

ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE
UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À L'OBTENTION DE LA
MAÎTRISE EN GÉNIE MÉCANIQUE
M.Ing.

PAR
MAZEN AL-SABEH

ALGORITHME DE COMPARAISON DE MODÈLES GÉOMÉTRIQUES EN
ÉVOLUTION : UNE APPLICATION AVEC CATIA V5

MONTREAL, LE 16 MARS 2004

© Droits réservés de Mazen Al-Sabeh 2003

CE MÉMOIRE A ÉTÉ ÉVALUÉ
PAR UN JURY COMPOSÉ DE :

M. Jean-François Châtelain, directeur de projet
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

M. Roland Maranzana, codirecteur
Département de génie de la production automatisée à l'École de technologie supérieure

Mme Françoise Marchand, présidente du jury
Département de génie mécanique à l'École de technologie supérieure

M. Louis Rivest, professeur
Département de génie de la production automatisée à l'École de technologie supérieure

IL A FAIT L'OBJET D'UNE PRÉSENTATION DEVANT JURY ET PUBLIC

LE 10 DÉCEMBRE 2003

À L'ÉCOLE DE TECHNOLOGIE SUPÉRIEURE

ALGORITHME DE COMPARAISON DE MODÈLES GÉOMÉTRIQUES EN ÉVOLUTION : UNE APPLICATION AVEC CATIA V5

Mazen Al-Sabeh

SOMMAIRE

Les entreprises manufacturières qui développent des produits complexes (automobile, aviation), produisent et utilisent une grande quantité d'information depuis la phase de développement jusqu'à la fin du cycle de vie du produit. Ces entreprises ont été les premières à modifier leur structure et à développer de nouveaux outils pour optimiser les coûts, les délais et la qualité.

Les systèmes de gestion de données techniques sont des outils très utilisés dans les entreprises pour gérer les informations relatives au produit. Cependant, ces systèmes ne permettent pas d'avoir accès à des informations internes aux documents exploitables pour les différents métiers intervenant dans le cycle de vie du produit, surtout s'il y a des modifications apportées à un produit pour en créer une version améliorée. Dans le cadre plus particulier de la conception assistée par ordinateur (CAO), il est par conséquent nécessaire de développer un outil rapide et efficace répondant à ce besoin, pour avoir des informations plus détaillées à l'intérieur d'un fichier CAO, telle que la nature des modifications apportées à un produit, les éléments modifiés et leurs valeurs.

Dans ce projet, nous allons proposer un algorithme de comparaison des modèles 3D basé sur l'analyse des arbres de modélisation et sur la représentation par les caractéristiques. Cet algorithme détecte n'importe quelle modification entre deux versions différentes d'un même modèle et extrait automatiquement toutes les nuances géométriques entre elles. L'opération de comparaison est basée sur quatre critères, caractéristiques modifiées, caractéristiques ajoutées, caractéristiques supprimées et caractéristiques déplacées dans l'arbre de modélisation. Les résultats de cette comparaison sont présentés sous la forme d'un fichier texte identifiant toutes les modifications effectuées, et également sous la forme graphique.

Des essais ont été réalisés avec des pièces mécaniques et aéronautiques réalisées avec le logiciel CATIA V5. Les bons résultats obtenus indiquent que notre comparateur détecte parfaitement les modifications des versions de modèles (CAO), et contrôle la structure de leurs arbres de modélisation. Cette application contribue à l'avancement de la technologie au niveau de la gestion des informations techniques du cycle de vie des produits.

ALGORITHM OF COMPARISON OF GEOMETRICAL MODELS IN EVOLUTION : AN APPLICATION WITH CATIA V5

Mazen Al-Sabeh

ABSTRACT

The large manufacturing companies which develop complex products produce and use a great quantity of product information during the product life cycle. These companies are constantly modifying their product and developing new tools to optimize the costs, the production and the quality.

The Product Data Management (PDM) are tools often used by such companies to manage information related to the product development cycle. However, these systems do not allow to have access to the hidden modified information of the documents for the different departments involved in the product life cycle. To have a more detailed framework of the computer-aided design (CAD) that have more significant information of the inner CAD file, it is consequently necessary to develop a fast and effective tool answering this need, such as the nature of the modifications made to a revised product, the elements modified, and their values.

In this project, we propose an algorithm which presents a tool to compare the 3D models. This tool is based on the analysis of the modeling tree under the feature representation. This tool of comparison detects any modification between two different revisions from the same model, and extracts all the geometrical differences between them. The comparison operation is based on four criteria : modification, addition, deletion and motion of the features in the modeling tree. The result contains different color, for each criterion, comparing the two revisions, and a textual file identifying all the modifications carried out.

The tests were done on mechanical and aeronautical models using the CATIA V5 software. The good results that we have obtained from these tests indicate that our comparator detects perfectly the modifications of the revisions of the CAD models. This application contributes to the advance of technology on the level of the technical information management of the products life cycle.

REMERCIEMENTS

Je voudrais remercier mes codirecteurs, MM. Jean-François Châtelain, professeur à l'École de technologie supérieure au département de génie mécanique, et Roland Maranzana, professeur à l'École de technologie supérieure au département de génie de la production automatisée, qui m'ont proposé ce mémoire aux études de deuxième cycle en génie dans le cadre du projet CRIAQ (Consortium de Recherche et d'Innovation en Aérospatiale au Québec) au L.I.P.P.S. (Laboratoire d'Ingénierie des Produits, Procédés et Systèmes) à l'ÉTS. Pendant ma formation au deuxième cycle, ils m'ont prodigué beaucoup de conseils et d'idées pour innover et développer un nouvel outil qui répond aux besoins d'entreprises dans le domaine de la conception assistée par ordinateur (CAO). Ils ont bien orienté mes travaux et ont effectué un bon suivi de ce projet pendant sa réalisation technique.

Je voudrais également remercier mes collègues d'études au LIPPS qui m'ont appuyé durant mes travaux. Un chaud remerciement à Omar Msaaf, et mes collègues Bruno Lamarche, Khaled Soufi, Thomas Guillaume Tremblay, au risque d'en oublier quelques-uns.

Et je ne peux pas oublier le corps professoral de l'ÉTS qui m'a aidé à améliorer mes connaissances dans le but d'avoir une meilleure carrière.

