



HAL
open science

Ingénierie des connaissances et innovation. Application dans le domaine automobile

Antoine Courteille, Philippe Allot, Jean-Pierre Tarditi, Jean-Louis Ermine,
Marc Le Coq

► **To cite this version:**

Antoine Courteille, Philippe Allot, Jean-Pierre Tarditi, Jean-Louis Ermine, Marc Le Coq. Ingénierie des connaissances et innovation. Application dans le domaine automobile. Extraction de connaissances et apprentissage, 2001, 1 (4), pp.203-220. hal-00984150

HAL Id: hal-00984150

<https://hal.science/hal-00984150>

Submitted on 27 Apr 2014

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.

Ingénierie des connaissances et innovation

Application dans le domaine automobile

Antoine Courteille, Philippe Allot, Jean-Pierre Tarditi, Jean-Louis Ermine, Marc Le Coq

Extraction des connaissances et apprentissage,
Vol 1, n° 4, pp 203-220, Hermès, 2001

Ingénierie des connaissances et innovation, application dans le domaine automobile

Antoine Courteille^{1,2}, Philippe Allot¹, Jean-Pierre Tarditi¹, Jean-Louis Ermine³, Marc Le Coq²

¹ PSA Peugeot Citroën, DPTA/DMGP/ORSI/SIS

Ingénierie des Bases d'Expérience

18, Rue des Fauvelles

92208 La Garenne Colombes Cedex

Allot2@mpsa.com

² ENSAM

Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers

Laboratoire Conception de Produit Nouveaux et Innovation, Paris

courteill@hotmail.com

³Tech-CICO, UTT, Université de Technologie de Troyes

12 rue Marie Curie, BP. 2060, 10010 Troyes Cedex, France

ermine@utt.fr

RESUME : L'industrie automobile nécessite une maîtrise des coûts, de la qualité et des délais. Pour ce faire, PSA Peugeot Citroën travaille depuis quelques années sur l'intégration de connaissances métiers au sein d'outils d'aide à la conception. De manière plus précise, il s'agit de produire et de mettre à disposition des solutions informatiques permettant d'automatiser des tâches routinières de conception dans le domaine de la CAO. Suite à des travaux de recherche et des mises en productions industrielles, le Groupe PSA est en mesure de proposer des outils et des méthodes apportant des solutions aux besoins de ses utilisateurs.

Aujourd'hui, face à une politique de globalisation du marché, le groupe met en avant trois axes : croissance, rentabilité et innovation. Cette innovation doit maintenant se retrouver dans le processus de conception. Il s'agit donc d'identifier et d'expérimenter des environnements méthodologiques outillés permettant de capitaliser les connaissances « routinières » et « innovantes » en cohérence, en vue de leur automatisation. Nous nous attarderons ici à la mise en place d'un tel environnement qui sera expérimenté dans le domaine des cadre de porte.

ABSTRACT : Automotive industry needs cost, quality and delay control. In this aim, PSA Peugeot Citroën, a French car company, has been working, for a few years now, on the integration of the knowledge workers within the tools which will help the designers. To be more precise, this integration deals with the design of data processing solutions in order to automate design routine tasks in the CAD field. Following research programs and industrial production applications, PSA Peugeot Citroën is now able to set up tools and methods giving solutions in answer to the user's needs.

Today, confronted to the market globalisation policy, the company brings forward three notions: growth, profitability and innovation. This innovation now has to find itself integrated into the design process. The project is therefore to identify and test tooled method structures allowing saving both routine and innovative knowledge in order to automate them. The goal of the project is to develop such structure and to test its efficiency in doorframe and power transmission fields.

MOTS-CLES : Gestion des connaissances, modélisation, ingénierie des connaissances, innovation, industrie automobile

KEY WORDS : Knowledge management, modelling, knowledge engineering, innovation, automotive industry

1. Introduction

1.1. Gestion des connaissances et innovation

La gestion des connaissances (Knowledge Management) est une démarche qui se révèle désormais stratégique pour les entreprises. Elle se structure dans des processus fondamentaux qui sont pour le moment diversement développés suivant la maturité des organisations dans ce domaine et l'avancée de l'offre méthodologique et technologique [Ermine 00a].

Un attendu fondamental de la gestion des connaissances se situe dans le domaine de l'innovation. Dans le monde économique actuel, la survie des entreprises passe par une innovation constante et soutenue. C'est désormais un enjeu compétitif majeur dans les entreprises, qui cherchent donc à accélérer les processus qui la sous-tendent. Dans l'acceptation courante, l'innovation recouvre deux processus très différents, l'un est celui qui mène de « l'idée au

produit » ; l'autre, plus interne à l'entreprise, est ce qu'on appellera la « créativité ». Les mécanismes accélérateurs de l'innovation sont de nature très différente suivant qu'on s'intéresse à l'un ou l'autre. Dans le premier cas, il s'agit surtout de soutiens structurels et logistiques (« aide à l'innovation »). Dans le deuxième cas, la gestion des connaissances est un des leviers au service d'une politique volontariste de soutien à la créativité, qui conditionne l'évolution cohérente et efficace du patrimoine de connaissances de l'entreprise. C'est ce deuxième point que nous envisageons ici.

1.2. L'évolution et l'hypothèse de la dépendance du sentier

L'hypothèse fondamentale qui est posée dans ce travail est l'identification du processus de créativité à un processus d'évolution du patrimoine de connaissances de l'entreprise. C'est une hypothèse qui paraît naïve de prime abord (la création d'une connaissance nouvelle enrichit le patrimoine), mais qui en fait s'inscrit en opposition à certaines croyances (« il vaut mieux oublier ce qu'on sait pour être plus innovant ») et à de nombreuses pratiques (ne pas perdre son temps à analyser le passé et/ou l'existant pour y trouver des idées nouvelles), plus rattachée à des hypothèses de « génération spontanée » qu'à des hypothèses d'évolution.

Si on admet que l'innovation contient un sous-processus d'évolution, ceci appelle d'autres hypothèses de type « évolutionniste ». Quand on connaît les innombrables polémiques, loin d'être éteintes actuellement, qui ont été soulevées par les théories évolutionnistes de Lamarck et Darwin ([Denton 85], [Ridley 85], par exemple), on peut s'attendre à développer ainsi une théorie de l'évolution des connaissances dont il faudra scrupuleusement tester et valider les attendus.

En fait, les idées de Lamarck et Darwin ont eu très tôt de très grands retentissements, et le modèle évolutionniste a été très rapidement l'objet de transpositions dans de nombreux domaines, très différents de la biologie : l'anthropologie [Sapir 67], la psychologie cognitive [Piaget 76], la philosophie [Durkheim 84], l'épistémologie cité dans [Versailles 99], la théorie de la complexité [Heudin 98], l'histoire des techniques [Deforge 85] [Jukes 82], l'informatique [Torres-Carbonell 96], la gestion des connaissances [Barthelmé 98] [Ermine 99], etc.

