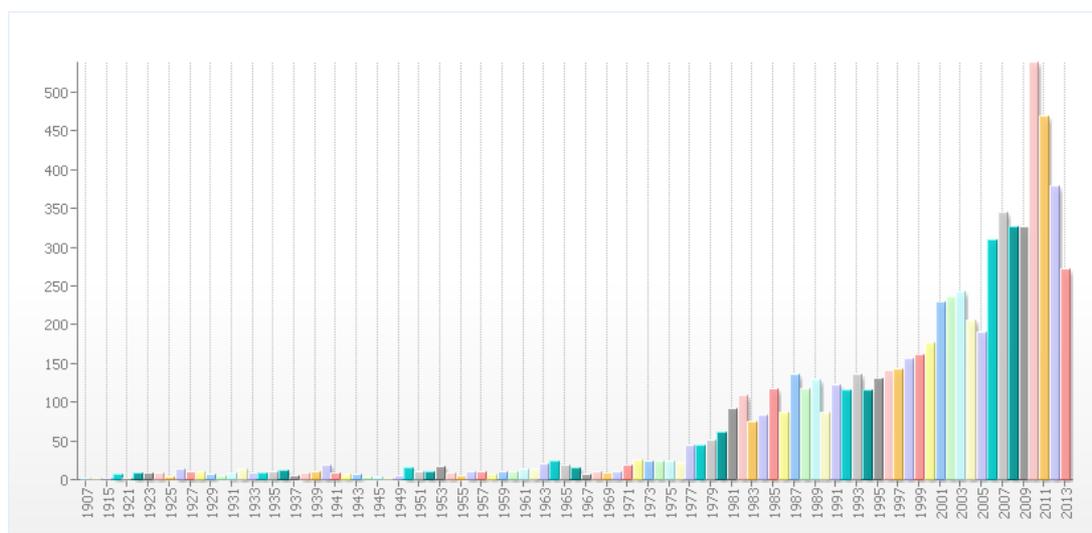


Figure 21. Brevets en fonction des dates de publication

Le plus ancien brevet sur « drill bit » a été déposé en 1906 et publié le 1er janvier 1907 par M. Charles W. GUTTZEIT. Il s'agit d'un brevet concernant un trépan à molette spécialement conçu pour le forage des puits à couches rocheuses dures. Cette information annule le mythe entretenu par Baker Hughes sur la paternité du premier trépan à deux cônes.

Nous pouvons dire que l'évolution des technologies des trépan a vu sa véritable genèse durant la fin des années 70. Cette évolution a été quasiment constante durant les années 80 et 90 et a pris un essor ces dix (10) dernières années. Ceci peut s'expliquer par l'augmentation des efforts de forages pétroliers, encouragée par la hausse du prix du pétrole et la forte demande sur le marché.

### 4. Résultats

Nous notons que les compagnies constituant la short-liste « TOP 5 » des fabricants des trépan sont les concurrents directs de l'ENSP en Algérie :

1. SCHLUMBERGER (SMITH, LYN & CAMCO)
2. BACKER HUGHES CHRISTENSEN
3. NOV (REED HYCALOG)
4. HALLIBURTON (DBS)
5. VAREL

Cet ordre obtenu par le nombre de brevets détenus par chaque compagnie est confirmé par la part de marché de chaque compagnie, mais aussi par les performances obtenues durant les opérations de forage en Algérie. Cette short-liste peut servir pour l'ENSP, à réaliser des partenariats (ou joint-ventures) permettant un réel transfert technologique ou à travers une utilisation légale de leurs brevets encore valides. D'ailleurs, DBS (rachetée par HALLIBURTON), était le partenaire de l'ENSP. Elle peut aussi aider les compagnies pétrolières à constituer un portefeuille de fournisseurs fiables.