Pour finir, je voudrais remercier ma femme Maissa qui m'a beaucoup soutenu et a contribué à préparer les conditions idéales pour que je réussisse mes études. J'aimerais enfin remercier mes parents et ma famille, qui m'ont soutenu et m'ont encouragé.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
SOMMAIRE.....	i
ABSTRACT.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DES MATIÈRES.....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES SIGLES.....	xii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE 1 LA PROBLÉMATIQUE.....	4
CHAPITRE 2 OUTILS UTILISÉS ET MÉTHODES DÉVELOPPÉES.....	9
2.1 Introduction.....	9
2.2 Les PDM.....	9
2.2.1 Les PDM dans le cycle de vie du produit.....	9
2.2.2 Les avantages et les inconvénients des PDM.....	11
2.3 La modélisation.....	11
2.4 Les différents types de représentation géométrique.....	12
2.4.1 Représentation par les limites B-Rep.....	12
2.4.2 Représentation par la géométrie solide constructive CSG.....	13
2.4.3 Représentation par les caractéristiques (<i>Features</i>).....	14
2.4.4 Autres représentations.....	15
2.5 Algorithmes de détermination des similitudes et de comparaison de modèles CAO.....	15
2.6 Les comparateurs disponibles avec les logiciels CAO.....	19
2.7 Proposition d'une solution.....	21
CHAPITRE 3 LE COMPAREUR DE MODÈLES CAO.....	22
3.1 Introduction.....	22
3.2 Détermination des caractéristiques modifiées.....	23
3.3 Détermination des caractéristiques ajoutées.....	24
3.4 Détermination des caractéristiques supprimées.....	25
3.5 Détermination des caractéristiques déplacées dans l'arbre de modélisation.....	26

3.6	L'algorithme de comparaison des modèles CAO.....	27
CHAPITRE 4 IMPLÉMENTATION DU COMPAREUR SOUS CATIA V5.....		29
4.1	Introduction.....	29
4.2	Extraction des données de caractéristiques.....	30
4.3	Fonctionnement du compareur.....	32
4.4	Les algorithmes de comparaison des révisions en CATIA V5.....	32
4.4.1	L'algorithme de détermination des caractéristiques modifiées.....	33
4.4.2	L'algorithme de détermination des caractéristiques ajoutées et supprimées.....	36
4.4.3	L'algorithme de détermination des caractéristiques déplacées.....	38
4.5	Les résultats de la comparaison.....	41
4.5.1	Les résultats sous forme textuelle.....	41
4.5.2	Les résultats sous forme graphique.....	42
4.6	Conclusion.....	43
CHAPITRE 5 VALIDATION DU COMPAREUR.....		44
5.1	Introduction.....	44
5.2	Modification des caractéristiques.....	45
5.3	Ajout des caractéristiques.....	53
5.4	Suppression des caractéristiques.....	58
5.5	Déplacement des caractéristiques dans l'arbre de modélisation.....	65
5.6	Cas général.....	70
5.7	Modifications supplémentaires.....	73
5.7.1	Changement de matériau.....	74
5.7.2	Changement de nom d'une caractéristique.....	75
5.8	Autres applications.....	76
5.9	Les temps de comparaison.....	81
DISCUSSION ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS.....		83
CONCLUSION.....		86
ANNEXES		
A : Procédure d'installation et d'utilisation.....		87
B : Les temps de comparaison.....		96
C : Compérateurs disponibles avec les logiciels CAO.....		100
BIBLIOGRAPHIE.....		110

LISTE DES TABLEAUX

Page

Tableau I	La légende des symboles utilisés dans l'algorithme de la figure 24.....	36
Tableau II	La légende des symboles utilisés dans l'algorithme de la figure 26.....	41
Tableau III	Les temps de comparaison des essais.....	81
Tableau IV	Les temps de comparaison des modèles semblables.....	98

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1 Cycle de vie du produit [4].....	4
Figure 2 Le triptyque d'un produit.....	5
Figure 3 Le lien entre la conception et la fabrication.....	5
Figure 4 Interaction entre les domaines de la conception et la fabrication.....	6
Figure 5 Plusieurs versions d'un produit.....	7
Figure 6 Mise en évidence de la modification.....	8
Figure 7 Les PDM dans le cycle de vie du produit.....	10
Figure 8 Représentation par arbre de modélisation CSG [6].....	14
Figure 9 Extraction de caractéristiques à partir de la représentation B-Rep [15].....	16
Figure 10 Comparaison des informations entre deux caractéristiques.....	21
Figure 11 Les quatre cas possibles de modification pouvant mener à une nouvelle version.....	23
Figure 12 Détermination des caractéristiques modifiées.....	24
Figure 13 Détermination des caractéristiques ajoutées.....	25
Figure 14 Détermination des caractéristiques supprimées.....	26
Figure 15 Détermination des caractéristiques déplacées.....	27
Figure 16 L'algorithme de comparaison des modèles CAO.....	28
Figure 17 Structure de l'arbre de spécification.....	29
Figure 18 Les deux genres de caractéristiques en CATIA V5.....	30
Figure 19 Les informations dans l'esquisse (<i>Sketch</i>).....	30
Figure 20 Les informations d'une caractéristique.....	31
Figure 21 Les trois types de lecture de l'arbre de spécifications en CATIA V5.....	32
Figure 22 Les 12 déterminations du comparateur en CATIA V5.....	33
Figure 23 L'algorithme de détermination des caractéristiques modifiées dans les corps fermés en CATIA V5.....	35

Figure 24	L'algorithme de détermination des caractéristiques ajoutées et supprimées dans les corps fermés en CATIA V5.....	37
Figure 25	Déplacement des caractéristiques dans un arbre de spécifications.....	38
Figure 26	L'algorithme de détermination du changement de l'ordre des caractéristiques dans l'arbre de modélisation (caractéristiques déplacées vers le bas et vers le haut dans les corps fermés) en CATIA V5.....	40
Figure 27	Une pièce aéronautique (1) modélisée avec le logiciel CATIA V5.....	45
Figure 28	Modification du diamètre d'un trou.....	46
Figure 29	Modification de la position d'un trou.....	46
Figure 30	Modification d'une esquisse.....	47
Figure 31	Modification d'un chanfrein.....	48
Figure 32	Modification d'une surface.....	49
Figure 33	Modification d'un prisme.....	49
Figure 34	Modification d'un congé.....	50
Figure 35	Deux versions d'un même modèle à comparer.....	51
Figure 36	Le résultat de la comparaison des caractéristiques modifiées.....	52
Figure 37	Définition d'un trou ajouté.....	53
Figure 38	Ajout d'un trou.....	54
Figure 39	Ajout d'un arrondi.....	54
Figure 40	Les définitions d'un chanfrein ajouté.....	55
Figure 41	Ajout d'un chanfrein.....	55
Figure 42	La poche du modèle avant la modification.....	56
Figure 43	Ajout d'un élément à l'esquisse de la poche.....	56
Figure 44	Le résultat de la comparaison des caractéristiques ajoutées.....	57
Figure 45	Le rapport de comparaison des caractéristiques ajoutées.....	58
Figure 46	Suppression d'un trou.....	59
Figure 47	Suppression d'un arrondi.....	59
Figure 48	Suppression d'un chanfrein.....	60
Figure 49	Suppression d'une découpe.....	61