Une hypothèse évolutionniste très importante dans le domaine de l'innovation nous vient de la science économique et s'appelle « la dépendance du sentier » (« path dependency »), [Coriat 97] [David 94] pour laquelle l'innovation est un processus de « création technologique endogène et cumulatif », c'est à dire que c'est la nature même du patrimoine de connaissances accumulés dans une organisation qui prédétermine le sentier d'évolution de ces connaissances (voire de l'organisation elle-même). Il y a, non pas création pure ou dictée par des contraintes uniquement externes, mais évolution des idées, par assimilation, accommodation, mutation, etc. Cette évolution des idées se fait à l'intérieur de l'entreprise à partir de son « patrimoine génétique », qui est constitué, entre autres, de son patrimoine de connaissances. Ce sont donc les connaissances existantes qui conditionnent les idées futures, et amènent ainsi à l'innovation. L'hypothèse de « la dépendance du sentier » demande donc à analyser l'évolution d'un système de connaissances vis-à-vis de son histoire pour mieux maîtriser son évolution future. C'est l'objectif du travail exposé ici. Il a pour but de décrire de manière structurée l'historique d'un ensemble de connaissances dans l'objectif de mieux comprendre et maîtriser les lois d'évolution de ces connaissances, qui sont nécessairement spécifiques à l'organisation. L'objectif est d'utiliser ces résultats comme aide à la décision et/ou aide à l'innovation dans le domaine de connaissances considéré, en quelque sorte de les utiliser comme support de la créativité.

Comprendre les processus d'évolution des connaissances permet de rechercher les lois d'évolutions qui dirigent ces processus et les facteurs d'évolution qui en sont les éléments caractéristiques. Comprendre ces lois et ces facteurs permettront de les utiliser comme levier pour améliorer les processus d'innovation à mettre en place dans l'entreprise. (cf. l'étude menée dans [Benhamou 01] pour plus de détails).

1.3. L'évolution pour les objets industriels

La conception d'un objet industriel ou technique dans une entreprise utilise un patrimoine de connaissances considérable qui est un atout majeur pour la compétitivité de l'entreprise. L'innovation, dans la conception d'un objet technique sera donc vue ici comme un processus d'évolution de ce patrimoine : comment de nouvelles idées sont-elles engendrées à partir des anciennes ? Dans ce domaine, nous nous référerons à deux types d'approches.

La première est celle adoptée par la méthode TRIZ, à partir d'une analyse statistique de près de deux millions de brevets [Altshuller 92, 96, 97], l'autre est celle suivie par Yves Deforge, à partir d'une analyse socio-technique de la génétique d'objets industriels [Deforge 85]. Pour TRIZ, l'objet technique est un système technologique, pour Deforge, l'objet technique est un système socio-technique.

Les lois d'évolution sont des tendances générales qui président l'évolution des lignées d'objets technologiques. Les deux approches s'accordent sur, d'une part, le fait qu'il existe des lois d'évolution et, d'autre part, sur la nature même de ces lois. TRIZ distingue les lois statiques (cycle de vie, facilité du transfert d'énergie, synchronisation), lois

cinématiques (évolution vers un système idéal, inégalité dans le développement technologique des différentes parties d'un système, évolution vers un super système) et enfin des lois dynamiques (passage du macro au micro, passage de structures rigides à des structures flexibles ou adaptables). Deforge cite comme exemples de loi d'évolution : l'évolution vers une synergie fonctionnelle par incorporation de fonctions élémentaires ; l'évolution vers le micro, l'évolution vers un nouveau principe ; l'évolution vers l'autonomie de fonctionnement.

Les facteurs d'évolution sont les caractéristiques internes ou externes du système permettant de décrire ou d'expliquer le processus d'évolution. Ces facteurs peuvent se décliner en termes de contraintes fonctionnelles, techniques mais aussi économiques, culturelles ou psychologiques. Deforge s'intéresse à l'approche psychologique des concepteurs et souligne la thèse des comportements pilotés par des couples antagonistes comme (insatisfaction, moindre effort) et (autonomie, contingence). TRIZ étant une méthode d'aide à la conception de systèmes techniques, les facteurs d'évolution sont principalement des couples antagonistes qui expriment des contradictions techniques entre des objectifs de conception (par exemple : augmenter le volume et diminuer le poids).

1.4. L'utilisation de l'ingénierie des connaissances dans le processus d'évolution

Pour appliquer l'hypothèse de la dépendance du sentier, la méthode retenue a été de modéliser l'évolution des connaissances sur un domaine donné, afin de pouvoir l'analyser et en tirer des conclusions pour les conceptions futures. Cette modélisation se fait par une opération de capitalisation des connaissances auprès d'experts du domaine, en utilisant la méthode d'ingénierie des connaissances MASK (« Méthode d'Analyse et de Structuration des Connaissances » [Ermine 00b]). Un premier cas pratique a été réalisé à l'ONERA (Office National d'Etudes et de Recherches Aéropatiales) [Benhamou 01]. Il a consisté à reconstruire l'historique de l'évolution d'une technique de mesure conçue à l'ONERA et considérée comme particulièrement innovante depuis une trentaine d'années. Il a conduit à l'élaboration d'un modèle permettant d'observer l'évolution des connaissances dans ce domaine en vue de l'orientation des recherches futures. Les connaissances manipulées relevaient ici d'un domaine à connotation scientifique. Le cas pratique traité à PSA Peugeot Citroën, utilisé dans cet article, est celui d'objets techniques : les cadres de porte.