Concernant les résultats de notre travail sur le plan pratique, voici une performance significative réalisée au cours des opérations de forage de la phase 12 $\frac{1}{4}$  d'un puits d'huile (BRNP#1) en exploration dans le bassin de Hassi Berkine Est (Algérie). En mai 2014, l'outil PDC 12 $\frac{1}{4}$ , conçu par l'équipe d'engineering de l'ENSP (Direction Fabrication) selon le modèle décrit à la figure n° 17 ci-dessus, a réalisé cette performance en forant 769 mètres en moins de 34 heures avec un taux de pénétration (ROP) approchant le seuil de 23 mètres par heure, pour culminer à 22,92 m/h. Il s'agit de la meilleure performance à ce jour pour ce type d'outils, dans la zone du Bassin de Berkine. Les paramètres d'usure de l'outil sont acceptables, compte tenu de la performance réalisée, ce qui a permis au client de réduire le temps non productif (NPT) et les coûts des opérations de forage.



Figure 22. Performances de l'outil PDC 12 $\frac{1}{4}$  (SPH639) de l'ENSP lors de ces quatre opérations (Source : ENSP, 2014)

A sa quatrième opération, cet outil s'est distingué par rapport à ses résultats précédents par :

1. Son taux de pénétration (ROP) exceptionnel : 22,92 m/h contre 16,8 m/h enregistrés lors de l'opération précédente ;
2. La baisse du coût de la prestation à 96,15 \$/m contre 111,20 \$/m, en faveur du client.

## 7. CONCLUSIONS

Nous pouvons dire que cette étude a eu des retombées positives multiples pour l'ENSP et son Client SONATRACH et ce, suite à la performance réalisée par notre outil PDC, à savoir :

- L'outil PDC utilisé, est à son troisième remodelage (réparation), ce qui représente une économie de 40% du prix d'un nouveau trépan ;
- Les coûts économisés pour le client sont de l'ordre de 137000,00 US\$ pour la phase 12 $\frac{1}{4}$  ;
- Un gain en délais de plus de 3 jours de forage.

Cette étude nous a permis d'explorer de nouvelles pistes d'innovation par la compréhension des systèmes, en utilisant des techniques du reverse engineering,

d'approfondir les connaissances par l'étude des informations contenues dans les bases brevets concernant un sujet donné et de proposer des améliorations conséquentes. Ceci a été rendu possible à travers le processus cognitif associé au processus technique de reverse engineering.

Nous avons aussi constaté que rapprocher l'intelligence compétitive en général et le reverse engineering en particulier n'est pas une question de moyen mais d'état d'esprit. D'ailleurs nous pouvons envisager une analyse des coûts de ce genre d'études, ainsi que le retour sur investissement par rapport aux coûts d'exploitation, afin de démontrer que la R&D basée sur l'intelligence compétitive est «rentable».

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier M. Bruno Mannina, Ingénieur R&D à la Société Matheo Software, qui a eu l'amabilité de nous autoriser à utiliser la version complète de Matheo Patent durant deux semaines.

## RESSOURCES WEB CONSULTÉES

- ✓ Baker Hughes, [Online] Available : <http://www.bakerhughes.com/products-and-services/drilling/drill-bit-systems> (August 22, 2014)
- ✓ David-3D, [Online] Available : <http://www.david-3d.com> (August 22, 2014)
- ✓ Halliburton DBS, [Online] Available : <http://www.halliburton.com/en-US/ps/drill-bits/default.page> (August 22, 2014)
- ✓ Lyng (Slb), [Online] Available : [http://www.slb.com/services/drilling/drill\\_bits/lyng\\_pdc\\_bits.aspx](http://www.slb.com/services/drilling/drill_bits/lyng_pdc_bits.aspx) (August 22, 2014)
- ✓ National Oilfield Varco (NOV), [Online] Available : [http://www.nov.com/Drilling/Drill\\_Bits.aspx](http://www.nov.com/Drilling/Drill_Bits.aspx) (August 22, 2014)
- ✓ Smith Intl. (Slb), [Online] Available : [http://www.slb.com/services/drilling/drill\\_bits/pdc\\_bits.aspx](http://www.slb.com/services/drilling/drill_bits/pdc_bits.aspx) (August 22, 2014)
- ✓ Varel, [Online] Available : <http://www.varelintl.com> (August 22, 2014)
- ✓ ENSP Group [Online] Available : <http://www.enspgroup.com> (August 22, 2014)