Figure 50	La poche avant la modification.....	62
Figure 51	Suppression d'un élément de l'esquisse de la poche.....	63
Figure 52	Le résultat de la comparaison des caractéristiques supprimées.....	64
Figure 53	Solide constitué d'un prisme et de quatre trous avant un arrondi.....	65
Figure 54	Solide constitué d'un prisme et de trois trous avant un arrondi.....	66
Figure 55	Le résultat de la comparaison des caractéristiques déplacées.....	67
Figure 56	Déplacement d'une caractéristique dans l'arbre de modélisation.....	68
Figure 57	Le résultat de la comparaison des caractéristiques déplacées dans l'arbre de modélisation de la pièce aéronautique 1.....	69
Figure 58	Une pièce aéronautique (2) modélisée avec le logiciel CATIA V5.....	70
Figure 59	La version (B) de la pièce aéronautique (2).....	71
Figure 60	Le résultat graphique de comparaison des deux versions de la pièce aéronautique (2).....	72
Figure 61	Le rapport de la comparaison des deux versions de la pièce aéronautique (2).....	73
Figure 62	Les caractéristiques de matériaux dans l'arbre de modélisation.....	74
Figure 63	Les modifications de matériaux dans le rapport de comparaison.....	75
Figure 64	Les modifications sur les noms des caractéristiques.....	76
Figure 65	Une pièce modélisée de deux façons différentes.....	77
Figure 66	Deux arbres de construction différents donnant le même résultat B-Rep....	78
Figure 67	Le résultat de la comparaison entre deux différents arbres B-Rep d'un même modèle.....	79
Figure 68	Le résultat de la comparaison entre deux différents arbres B-Rep d'un même modèle en changeant l'ordre des modèles à comparer.....	80
Figure 69	L'accédant à <i>Visual Basic Editor</i> à partir de CATIA V5.....	88
Figure 70	L'accédant au chemin du répertoire (comparateur).....	89
Figure 71	L'accédant aux lignes et colonnes en <i>Visual Basic Editor</i>	89
Figure 72	Le chemin du répertoire dans le programme en <i>Visual Basic Editor</i>	90
Figure 73	La sauvegarde de deux versions à comparer dans le répertoire.....	91

Figure 74	L'exécution du programme à partir de <i>Visual Basic Editor</i>	91
Figure 75	L'accédant à la définition d'un macro en CATIA V5.....	92
Figure 76	La sélection du comparateur dans les macros de CATIA V5.....	92
Figure 77	L'accédant à la définition du comparateur.....	93
Figure 78	Le choix de l'icône.....	93
Figure 79	L'exécution du comparateur.....	94
Figure 80	La première étape d'exécution du comparateur.....	95
Figure 81	La dernière étape d'exécution du comparateur.....	95
Figure 82	Un modèle 3D et sa nouvelle version.....	101
Figure 83	L'icône <i>Digital Mockup, DMU Space Analysis</i> , en CATIA V5 R8.....	102
Figure 84	La fenêtre affichée en cliquant (<i>Compare Products</i>).....	103
Figure 85	Le résultat de comparaison obtenu par le comparateur de CATIA V5.....	104
Figure 86	Le résultat de comparaison obtenu par le comparateur de Pro/Engineer...	104
Figure 87	Les informations relatives à la caractéristique ajoutée (Pro/Engineer).....	105
Figure 88	Les informations relatives à la caractéristique modifiée (Pro/Engineer)...	106
Figure 89	Les informations relatives à la caractéristique supprimée (Pro/Engineer)..	106
Figure 90	Le résultat de comparaison par notre comparateur.....	107

LISTE DES SIGLES

CAO	Conception Assistée par Ordinateur
FAO	Fabrication Assistée par Ordinateur
PDM	Product Data Management
PDMS	Product Data Management System
EDMS	Engineering Data Management System
VBA	Visual Basic for Application
SGDT	Système de Gestion de Données Techniques
B-REP	Boundary Representation
CSG	Constructive Solid Geometry
API	Application Procedural Interface
ACE	Allied Concurrent Engineering
MDG	Model Dependency Graph
UML	Unified Modeling Language
EC	Engineering Change
ORB	Object Request Broker
FFBM	Flexible Feature-Based Models
CSFG	Constructive Solid-Feature Geometry
TOL	Topological Operation List
FRG	Feature Relation Graph
CPSM	Constructive Parametric Solid Models
CG	Constraints-Graph

INTRODUCTION

La compétitivité des produits industriels se fonde essentiellement sur des critères de coût, de qualité, d'innovation et de disponibilité. Dans un contexte caractérisé par un marché à faible croissance, les industriels se sont principalement attaqués à réduire leurs coûts de production.

Pour réussir sur le marché mondial, les entreprises exerçant leurs activités dans des domaines hautement compétitifs doivent être en mesure de former rapidement des partenariats. Il est devenu de plus en plus difficile pour les entreprises, quelle que soit leur taille, de limiter leurs activités à l'échelle locale, régionale ou même nationale. Les possibilités d'affaires sont mondiales, l'accès est mondial et la concurrence se joue à l'échelle mondiale. Selon Industrie Canada [1], non seulement les entreprises canadiennes se font concurrence entre elles, mais elles entrent également en concurrence avec leurs homologues américaines, européennes, asiatiques ou autres. La survie et la prospérité des entreprises dépendent de leur capacité à exploiter des occasions d'affaires sur le marché local et sur des marchés éloignés.

Les grandes entreprises qui développent des produits complexes, utilisent une grande quantité d'informations lors du développement de leurs produits. Le développement de produits se compose de plusieurs étapes séquentielles, dont chacune emploie l'information de l'étape précédente, et produit de l'information à employer à l'étape suivante.