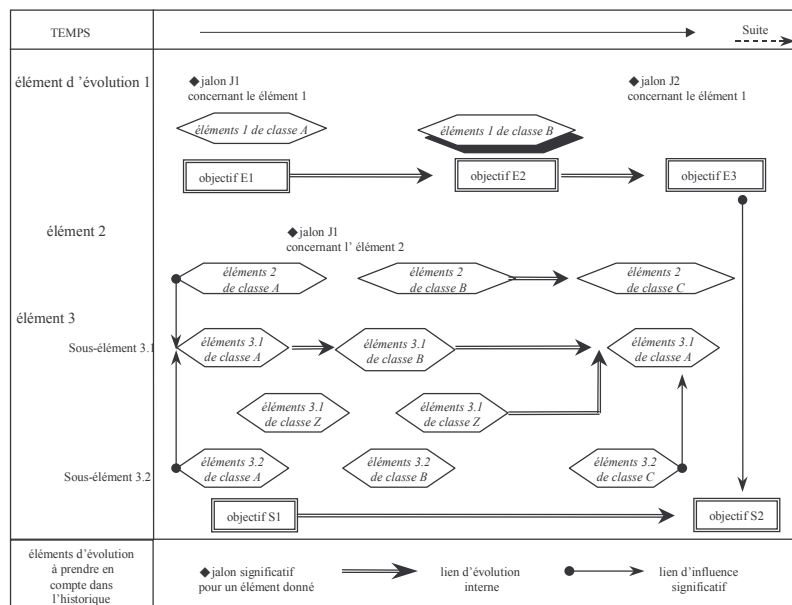


Figure 1 : Le diagramme du modèle de l'historique

La méthode MASK propose deux modèles pour décrire l'évolution des connaissances : le modèle d'historique et le modèle des lignées. L'application réalisée à l'ONERA a utilisé les deux modèles, celle réalisée à PSA s'est surtout inspirée du modèle d'historique qui a été adapté au sujet d'étude. Les modèles d'historique décrivent le contexte historique de l'évolution. Ce contexte est représenté graphiquement par la mise en relations d'éléments pertinents. Ces éléments sont identifiés séparément, et leur disposition dans le temps est décrite succinctement, en nommant les grandes classes caractéristiques au cours du temps pour ces éléments. Ces classes peuvent être attachées à des objectifs qui peuvent avoir évolué dans le temps. Des liens d'évolution significatifs entre des classes ou des objectifs peuvent apparaître. Les repères temporels sont donnés par des jalons, qui sont des événements datés significatifs pour l'élément considéré. L'ensemble de ces éléments est disposé dans un ou plusieurs tableaux synthétiques disposés suivant l'échelle de temps.

1.5. Le contexte de l'étude à PSA Peugeot Citroën

L'industrie automobile est soumise à une demande croissante d'innovation, et l'activité de conception de nouveaux modèles devient de plus en plus cruciale dans ce domaine. Pour l'activité de conception, elle dispose d'un grand corpus de connaissances et de savoir-faire métier et le groupe PSA a pour volonté de capitaliser ces connaissances et de les mettre en œuvre dans des applications d'aide à la conception. La gestion des connaissances considère que les processus de capitalisation de connaissances ne sont pas déconnectés des processus d'innovation [Ermine 00a]. La question se pose donc d'intégrer la dimension innovation dans la démarche de capitalisation des connaissances. L'objectif de l'étude est de montrer que la capitalisation des connaissances, et notamment les connaissances sur l'évolution dans la conception des composants techniques des véhicules (selon l'hypothèse édictée ci-dessus), peut promouvoir l'innovation sur les conceptions futures.

Une première expérimentation a été faite pour proposer une méthode permettant de capitaliser les connaissances de conception produit/process et de prendre en compte les concepts innovants. Le domaine Structure/Ouvrant sur la conception des cadres de porte (Figure 2) a été choisi avec le but de

- 1) consolider une structure de modélisation pour les cadres de porte, sur la base de la méthode MASK et des modèles d'évolution (§ 1)
- 2) permettre l'identification d'axes d'innovation pour le métier, validant ainsi les hypothèses qui ont été posées au §1

Cette expérimentation s'est faite en capitalisant des connaissances tacites d'un expert concepteur cadre de porte, puis en apportant à cet expert des outils lui permettant de s'orienter vers une innovation incrémentale ; basés sur l'expression formalisée d'une partie de ces connaissances. Cette étude a permis de proposer une méthode intégrant des éléments de capitalisation et d'innovation, qui a fait l'objet d'une seconde expérimentation au domaine Liaison Sol avec le cas de la conception de transmissions [Courteille 02].

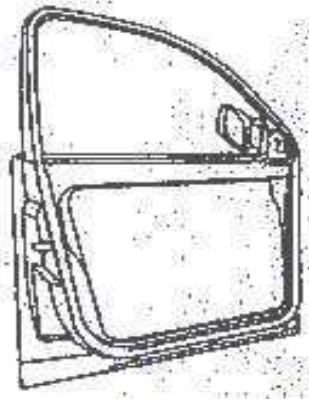


Figure 2 : Porte avec cadre de type rapporté

2. Les connaissances associées à l'objet industriel

3.1. Connaissances structurelles et fonctionnelles

Les interviews menées avec l'expert ont très vite montré la complexité de l'objet « cadre de porte » et corrélativement la difficulté de déterminer les éléments pertinents pour décrire l'évolution dans le temps de la conception de tels objets. Il a fallu considérer l'objet technique de conception « cadre de porte » comme un système à part entière. Classiquement, un système est perçu et modélisé sous trois aspects [Le Moigne 77 et 90] : structurel, fonctionnel et génétique. Des modèles de connaissances ont été élaborés pour ces trois points de vue. L'aspect « génétique » concerne l'objet de cette étude et sera abordé par la suite.

*) L'aspect structurel est en fait la description organique d'un cadre de porte avec ses différents composants. Il est représenté (partiellement) ici par un modèle de concepts de la méthode MASK dans la figure 3.

*) L'aspect fonctionnel est très important. Il a été abordé à travers la notion de prestation. Cette notion de prestation renvoie à un ensemble de caractéristiques permettant de rendre compte de la qualité et de la performance d'un objet technique donné.

Suivant les cas, ces prestations se réfèrent à des concepts fonctionnels (ex : rigidité, étanchéité, etc.),

économiques (ex : coût, qualité, délai), environnementaux ou autres. Un certain nombre de prestations pour les cadres de porte ont été identifiées, elles sont représentées, encore une fois partiellement, dans la figure 4.