## RÉFÉRENCES

BAGCI, E. (2009), "Reverse engineering applications for recovery of broken or worn parts and re-manufacturing: Three case studies", *Advances in Engineering Software*, 40(6), pp. 407–418. doi:10.1016/j.advengsoft.2008.07.003

BORYCZKO P. (2012), "Drill bit selection and optimization in exploration well 6507/6-4A in the Nordland Ridge Area", Master Thesis in Petroleum Engineering / Drilling, University of Stavenger - Faculty of Science and Technology, 2012.

- BRATLI R.K., HARELAND G., STENE F., DUNSÆD G. W. & GJELSTAD G. (1997), "Drilling Optimization Software Verified in the North Sea", Paper SPE 39007 presented at SPE LACPEC Conference in Rio De Janeiro, Brazil, August 30 - Sept. 2, 1997.
- CHIVATE, P. N., & JABLOKOW, A. G. (1995), "Review of surface representations and fitting for reverse engineering", *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 8(3), pp. 193–204.
- DE TOLEDO, R., LEVY, B., & PAUL, J.-C. (2008), "Reverse engineering for industrial-plant cad models", *TMCE, Tools and Methods for Competitive Engineering*, pp. 1021–1034.
- DURUPT A., REMY R., DUCELLIER G. & EYNARD B. (2008), "From a 3D point cloud to an engineering CAD model: A knowledge product based approach for reverse engineering", *Virtual and Physical Prototyping*, 3, pp. 51–59.
- DURUPT A., REMY R. & DUCELLIER G. (2010a), "KBRE: A Knowledge Based Reverse Engineering for Mechanical Components", *Computer-Aided Design & Applications*, 7(2), 2010, pp. 279–289, doi:10.3722/cadaps.
- DURUPT A., REMY R. & DUCELLIER G. (2010b), "Knowledge Based Reverse Engineering – An Approach for Reverse Engineering of a Mechanical Part", *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 10(4), 044501, doi:10.1115/1.3482059
- EGGERT David W., FITZGIBBON Andrew W., FISHER Robert B. (1998), "Simultaneous Registration of Multiple Range Views for Use in Reverse Engineering of CAD Models", *Computer Vision and Image Understanding*, 69(3), 1998, pp. 253-272.
- EGGERT David W., FITZGIBBON Andrew W., FISHER Robert B. (1996), "Simultaneous Registration of Multiple Range Views for Use in Reverse Engineering of CAD Models", *ICPR*, 1996, pp. 243-247.
- FISHER, R. B. (2004), "Applying knowledge to reverse engineering problems", *Computer Aided Design*, 36, 2004, pp. 501-510.
- FUDOS I. (2006), "CAD/CAM Methods for Reverse Engineering: A Case Study of Re-engineering Jewelry", *University of Ioannina, Computer-Aided Design & Applications*, 3(6), pp 683–700.
- GAO, C. H., LANGBEIN, F. C., MARSHALL, A. D., & MARTIN, R. R. (2003), "Approximate congruence detection of model features for reverse engineering", In *Shape Modeling International*, 2003, pp. 69–77, IEEE. Retrieved from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1199603](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1199603) (August 22, 2014)
- JIN, Zhouying (2005), "Global Technological Change: From Hard Technology to Soft Technology", *Intellect (UK)*, January 2005 – ISBN 1841501247
- LANGBEIN, F. C., MARSHALL, A. D., & MARTIN, R. R. (2002), "Numerical methods for beautification of reverse engineered geometric models", In *Geometric Modeling and Processing*, 2002, pp. 159–168, IEEE. Retrieved from [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=1027507](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1027507) (August 22, 2014)
- LANGBEIN F. C. (2003), "Beautification of Reverse Engineered Geometric Models", PhD Thesis, Cardiff University - Department of Computer Science, June 2003

LANGBEIN, F. C., MARSHALL, A. D., & MARTIN, R. R. (2004), “Choosing consistent constraints for beautification of reverse engineered geometric models”, *Computer-Aided Design*, 36(3), pp. 261–278.