Les grandes entreprises dont l'activité porte sur la conception et la réalisation d'ensembles complexes (automobile et aviation notamment) ont été les premières à modifier leur structure en intégrant l'ensemble des informations relatives au cycle de vie des produits afin d'optimiser les coûts, les délais et la qualité. Selon Mark et David [2], ces entreprises doivent développer des produits plus complexes dans un laps de temps plus court pour rester concurrentielles.

Pour réduire le cycle de développement d'un produit, les compagnies doivent non seulement représenter les données du produit sous format numérique, mais elles doivent également s'assurer que les multiples départements peuvent interpréter et échanger les informations relatives à ce produit.

Selon St Martin et al [3], le cycle de développement d'un produit génère et produit un grand nombre de données qui sont constamment modifiées. Par ailleurs, plus le produit est complexe, plus l'interprétation et l'extraction de ses informations est difficile. Chaque étape dans le cycle de vie du produit, crée des nouvelles données. La gestion devient de plus en plus importante à mesure que la complexité du produit augmente.

Une gestion des données efficace facilite la réduction du cycle de développement du produit. En effet, l'utilisation des systèmes de gestion de données de produit est devenue un élément très important pour effectuer une gestion efficace et rapide de l'information dans les entreprises qui ont recours à des systèmes informatiques.

Les PDM (*Product Data Management*, systèmes de gestion des données de produit) sont des outils très utilisés dans les entreprises pour obtenir et gérer les informations relatives au produit. Avec ces systèmes, et lors de l'étape de conception dans les entreprises, nous pouvons obtenir plusieurs informations d'un fichier CAO, telle que sa date de création ou de modification, par exemple. Cependant, ces systèmes ne permettent pas d'avoir accès à des informations internes aux documents exploitables par les différences métiers intervenant dans le cycle de vie du produit. Dans le cadre plus particulier de la conception assistée par ordinateur (CAO), il est par conséquent nécessaire de développer un outil rapide et efficace répondant à la gestion de données technique, pour avoir des informations plus profondes, comme la nature des modifications apportées à un produit, et plus importantes à l'intérieur d'un fichier CAO comme les éléments modifiés.

Dans le cadre de la gestion des données techniques de produits complexes en phase de conception, l'objectif de notre travail est de proposer un outil efficace pour détecter automatiquement les modifications survenues entre deux versions d'un même modèle de CAO.

Au premier chapitre, nous présentons la problématique. Nous détaillons les modifications de modèles CAO prises en compte dans le cadre de notre recherche. Nous expliquons également l'impact de ces modifications sur le cycle de vie du produit. Dans le deuxième chapitre, nous présentons une revue de la littérature des travaux relatifs à la comparaison de modèles issus d'outils CAO. Nous y décrivons également les méthodes de représentation de produits par les outils de CAO. Dans le troisième chapitre, nous présentons notre approche de comparaison et explicitons l'algorithme que nous avons mis au point. La validation de notre comparateur intégré au logiciel CATIA V5 est présentée au quatrième chapitre. L'application de cet algorithme est présentée au cinquième chapitre qui présente plusieurs exemples de sa validation. L'interprétation des résultats obtenus par cet algorithme et la conclusion de notre recherche sont représentées à la fin du document.

CHAPITRE 1

LA PROBLÉMATIQUE

Dans les entreprises, un grand nombre d'informations sont produites tout au long du cycle de vie d'un produit (figure 1). Ces informations sont réutilisées pour plusieurs raisons comme l'analyse, la simulation, la fabrication, aussi bien que d'autres processus tels que l'appui technique.

La réutilisation des données présente une perspective différente sur celles-ci. Toutes les données du produit doivent être traitées en tant que des capitaux de corporation, avec différents départements ayant différentes vues de ces données, et différents privilèges pour leur usage.

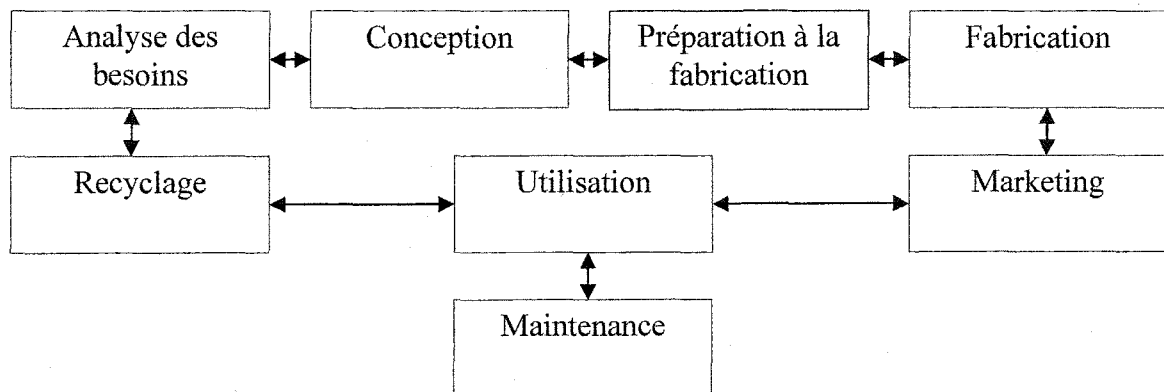


Figure 1 Cycle de vie du produit [4]

Les outils de CAO sont utilisés pour la création d'un produit. Les premiers outils de CAO étaient limités à une représentation bidimensionnelle et utilisés pour produire des plans semblables à ceux réalisés sur les planches à dessin. Les outils de CAO actuels permettent de faire une modélisation tridimensionnelle de la pièce, et les vues orthogonales sont obtenues à partir de simples extractions du modèle.

Les grandes entreprises manufacturières qui réalisent des assemblages complexes (automobile, aviation) ont été les premières à modifier leur structure et à développer de nouveaux outils pour optimiser les coûts, les délais et la qualité (voir figure 2).