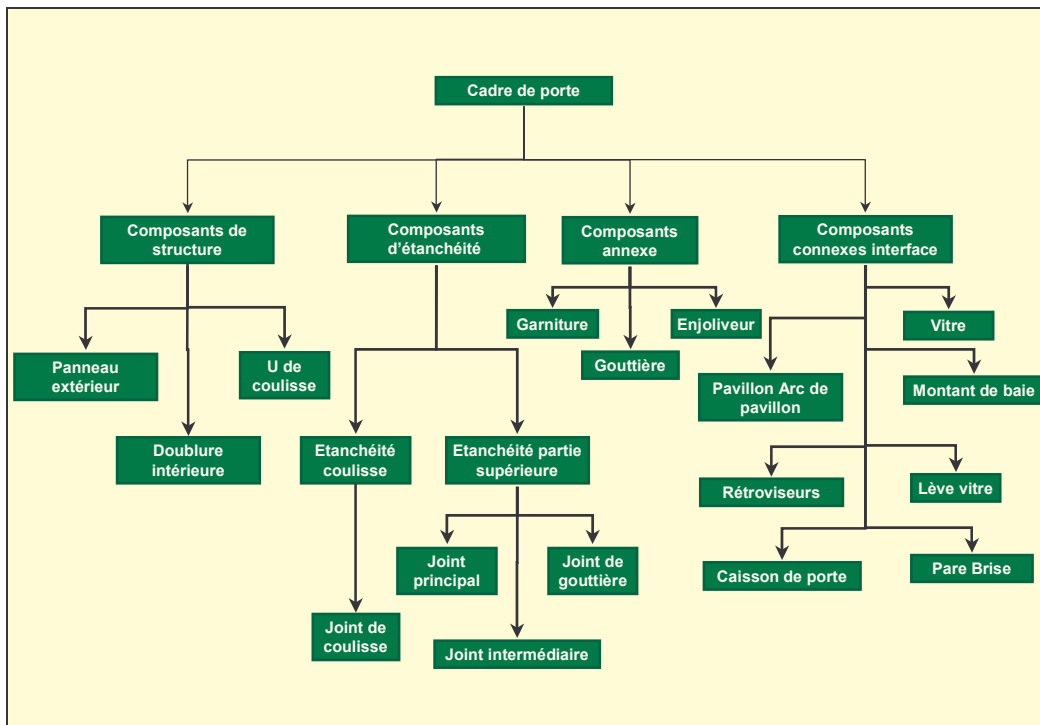


Figure 3 : Modèle organique des cadres de porte

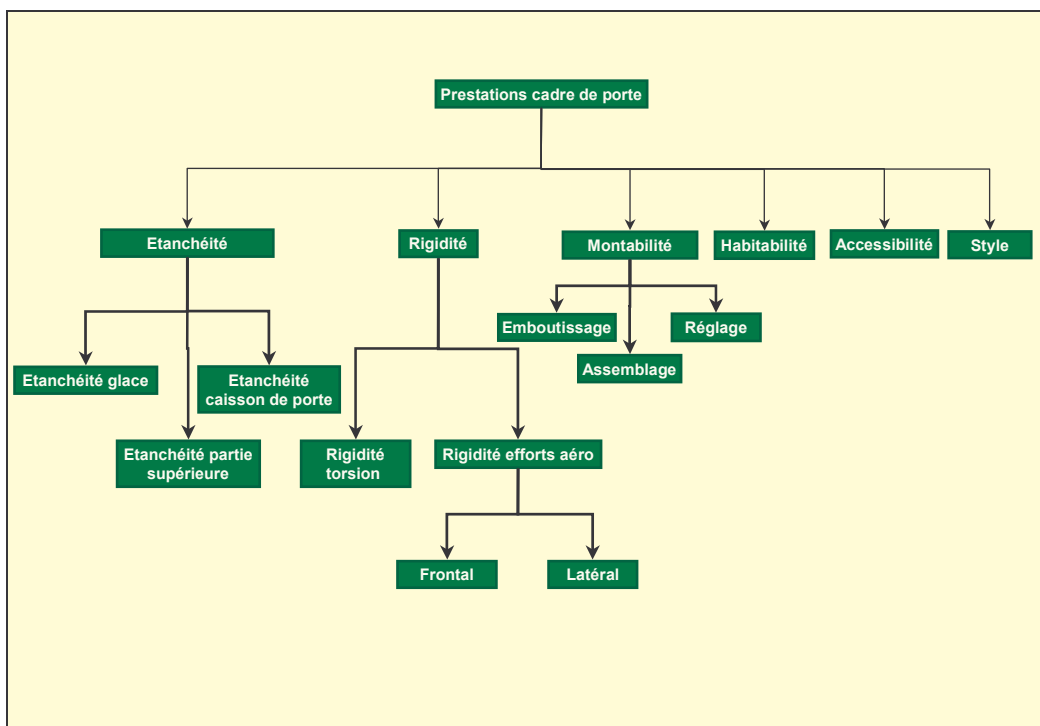


Figure 4 : Prestations cadre de porte

3.2. Classification des cadres de porte

Différents types de cadres de porte ont été conçus au cours du temps, utilisés de manière discontinue dans différents modèles de véhicules. La typologie des cadres est regroupée dans la classification donnée par la figure 5.

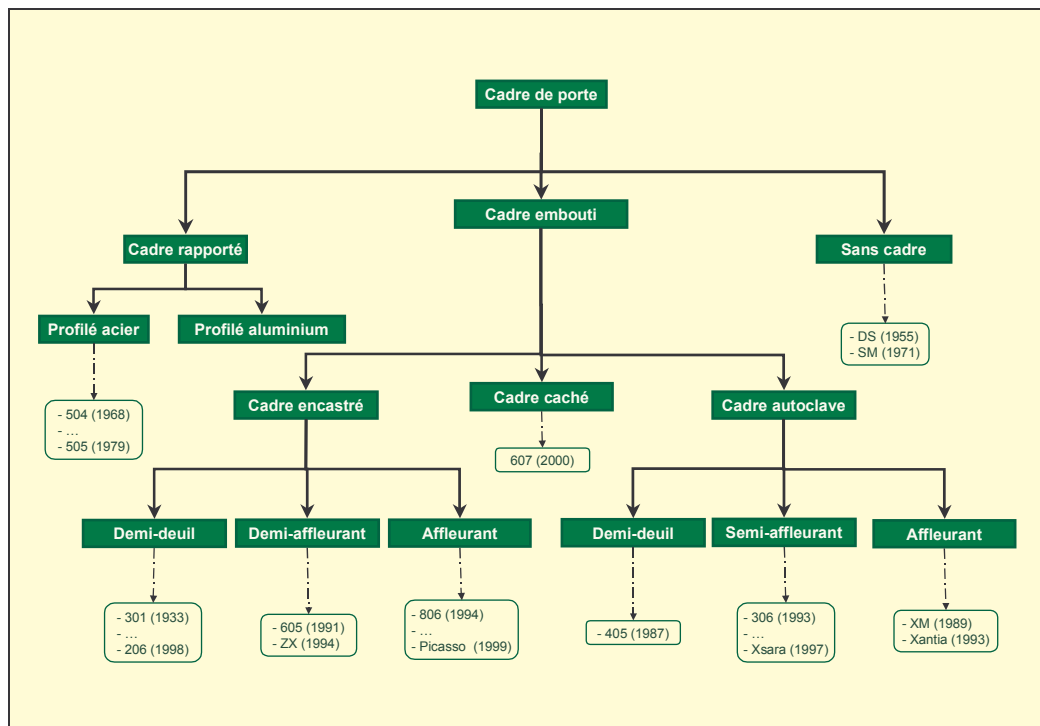


Figure 5 : Classification des cadres de porte

3. Les axes d'analyse de l'évolution

La capitalisation des connaissances décrites ci-dessus a été menée rapidement, dans l'objectif de débiter l'étude de l'évolution dans la conception des cadres de porte. Elle n'a pas été exhaustive ni entièrement validée, là n'était pas l'objet. Elle aurait pu, par exemple, provenir d'un Livre de Connaissances réalisé pour une autre circonstance. Elle a permis de structurer le domaine de connaissance et de faire des choix par la suite :

1) Un des choix les plus délicats à effectuer pour construire un modèle d'historique dans MASK, est celui des éléments à prendre en compte dans l'évolution. Il conditionne en effet l'éclairage qu'on veut donner à l'historique, et décide des critères qui déterminent l'évolution d'une connaissance. Dans le cas des cadres de porte, il a été décidé de le considérer uniquement comme un objet technologique (comme dans TRIZ) sous l'angle fonctionnel.