MENAND S. (2010), « 2000-2010 : Principales évolutions et avancées technologiques en forage », *Pétrole & Gaz Informations*, MINES ParisTech, 1806 (2010), pp. 38–41.

MOTAVALLI, S. (1998), “Review of reverse engineering approaches”, *Computers & Industrial Engineering*, 35(1), pp. 25–28.

NPD-BOK, “A Methodology for Reverse Engineering”, NEW PRODUCT DEVELOPMENT - BODY OF KNOWLEDGE, [Online] Available: <http://www.npd-solutions.com/bok.html> (October 18, 2013)

VARUDY T., MARTIN R. R. & COX J. (1997), “Special issue: reverse engineering of geometric models”, *Computer-Aided Design*, 29(4), pp. 253–254.

VARUDY T., MARTIN R. R. & COX J. (1997), “Reverse engineering of geometric models. An introduction”. *Computer-Aided Design*, 29(4), pp. 255–268.

PETITJEAN S. (2002), “A survey of methods for recovering quadrics in triangle meshes”, *ACM Comput. Surv.*, 34(2), pp. 211–262.

QUONIAM L. (2013), « Brevets comme outil d’innovation, de créativité et de transfert technologique dans les pays en voie de développement », *Journée Scientifiques et Techniques de Sonatrach (JST’9)*, Centre des Conventions d’Oran, Algérie, 08 avril 2013

THOMPSON, W. B., OWEN, J. C., DE ST GERMAIN, H. J., STARK Jr, S. R., & HENDERSON, T. C. (1999), “Feature-based reverse engineering of mechanical parts”, *Robotics and Automation*, *IEEE Transactions on*, 15(1), pp. 57–66.

WINKELBACH, S., MOLKENSTRUCK, S., & WAHL, F. M. (2006), “Low-cost laser range scanner and fast surface registration approach”, In *Pattern Recognition*, pp. 718–728, Springer, Retrieved from [http://link.springer.com/chapter/10.1007/11861898\\_72](http://link.springer.com/chapter/10.1007/11861898_72)

Wikipedia, “Reverse engineering”. [Online] Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Reverse\\_engineering](http://en.wikipedia.org/wiki/Reverse_engineering) (October 18, 2013)

WIPO GOLD (2013), Ressource de l’OMPI, [Online] Available : <http://www.wipo.int/wipogold/fr/> (August 22, 2014)

ZHANG, Y. (2003), “Research into the engineering application of reverse engineering technology”, *Journal of Materials Processing Technology*, 139(1-3), pp. 472–475, doi:10.1016/S0924-0136(03)00513-2

## ANNEXE 1: MATRICES

Déposants	US	GB	CN	RU	DE	NL	CA	VG	SE	FR
(SLB) SMITH INTERNATIO...	1331	0	6	0	0	0	0	0	0	0
(BHI) BAKER HUGHES (US)	1084	0	0	0	35	0	0	0	0	1
(SLB) CAMCO LTD (GB)	2	293	0	0	0	0	0	0	0	0
(GE) GENERAL ELECTRIC ...	269	1	0	0	0	0	0	0	0	0

(NOV) REED HYCALOG (US)	254	1	0	0	0	0	0	0	0	0
(HAL) HALLIBURTON DBS ...	210	7	0	0	0	0	0	0	0	2
(SLB) SCHLUMBERGER (US)	130	22	0	0	0	0	3	33	0	6
SHELL (NL)	2	1	0	0	0	158	0	0	0	0
CHINA UNIVERSITIES & L...	0	0	126	0	0	0	0	0	0	0
(BHI) CHRISTENSEN (US)	108	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRAD RES & DEV LTD (VG)	33	19	0	0	0	0	3	37	0	5
VAREL INTERNATIONAL (US)	67	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NL PETROLEUM PROD (GB)	0	65	0	0	0	0	0	0	0	0
HALL DAVID R (US)	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SANTRADE LTD (CH)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Matrice 1. Déposants / Pays, obtenue par scoring  
(Poids sur l'axe pays  $x=6570$  à  $116$  et sur l'axe déposants  $y=1337$  à  $55$ )*