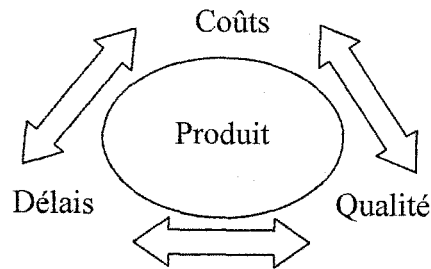


Figure 2 Le triptyque d'un produit

Dans le cycle de vie du produit, la préparation à la fabrication représente le lien entre la conception et la fabrication (figure 3). Selon Msaaf [4], une requête de modification du produit par la préparation à la fabrication peut avoir des raisons aussi variées que :

- La non prise en compte des contraintes associées aux moyens de fabrication par manque de connaissance ou par inadvertance;
- L'insuffisance ou le surnombre de contraintes;
- L'erreur de spécification;
- La réduction du temps de mise en position et d'usinage ou pour éviter des équipements spéciaux.

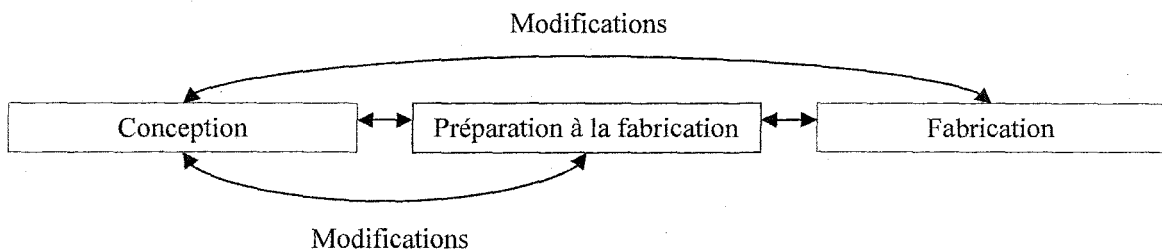


Figure 3 Le lien entre la conception et la fabrication

En effet, pour un seul produit, plusieurs modifications peuvent être effectuées. Imaginons, dans les grandes entreprises manufacturières, comme Bombardier, des milliers des pièces composent un seul produit. De ce fait, le nombre de requêtes de modification peut être élevé. Une modification non détectée peut générer des conséquences fâcheuses et notamment des coûts énormes.

Les différents métiers de la conception (les éléments finis, la résistance des matériaux, etc.) doivent s'assurer que les requêtes de modification du produit demandées par les préparateurs à la fabrication permettent de respecter le cahier des charges du produit (voir la figure 4).

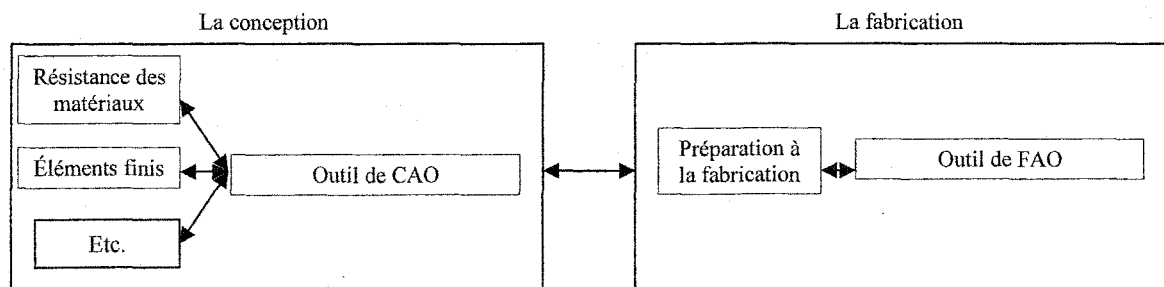


Figure 4 Interaction entre les domaines de la conception et la fabrication

Pour toute modification acceptée, le modèle est sauvegardé sous un nouvel indice, et le modèle final représente la nouvelle version de ce produit (figure 5).

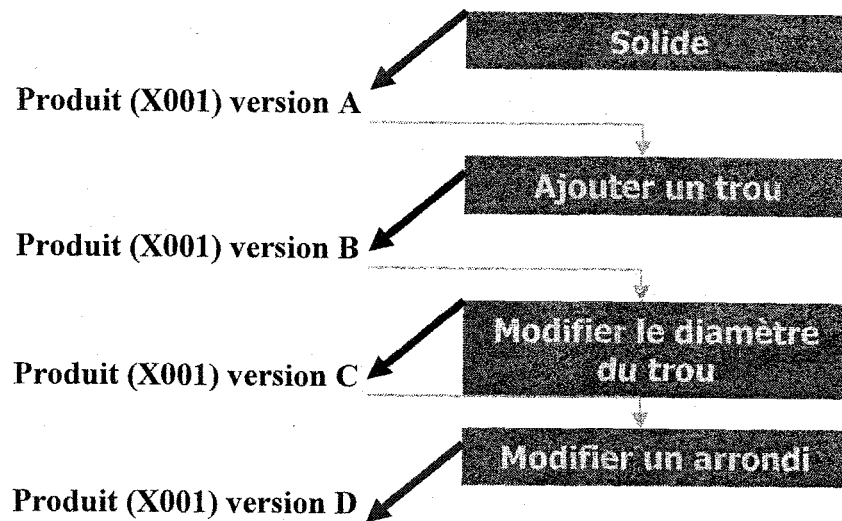


Figure 5 Plusieurs versions d'un produit

Il est primordial pour les usagers de modèles CAO de pouvoir déterminer quelles sont les différences entre les versions afin de savoir s'il est opportun d'utiliser une version particulière du modèle pour une certaine tâche.

S'il existe plusieurs versions d'un produit, il faut comparer la nouvelle version avec celle qui est utilisée pour la programmation d'usinage, par exemple, afin d'en découvrir les différences.

Dans certaines entreprises, la méthodologie de conception propose pour identifier les modifications effectuées sur un produit que les concepteurs donnent une couleur différente aux endroits modifiés (figure 6). Ils doivent aussi justifier ces modifications dans un espace texte qui se trouve à l'intérieur du fichier CAO relatif au modèle géométrique de ce produit. Ceci se déroule actuellement manuellement, ce qui est fastidieux, coûteux et sujet aux erreurs et oublis. C'est une situation qui se produit souvent en industrie et à laquelle nous tenterons de proposer une solution.