Des critères de l'environnement ont été envisagés, comme le prix du pétrole (environnement socio-économique), qui a pesé parfois lourdement sur les choix de conception, ou l'arrivée de nouveaux matériaux (environnement technique), mais ces considérations socio-techniques n'ont pas été retenues.

La question à résoudre, une fois ce choix accompli, est de déterminer les critères fonctionnels, ici les prestations de la figure 4, qui décrivent le mieux l'objet technique et permettent de rendre compte de son évolution. Neuf prestations ont été retenues. A ces prestations, une caractéristique mesurable a pu être attachée (une cote, un temps, un nombre...).

Ce travail d'explicitation a permis de formaliser une connaissance de conception jusqu'ici tacite. Les prestations retenues sont présentes dans l'esprit des concepteurs, mais ne constituent pas des données « pures » de conception (utilisées dans la CAO).

2) Dans la classification des cadres de porte de la figure 5, des regroupements ont permis de considérer trois classes pertinentes de cadres, correspondant à l'ensemble des véhicules conçus chez PSA.

3) Les véhicules sont classés en trois segments correspondant à des gammes différentes de voiture (segment Bas, Moyen ou Haut). Il a semblé pertinent de pouvoir examiner l'évolution des cadres de portes selon les points de vue de chaque segment.

4) Une conception répond à des cahiers des charges qui contient des contraintes et des priorités caractéristiques en général du contexte (comme l'allègement du poids en période d'augmentation du prix du pétrole). Il est possible, sur certains modèles de spécifier quelles ont été les priorités fortes (++) ou importantes (+), sur lesquelles les efforts ont été mis. Ceci afin d'examiner, dans l'historique, les corrélations avec les autres prestations.

4. Représentation diachronique des connaissances : les modèles d'historique

5.1. Construction des modèles

Le modèle d'historique est la représentation de l'évolution de neuf prestations choisies comme caractéristiques en fonction de la date de sortie des véhicules. En cela c'est une échelle temporelle, voilà pourquoi on l'appelle « diachronique ». Par rapport à la modélisation habituelle de l'historique dans MASK (§1), on peut noter les adaptations suivantes :

- 1) Les jalons temporels sont clairement identifiés et tous de même nature : il s'agit des 19 différents véhicules étudiés ici, conçus au cours du temps. Ceci simplifie la représentation, puisqu'il suffit de positionner sur l'axe horizontal les véhicules dans l'ordre chronologique de mise sur le marché.
- 2) Les éléments à prendre en compte pour décrire l'évolution sont les 9 prestations qui s'expriment de manières quantitatives (sauf pour l'une d'entre elles qui s'exprime qualitativement). Leur évolution se décrit simplement par les valeurs qu'elles prennent au cours du temps, pour chaque modèle de véhicule. Dans ce cas, près de deux cent données ont été recueillies. La base de données ainsi constituée est nouvelle et originale, car si ces données sont calculables et/ou récupérables à posteriori, ce ne sont pas des données qui rentrent dans l'activité de conception proprement dite. Notamment, pour les véhicules les plus récents, entièrement conçus avec la CAO, la difficulté pour retrouver les données est plus grande que pour les véhicules plus anciens où l'on dispose encore de plans (section de principe).
- 3) Les évolutions d'une valeur à l'autre peuvent être simplement représentées par la courbe qui lie les différentes valeurs sur l'axe du temps.
- 4) Le problème de l'interdépendance des prestations n'a pas été évoqué ni représenté sur le modèle

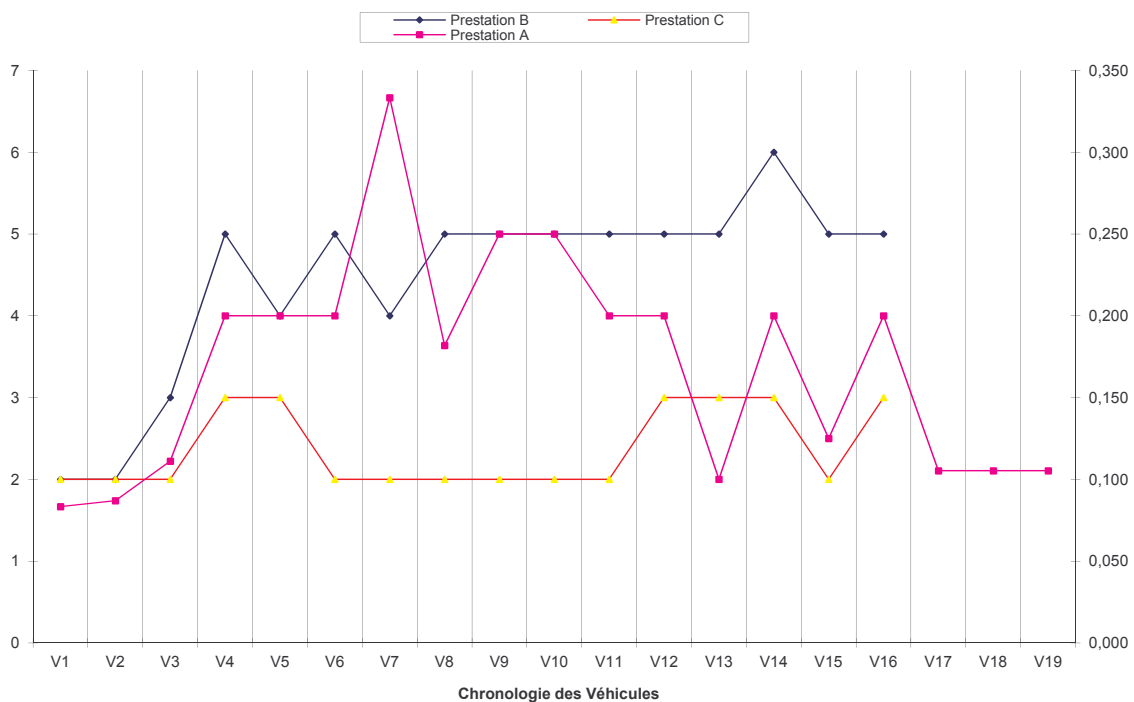


Figure 6 : Historique des prestations

Le modèle d'historique permet de croiser les évolutions de prestation. On peut également regrouper les prestations ayant une évolution semblable et ainsi obtenir une représentation plus explicite et plus exploitable. L'innovation émane souvent de la difficulté de croiser différents critères. C'est le cas notamment avec la méthode TRIZ qui gère les contradictions technologiques. Par cette représentation, il sera possible de faire apparaître des contradictions.