Déposants	E21B	B22F	B23P	C22C	B23B	F16C	B23K	F16J	G06F	C23C
(SLB) SMITH INTERNATIO...	1331	52	32	39	24	13	21	15	69	36
(BHI) BAKER HUGHES (US)	1084	58	21	33	5	24	9	6	3	16
(SLB) CAMCO LTD (GB)	293	26	6	11	21	11	10	0	0	2
(GE) GENERAL ELECTRIC ...	269	6	3	1	7	4	7	13	1	0
(NOV) REED HYCALOG (US)	254	8	17	9	2	18	12	10	1	1
(HAL) HALLIBURTON DBS ...	210	5	3	1	1	4	0	9	6	0
SHELL (NL)	158	0	0	0	0	0	0	0	0	0
(SLB) SCHLUMBERGER (US)	130	2	0	0	3	2	0	0	2	0
CHINA UNIVERSITIES & L...	126	10	1	7	1	0	0	0	0	2
(BHI) CHRISTENSEN (US)	108	13	1	0	3	0	0	0	0	0
VAREL INTERNATIONAL (US)	67	3	4	0	2	3	0	4	0	0
NL PETROLEUM PROD (GB)	65	16	1	3	0	0	2	0	0	0
HALL DAVID R (US)	60	0	0	0	1	0	0	0	0	0
SANTRADE LTD (CH)	55	0	5	0	0	0	0	7	0	0
ATLAS COPCO AB (SE)	51	8	0	0	0	0	0	0	0	0
NL INDUSTRIES INC (US)	47	8	20	0	0	0	1	0	0	0
SKF (SE)	47	8	0	0	0	14	0	5	0	8
US SYNTHETIC CORP (US)	46	1	0	1	2	0	0	0	0	1
RUSSIA INSTITUTES (RU)	42	1	0	0	0	0	0	0	0	0
(WFT) WEATHERFORD (US)	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0

*Matrice 2. Déposants / IPC-4D, obtenue par scoring  
(Poids sur l'axe IPC-4D  $x=9375$  à  $92$  et sur l'axe déposants  $y=1755$  à  $48$ )*

Déposants	E21B 10/56	E21B 10/46	E21B 10/42	E21B 10/00	E21B 10/60	E21B 10/16	E21B 10/567	E21B 10/22	E21B 10/08	E21B 10/43
(SLB) SMITH INTERNATIO...	179	186	141	158	80	327	147	140	199	116
(BHI) BAKER HUGHES (US)	176	160	182	108	99	86	156	80	74	134
(SLB) CAMCO LTD (GB)	139	28	66	36	69	8	97	24	4	54
(GE) GENERAL ELECTRIC ...	50	7	24	3	19	21	38	70	24	24
(NOV) REED HYCALOG (US)	59	13	30	8	29	25	52	50	5	23
(HAL) HALLIBURTON DBS ...	1	8	17	55	16	51	0	42	37	11



## ANNEXE 2 : GLOSSAIRE

CAD (CAO)	Computer-Aided Design / Conception Assistée par Ordinateur
CAM (FAO)	Computer-Aided Manufacturing / Fabrication Assistée par Ordinateur
CMM (MMT)	Coordinate Measuring Machine / Machine à Mesurer Tridimensionnelle
FEA (MEF)	Finite Element Analysis / Méthode des Eléments Finis
FWR	Final Well Report / Rapport Final de Sondage
IPC (CIB)	International Patent Classification / Classification Internationale des Brevets
IPC-4D	Classification IP à 4 lettres
IPC-FD	Classification IP complète
LWD	Logging While Drilling
MWD	Measurement While Drilling
NPT	Non Productive Time / Temps non productif
ROP	Rate Of Penetration / Taux d'avancement ou de pénétration dans le sol.
RPM	Revolution Per Minute / Tours par minute (vitesse de rotation)
TRQ	Torque / Couple de torsion appliqué au train de tiges du forage
WOB	Weight On Bit / Poids sur l'outil