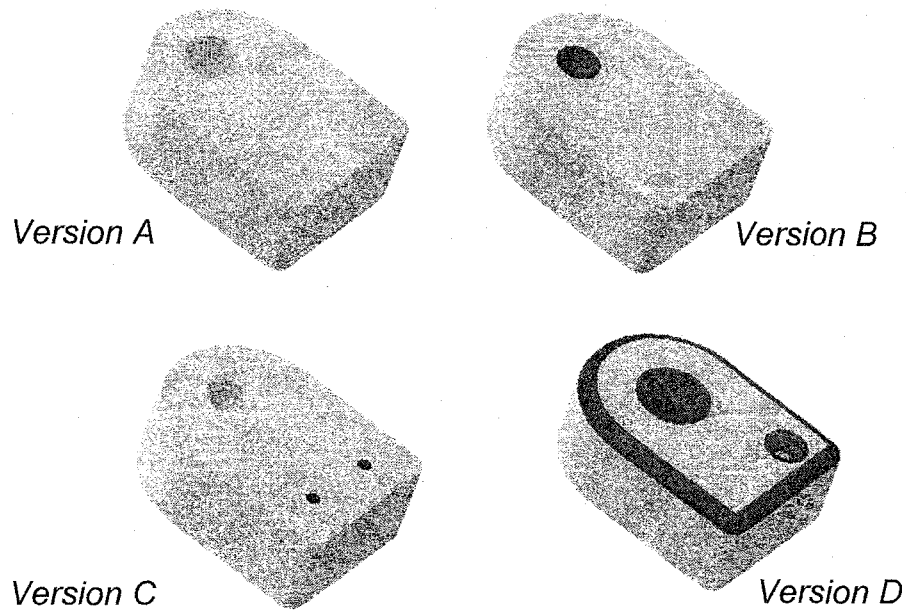


Figure 6 Mise en évidence de la modification

Avec cette méthode, lorsque le rapport d'évolution d'un modèle est incomplet, le temps nécessaire pour détecter les différences entre les versions est élevé. Par ailleurs, un opérateur peut aisément omettre certaines modifications.

Afin de pallier aux lacunes de la méthode manuelle, nous proposons une démarche d'automatisation de détection des changements apportés au modèle géométrique d'un produit auquel plusieurs modifications sont apportées.

Lors de notre travail, nous effectuons la comparaison entre deux versions d'un même modèle, même si elles ne sont pas consécutives. En prenant l'exemple de la figure 6, pour comparer la version D avec la version A, il n'est pas nécessaire de passer par les trois versions intermédiaires qui séparent les deux versions étudiées.

CHAPITRE 2

OUTILS UTILISÉS ET MÉTHODES DÉVELOPPÉES

2.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les outils disponibles et les méthodes utilisées pour résoudre notre problématique, leurs avantages et leurs inconvénients. Puis, nous présentons quelques approches existantes, et qui constituent des solutions possibles à la problématique, les comparateurs disponibles avec les logiciels CAO et leurs limitations. Enfin, nous proposons notre propre approche.

2.2 Les systèmes PDM

Bryan M.G. et Sackett P.J. (août 1997) [5] ont classé quelques définitions d'un PDM :

- Les outils qui contrôlent toutes les données techniques requises pour la gestion du produit durant son cycle de vie.
- Les données de produit doivent être réutilisables en aval, comme en amont dans le cycle de vie du produit, et par autant d'applications que possibles.

2.2.1 Les PDM dans le cycle de vie du produit

Le cycle de vie d'un produit est l'ensemble des opérations qui contribuent à la naissance du produit, à son utilisation puis à sa destruction. Un PDM sur lequel se greffent toutes les activités de l'entreprise, permet la circulation, le partage et l'exploitation des informations relatives au produit (figure 7).

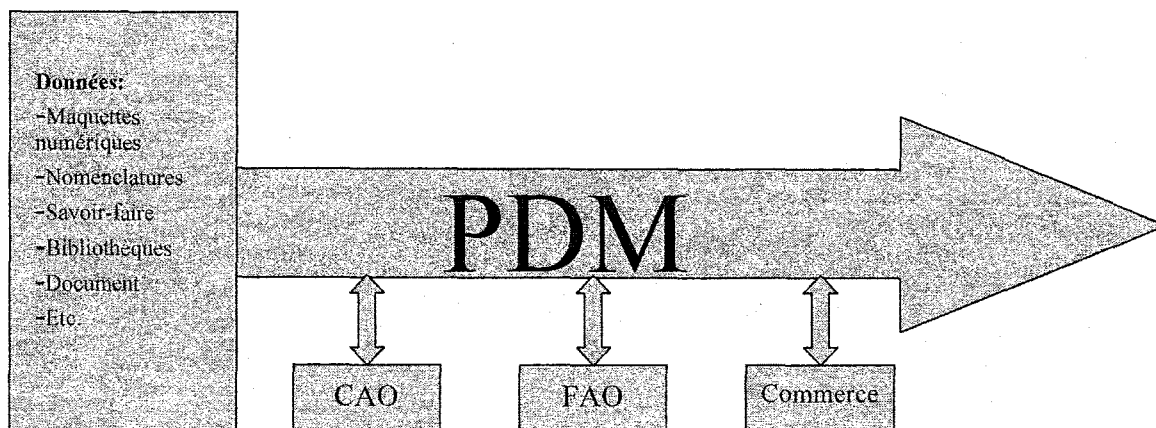


Figure 7 Les PDM dans le cycle de vie du produit

La conception d'un produit repose sur un échange permanent d'informations pour définir les solutions technologiques qui satisfont les besoins exprimés par le cahier des charges. Améliorer le dialogue interne entre les différents services qui participent à la création du produit nécessite d'une part, de savoir transcrire l'information pour la rendre accessible à tous, et d'autre part de savoir gérer le flot important d'informations qui en résulte.

Les systèmes de gestion des données de produit (SGDT) sont des outils qui facilitent la gestion de tous les dossiers (ou informations) impliqués dans le cycle de développement du produit, qui inclut la conception et la fabrication exigée pour livrer le produit. Parmi leurs fonctions principales, nous pouvons citer la gestion des dépendances et des liens entre les dossiers ainsi que la gestion des configurations du produit. Dans les entreprises, des milliers de modifications peuvent être effectuées sur un produit. Les systèmes informatiques permettent d'effectuer ces modifications plus rapidement que de manière manuelle.

2.2.2 Les avantages et les inconvénients des PDM

Les raisons principales de la limitation des PDM incluent la non collaboration entre les outils commerciaux, et la mauvaise transmission d'information. En outre, plusieurs aspects du produit sont modélisés, selon différents formats et à différents niveaux sémantiques. Ceci mène aux problèmes importants de cohérence des informations.

Le système de gestion des données de produit (PDM) fournit une première réponse à la question de la modification des fichiers CAO en contrôlant les données partagées. Mais elles sont toujours à un niveau de gestion de dossier. En conséquence, l'appui dans la propagation de modifications est faible.