Il est possible de générer automatiquement ces représentations historiques à partir des données recueillies. Comme il a été dit au § précédent, on peut obtenir différentes représentations possibles, soit pour l'ensemble des segments de véhicules, soit pour chaque segment. On peut également sélectionner des prestations déterminées.

5.2. Utilisation des modèles d'historique

L'intérêt du modèle d'historique est d'être construit à partir de données qui « objectivent » des connaissances tacites qui guident la conception des objets techniques.

La base de données ainsi constituée permet de construire rapidement les modèles d'historique, qui se prêtent facilement à analyse. Les schémas d'évolution des prestations, aux yeux d'un expert du métier, permettent de tirer certaines conclusions :

*) On peut fournir quelques commentaires sur les données elles-mêmes, et leur interprétation. Ceci permet d'affiner la définition des prestations retenues comme caractéristiques, de les justifier et de rendre ainsi la représentation plus robuste. La quantification, notamment, d'une prestation a priori qualitative (l'esthétique par exemple), demande à être bien justifiée et bien comprise pour être interprétée à bon escient. Les données les plus délicates à interpréter sont celles qui ne sont pas intrinsèques au cadre de porte (comme la masse du cadre, par exemple), mais qui font appel à une conception d'ensemble du véhicule (esthétique, habitabilité par exemple). Les prestations retenues, sujettes à l'analyse, restent des points de vue, qui se sont révélés pertinents, mais qui restent limités. Ils ont l'avantage de permettre un raisonnement sur des données concrètes et communicables. Il est bien sûr possible de réfuter ces données comme moyen d'analyse, mais il ne s'est pas révélé d'autres alternatives, ni d'autres données plus pertinentes.

*) Quelques analyses ponctuelles, sur des points remarquables des courbes sont intéressantes. La vision simultanée des différentes courbes permet de relativiser certaines données. Ainsi des performances très bonnes (ou très mauvaises) sur une prestation ne sont pas nécessairement des exemples à suivre (ou à rejeter), car elles peuvent s'expliquer par un contexte particulier, ou par la dégradation d'autres prestations, ou encore être pondérées par des difficultés spécifiques qui en rendent la généralisation (ou l'abandon) problématique.

*) Un des points remarquables de l'analyse des courbes d'évolution est la découverte (ou redécouverte ?) de tendances ou de lois d'évolution. Une tendance à la baisse, dans une prestation, a été interprétée comme la conséquence d'une demande venant d'un autre métier, qui engendrait une contradiction avec l'amélioration de la prestation en question. C'est ce genre de contradiction qui est à l'origine des recherches de solutions innovantes de la méthode TRIZ. Dans le cas cité ici, cette solution était déjà à l'étude. On remarque ainsi que l'analyse des tendances de l'évolution peut amener à découvrir un « puits d'innovation ».

Parmi ce qu'on peut appeler des lois d'évolutions (qui induisent donc des tendances), on a pu remarquer, par exemple :

- Une loi de saturation. Une prestation s'est révélée avoir un profil d'évolution très uniforme, et n'avoir fait l'objet d'aucune amélioration au cours du temps, et – ce qui est plus étonnant – même sur certains véhicules où cette amélioration était identifiée comme une priorité de conception. Selon l'avis de l'expert concepteur, cette prestation est très difficile à faire évoluer, seule une innovation de rupture pourrait permettre d'avancer sur ce point.
- Une loi de stabilisation. Une prestation, après une période de variation sensible s'est stabilisée au cours du temps. L'analyse a été de constater que cette stabilisation est due à une certaine maîtrise dans la réalisation de la prestation. Il est alors recommandé, sur ce point, de reconduire les solutions existantes qui sont à un niveau satisfaisant.

On remarque ainsi que l'analyse des modèles d'historique peut fournir des aides à la décision en termes de choix de conception ou d'orientation de l'innovation.

Un des résultats essentiels de l'analyse des courbes d'évolution est la possibilité de définir un profil type (idéal ?) de l'objet technique considéré. Au cours du temps chaque prestation a évolué entre des valeurs minimales et maximales. Au vu de ces extrêmes et de la valeur moyenne, on peut définir une valeur « raisonnable » qui correspond à l'état de la technologie versus la qualité de prestation. Toute conception nouvelle peut donc se référer à ce profil type, ce profil peut être argumenté et illustré d'exemples.

L'analyse des modèles d'historique peut ainsi fournir une aide à la conception.

5. Représentation synchronique des connaissances : les modèles d'antagonismes

5.1. Construction des modèles

La base de données recueillie et utilisée pour construire les modèles d'historique est susceptible d'un autre type d'interprétation et de représentation. Cette représentation, ne fait pas intervenir la notion du temps, et représente un état des connaissances à un instant donné (c'est pour cela qu'on l'appelle « synchronique »).

Cette représentation consiste à classer chaque prestation par ordre croissant pour l'ensemble des véhicules. On obtient ainsi pour chaque prestation une ligne ordonnant les véhicules en commençant par celui qui a rempli le moins bien la prestation jusqu'à celui qui l'a rempli le mieux. L'ensemble des lignes fournit un tableau où l'on peut ainsi identifier pour, chaque véhicule, les prestations qui ont été le mieux remplies, par rapport à celles qui l'ont été moins (les antagonismes) et également situer les prestations d'un véhicule par rapport aux autres (figure 7).

Prestations	Référentiel -											Référentiel +
Prestation 1	V12	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11
Prestation 2	V2	V12	V4	V6	V3	V1	V5	V10	V8	V9	V7	V11
Prestation 3	V6	V8	V9	V7	V11	V5	V4	V3	V10	V2	V12	V1
Prestation 4	V9	V8	V6	V2	V7	V5	V3	V4	V12	V10	V11	V1

Figure 7 : Exemple d'un modèle d'antagonismes

Cette représentation est obtenue automatiquement, à partir des données recueillies. Il est cependant possible d'obtenir ces classements de manière subjective, en demandant à des spécialistes concepteurs un classement direct. Dans le cas étudié ici, le classement subjectif montrait peu de différence avec le classement obtenu à partir des données quantitatives.

5.2 Utilisation des modèles d'antagonismes

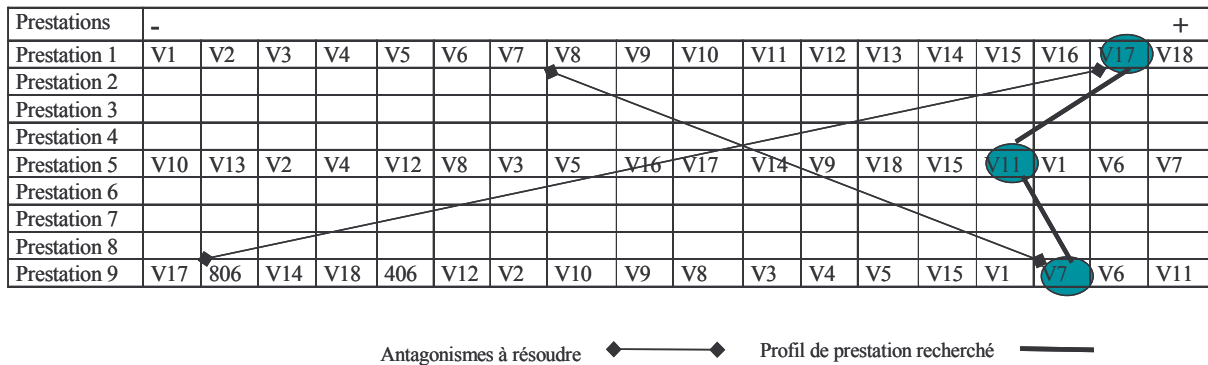


Figure 8 : Utilisation d'un modèle d'antagonismes pour la conception

Les modèles d'antagonismes peuvent être utilisés comme aide à l'innovation dans la conception de nouveaux produits (figure 8). Un profil idéal de prestations est défini pour le nouveau produit à concevoir. Ce profil est mis en correspondance, prestation par prestation, avec les véhicules qui ont satisfait aux mêmes exigences, et qui pourraient alors être étudiés afin de reconduire les solutions choisies. Cette mise en correspondance peut alors révéler des contradictions qu'il faudra résoudre pour réaliser le profil voulu : des antagonismes peuvent apparaître alors, dont il faudra analyser les causes, et décider s'ils doivent être résolus pour le but à atteindre. La résolution de contradictions est le premier point du processus d'innovation, notamment dans la méthode TRIZ. Dans ce cas l'utilisation de TRIZ permettrait de ne pas se limiter à de l'innovation incrémentale. Par exemple, dans la figure 8, le profil recherché correspond à la prestation 1 réalisée par le véhicule V17 et à la prestation 9 réalisée par le véhicule V7. Cependant le véhicule V17 réalise une prestation basse dans la prestation 9, et le véhicule V7 une prestation moyenne dans la prestation 1. Il y a donc là des antagonismes à étudier, pouvant révéler des contradictions à résoudre et amenant à des innovations incrémentales.

6. Méthode d'intégration de la capitalisation des connaissances dans les démarches d'innovation

Les éléments décrits ci-dessus permettent de décrire un processus fournissant une méthode pour utiliser la capitalisation des connaissances à des fins d'innovation dans la conception de produits nouveaux (figure 9).

La première phase est la représentation de connaissances sur l'objet, vu comme un système technique ou socio-technique. Elle permet de bien se représenter l'objet à concevoir, d'en avoir une vision suffisante, sinon exhaustive, dans ses caractéristiques utilisées (explicitement ou tacitement) dans l'activité de conception. Cette représentation peut très bien exister déjà, à l'occasion d'opérations de capitalisation menées à d'autres fins. Elle demande de toute façon une connaissance parfaite du domaine.

La seconde phase est le choix des données caractéristiques qui permettront de caractériser l'évolution de la

conception au cours du temps. Ce choix est délicat, et peut-être remis en cause ou consolidé par les phases suivantes. Il demande une maîtrise et une expérience importante dans la conception du système en question. Ces données peuvent être vues suivant différents filtres qui fourniront autant de points de vue et axes d'analyse par la suite. Cette phase permet de constituer un modèle conceptuel des données à recueillir.

La troisième phase consiste à recueillir les données selon le schéma établi auparavant. C'est un travail long et minutieux et pas toujours facile, car, on l'a vu dans l'exemple, les données ne sont pas toujours disponibles explicitement dans les outils de conception classique.

Deux phases se déroulent ensuite, qui peuvent être presque entièrement automatisées (dans un cas similaire à celui traité ici), c'est la construction des modèles d'historique et des modèles d'antagonismes. Ces modèles doivent être ensuite analysés pour en tirer des enseignements pour les futures conceptions. Cette analyse demande beaucoup de recul, d'expérience et d'expertise dans le domaine.

Dans la phase suivante, les analyses sont utilisées comme aides à la décision dans la conception, comme guides de l'innovation pour la conception de produits nouveaux.

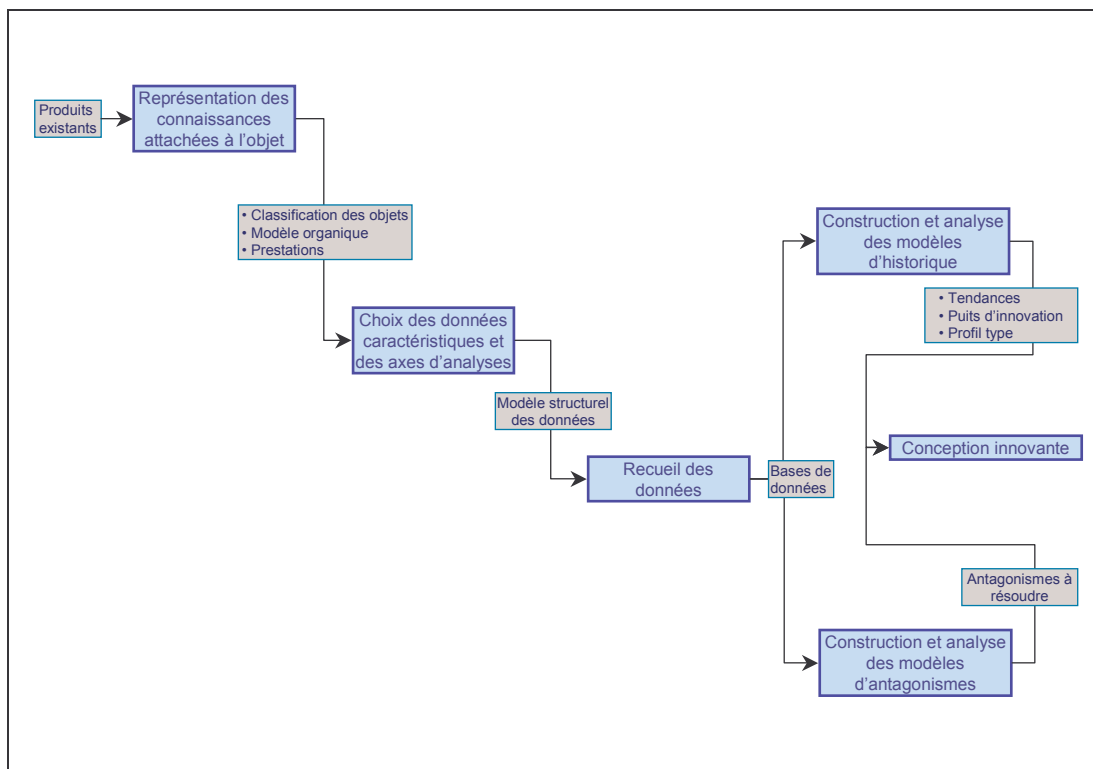


Figure 9 : Utilisation de la capitalisation des connaissances dans la conception innovante

7. Conclusion

L'innovation est désormais un enjeu compétitif majeur dans les entreprises, qui cherchent donc à accélérer les processus qui la sous-tendent.