Selon Eustache et al [6], la gestion d'information de produit croissante est un défi important. Se doter d'un outil permettant la comparaison automatique des fichiers CAO, en indiquant toutes les informations relatives à la modification (la nature de la modification, l'endroit et les valeurs modifiées) devient une nécessité.

En conclusion, les systèmes PDM ne sont pas capables de déterminer les modifications à l'intérieur des fichiers CAO. Pour répondre à cette question, nous avons besoin d'un outil permettant la comparaison du contenu des fichiers CAO pour détecter tout genre de différences à l'intérieur de ces fichiers. Pour développer cet outil, il faut connaître les différentes techniques de modélisation en CAO, et les différents types de représentation des données géométriques.

2.3 La modélisation

La modélisation solide permet de représenter les propriétés d'un objet comme les propriétés volumétriques (le poids et le moment d'inertie), et les propriétés topologiques (la connexité des objets et leurs relations d'inclusion ou d'interférence).

Selon De Guise [7], avec cette modélisation, nous pouvons interpréter notre modèle qui peut être affiché avec les techniques d'élimination des lignes cachées, de rendu réaliste qui permettent de visualiser clairement ce modèle en trois dimensions. Une représentation géométrique solide complète d'un modèle permet de supporter tout type de dessin et d'analyse nécessitant une information géométrique.

Il existe trois types principaux de modélisation géométrique :

- Modélisation filaire : avec cette modélisation, les objets sont décrits par les équations mathématiques des courbes formant les frontières avec les limites des objets.
- Modélisation surfacique : cette modélisation permet de décrire les objets par les équations des surfaces formant les limites de l'objet et par les équations des courbes formant les intersections entre ces surfaces.
- Modélisation solide : cette modélisation contient toutes les informations nécessaires à la description complète des frontières de l'objet, de la topologie intérieure et extérieure de l'objet et des propriétés massiques.

2.4 Les différents types de représentation géométrique

Plusieurs types de représentation géométrique interne sont utilisés dans les modeleurs solides :

- Représentation par les limites B-Rep;
- Représentation par la géométrie solide constructive CSG;
- Représentation par les caractéristiques.

2.4.1 Représentation par les limites (B-Rep)

Un premier type de représentation interne des modèles solides est le modèle de représentation par les limites (*Boundary Representation*).

Le modèle solide est représenté par ses limites spatiales, habituellement par les surfaces extérieures de l'objet, avec une convention permettant d'indiquer dans quelle direction elles sont orientées. Un solide peut alors être représenté par l'union de faces (surfaces) limitées par des arêtes qui elles-mêmes sont limitées par des sommets. Les faces sont définies par les surfaces sur lesquelles elles reposent, les arêtes par des courbes et les sommets par des points formant les extrémités des courbes. Un modèle B-Rep est donc représenté par les équations mathématiques des surfaces et des courbes, et par les coordonnées spatiales des sommets.

Trois types d'informations sont nécessaires pour la représentation d'un modèle par les limites :

- Information géométrique : ces informations sont les coordonnées des sommets, les équations des arêtes et les équations des surfaces, souvent conservées en représentation homogène.
- Information topologique : relations permettant d'établir la connexité des trois types d'informations géométriques permettant la définition du modèle.
- Information complémentaire : information non géométrique telle la couleur, le type de ligne, l'épaisseur de trait, etc.

La méthode développée par David et al [8] pour contrôler les modèles dans les systèmes de gestion de données, utilise la représentation B-Rep comme une signature graphique qui peut être employé pour l'évaluation topologique de similitude des modèles. Cette méthode ne détecte pas les modifications apportées entre deux versions.

2.4.2 Représentation par la géométrie solide constructive (CSG)

En CSG, l'objet est décrit en termes de primitives solides. L'objet est alors représenté sous la forme d'un arbre binaire et d'opérations booléennes ou de transformations géométriques (figure 8). Les nœuds ou feuilles terminales de l'arbre sont les formes

primitives solides ou les matrices de transformations de ces formes primitives. Les nœuds non terminaux sont des opérations booléennes ou des opérations de transformation quelconque.

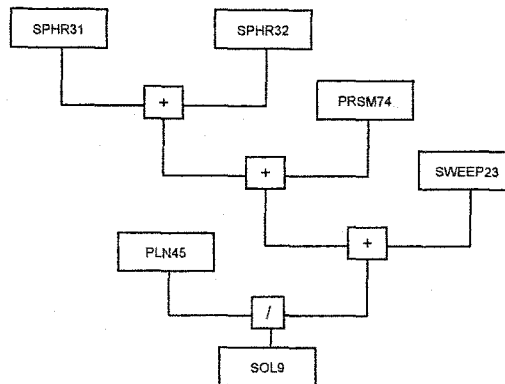


Figure 8 Représentation par arbre de modélisation CSG [9]

L'arbre de modélisation représente le solide final et ses informations. Il est possible d'avoir plusieurs arbres de modélisation différents représentant le même modèle final.

Vincent et al [10], ont proposé une nouvelle approche pour résoudre ce problème. Ils ont défini une nouvelle structure MDG (*Model Dependency Graph*) en utilisant les données de l'arbre de modélisation. Ils ont créé un algorithme pour comparer les modèles dans le MDG. Cet algorithme compare le morphisme de deux MDG différents pour le même solide.

2.4.3 Représentation par les caractéristiques (*Features*)

La représentation par les *Features* (les caractéristiques) est un niveau élevé de représentation d'un solide, obtenu par les définitions de l'ensemble des données structurées et hiérarchiques qui caractérisent les *Features*.

Il existe de nombreuses définitions pour les features. Nous retenons la définition proposée par Chep et Tricarico [11] : un *Feature* est un ensemble d'informations lié à la description d'une pièce. Un *Feature* est n'importe quelle forme ou entité géométrique qui est employée dans l'une ou plusieurs des activités de conception ou de fabrication. Elle est n'importe quelle entité appelée avec des attributs de forme et de fonction. C'est en général un regroupement d'informations porteur de sens, tel que chanfrein, rainure, etc.

2.4.4 Autres représentations

Il existe d'autres représentations géométriques sans être exhaustif, mentionnons la décomposition cellulaire, les maillages et la représentation par balayage. En fait, de nombreux systèmes s'appuient sur de multiples représentations.