Parmi les mécanismes accélérateurs de l'innovation, il en est un qui est très peu exploré, c'est l'analyse approfondie du passé, tant cela semble antinomique ! Pourtant l'hypothèse dite de « la dépendance du sentier » défend la thèse que les nouvelles connaissances, donc les innovations, naissent d'un processus d'évolution cumulative du patrimoine de connaissances. De même que pour les systèmes vivants, les phénomènes évolutifs de mutation, d'accommodation, d'assimilation (qui correspondent à différents types d'innovation, - de rupture, incrémentale - ...) prennent naissance à partir de ce véritable patrimoine génétique qu'est le patrimoine de connaissances de l'entreprise. Il s'agit donc bien de s'appuyer sur les connaissances existantes et leur évolution dans le passé, pour mieux aborder leur évolution future.

La capitalisation des connaissances permet d'explicitier le patrimoine de connaissances existant, et des méthodes d'ingénierie des connaissances comme MASK fournissent des moyens pour tracer l'historique des connaissances. A partir de là, il faut pouvoir utiliser cette capitalisation comme aide à l'innovation pour faire évoluer le patrimoine de

connaissances.

Le projet mené à PSA Peugeot Citroën a montré la possibilité de modéliser les historiques de conception d'objets techniques à partir de l'explicitation de connaissances tacites, et de constituer une base de données historique, dont diverses représentations et une analyse approfondie peuvent être utilisées comme aide à l'innovation dans la conception de produits nouveaux.

Ce projet a permis d'esquisser une méthode opérationnelle qui lie les opérations de capitalisation de connaissances et d'innovation dans la conception. Cette méthode a été testée dans un autre domaine.

La robustesse de la méthode tient à la base de données qui est constituée à partir des connaissances capitalisées. Cette base de données peut être utilisée en croisant de nombreux points de vue (axes d'analyse) et sur de nombreux cas. L'exemple des cadres de porte s'est fait sur 19 véhicules, mais les capacités de traitement de données peuvent être considérablement étendues (notamment, par exemple aux véhicules de la concurrence).

Les analyses des modèles, et leur utilisation dans des processus de décision, d'innovation, de conception en général ont été réalisées pour en démontrer la faisabilité. C'est donc sur ce point que les efforts futurs doivent porter, afin d'affiner la méthode, la rendre plus efficace et plus opérationnelle.

8. Bibliographie

- [Altshuller 92] Genrich Altshuller, The Innovation Algorithm, Technical Innovation Center, 1999 Harvard Business Review, Sept-Oct 1992, p 95-104
- [Altshuller 96] Genrich Altshuller, And Suddenly the Inventor Appeared, Technical Innovation Center, 1996
- [Altshuller 97] Genrich Altshuller, 40Principles: TRIZ Keys to Technical Innovation, Technical Innovation Center, 1997
- [Barthelmé 98] Françoise Barthelmé, Jean-Louis Ermine, Camille Rosenthal-Sabroux: *An architecture for knowledge evolution in organizations*, European Journal of Operational Research, 109, 414-427, 1998
- [Benhamou 01] P. Benhamou J-L Ermine J-P Taran, T. Tounkara, A. Waeters : *Évolution des connaissances et innovation, application à une technologie laser à l'Onera*, Extraction des connaissances et apprentissage, n° 1-2, pp 279-290, Hermès, 2001
- [Coriat 97] Coriat B., Weinstein O. : *Les nouvelles théories de l'entreprise*, Collection " Références ", Livre de poche, 1997
- [Courteille 02] A. Courteille, Gilles Magourou, Hervé Mahé, C. Coppens, Marc Le Coq : *Mise en place d'environnement permettant de capitaliser les connaissances produit / process et de prendre en compte les concepts innovants*, Conférence internationale sur la conception et la fabrication intégrées en mécanique, Clermont-Ferrand, 2002.
- [David 94] David P.A., Foray D. : *Dépendance du sentier et économie de l'innovation : un rapide tour d'horizon*, Revue d'économie industrielle, n° exceptionnel, Economie Industrielle : développements récents, pp 27-52, 1994
- [Deforge 85] Y. Deforge : *Technologie et génétique de l'objet industriel*, Maloine ed., Paris, 1985
- [Denton 85] M. Denton : *Evolution: a Theory in Crisis* Ed. Burnett Books Ltd, 1988, Londres, Trad. Fr. Evolution, une théorie en crise, Flammarion, 1992, Paris
- [Durkheim 84] E. Durkheim : *La raison, l'évolutionnisme, théorie de l'hérédité*, Cours de philosophie du lycée de Sens, Bibliothèque de la Sorbonne, Manuscrit 2351, 1884
- [Ermine 99] J-L Ermine , A. Waeters : *Knowledge Management and Capitalisation as a Support for Innovation*, Human Centered Process , HCP'99, Brest, 22-24 septembre 1999, pp 155-161, 11th World Productivity Congress WPC'97, Edinburg, UK, 4-6 Octobre 1999
- [Ermine 00a] J-L Ermine : *Les processus de la gestion des connaissances*, Extraction des connaissances et apprentissage, n° 1-2, pp 17-20, Hermès , 2001
- [Ermine 00b] Jean-Louis Ermine : *Les systèmes de connaissances*, Éditions Hermes, Paris, 1996, deuxième édition 2000
- [Heudin 98] J-C Heudin : *L'évolution au bord du chaos*, Hermès, Paris, 1998
- [Jukes 82] Jukes T.H.: *Aircraft Evolution*, Nature 295, p 548, 1982
- [Le Moigne 77] Le Moigne J-L : *La théorie du système général*, P.U.F.,1977,2éd. Complémentée 1984
- [Le Moigne 90] Le Moigne J-L : *La modélisation des systèmes complexes*, Afcet Systèmes, Dunod, Paris, 1990
- [Piaget 76] Jean Piaget : *Le comportement, moteur de l'évolution*, Gallimard, Paris, 1976
- [Ridley 85] Ridley M.: *The problems of Evolution*, Oxford University Press, 1985, Trad. Fr.: L'évolution, Pour la Science, Diffusion Belin, 1989
- [Sapir 67] E. Sapir : *Anthropologie*, textes recueillis et commentés par Christian Baudelot, Editions de Minuit, Collection « Points », Paris, 1967

- [Torres-Carbonell 96] Torres-Carbonell J. J., Parets-Llorca J., *Biological evolutive models applied to the evolution of software systems*, Congrès Européen de Systémique, Roma, 1996
- [Versailles 99] *La place de l'évolutionnisme dans la théorie hayekienne de l'auto-organisation*, Cahiers d'Economie Politique, n° 35, automne 99