- La représentation hybride : il existe plusieurs logiciels qui utilisent une approche de modélisation hybride. Cette représentation est utilisée pour l'affichage rapide des entités modélisées sur un écran graphique et leur manipulation interactive.
- La représentation par décomposition cellulaire : n'importe quel objet solide peut être représenté comme l'union d'un ensemble de cellule. Cette représentation est utilisée en analyse structurale et forme la base de la modélisation par éléments finis.

2.5 Algorithmes de détermination des similitudes et de comparaison de modèles CAO

Plusieurs algorithmes sont utilisés pour comparer des versions par la représentation B-Rep. Une méthode CSP par Leinen et al [12] permettant aux systèmes de CAO de proposer à l'utilisateur, pendant la phase de conception d'une nouvelle pièce, des constructions ayant des points communs avec cette dernière. La méthode de normalisation développée est basée sur un système de règles d'ajout ou de remplacement

de contraintes qui sont implémentées par des procédures. La suite des ensembles de contraintes obtenue lors du processus de normalisation est une suite convergente ce qui prouve la terminaison de ce processus et l'unicité de la solution. Cette méthode est valable pour les modèles 2D.

D'autres méthodes ont été développées pour extraire les informations d'un modèle. Une méthode SRG (*Super Relation Graph*) a été développée par Ching-Yao et al [13] pour extraire les caractéristiques prismatiques à partir de la représentation B-Rep d'une partie usinée, comme les arêtes, les poches, etc.(figure 9). En utilisant la définition de cette méthode et la validité de volume de caractéristique cette méthode identifie la caractéristique avec chacun des trois types d'interaction : (*Face splitting - Face merging - Edge truncation*). Cette méthode n'est pas utilisée pour la comparaison des modèles CAO.

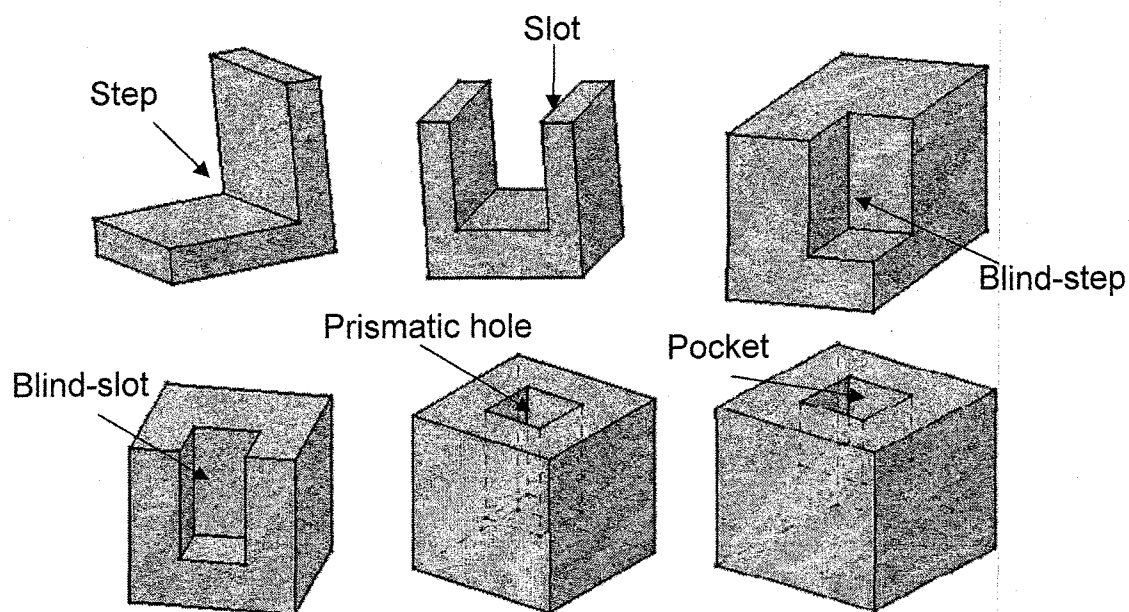


Figure 9 Extraction de caractéristiques à partir de la représentation B-Rep [13]

Un algorithme proposé par St Martin [14] repose sur l'analyse des arbres de construction (les primitives). Il utilise cinq files (A, B, C, D, X) pour chacun des deux modèles à comparer et fait la classification des primitives selon les quatre critères de comparaison suivants : type de primitive, matrice de coordonnées de création, paramètre de définition de la primitive et l'index de position dans l'arbre de modélisation (CSG). Au départ, toutes les primitives de chaque modèle sont empilées dans leur file d'éléments de classe X. Les autres files sont initialement vides. Les primitives trouvées identiques entre les deux modèles sont dépilées des files de classe X pour être empilées dans des files de classe A, B, C ou D.

El-Mehalawi et al [15], [16], ont développé une méthode permettant la détection de modèles semblables dans une base de données. Cette méthode est basée sur la comparaison d'informations des pièces de base de données. Des conceptions sont représentées en utilisant les graphies attribuées. Les graphes décrivent la topologie de la pièce tout en ajoutant des attributs qui permettent d'incorporer de l'information géométrique. Une information géométrique limitée est employée pour faciliter le procédé de comparaison. Cette méthode détecte les modèles semblables dans une base de données, mais elle ne détermine pas la différence entre eux.

Un autre algorithme a été développé par Shinji et al [17] pour déterminer les similitudes des objets en trois dimensions. Cet algorithme comprend cinq étapes : la première est la décomposition des solides en seulement des composants convexes uniquement. Elle est représentée comme un arbre de structure hiérarchique avec ces composants convexes, qui ont déjà été développés. Par la suite, une nouvelle structure de données, appelée la structure à deux plans, qui se compose des composants convexes séparés dans deux plans, c'est-à-dire, le premier plan inclut seulement les composants convexes positifs à ajouter, et le deuxième représente les composants convexes négatifs à supprimer. La structure de deux plans d'un objet est comparée au composant convexe correspondant de l'autre objet, et après, chaque composant d'un objet est comparé au composant convexe

correspondant de l'autre objet. Finalement, la similitude de ces deux objets est déterminée. Cet algorithme ne satisfait pas nos besoins, parce qu'il ne détermine pas les modifications apportées à un modèle pour en créer une version améliorée.

Daniel et al [18] utilisent la distribution de formes des modèles solides (les dimensions, les volumes et les poids) pour les comparer en utilisant les caractéristiques et les informations topologiques. Cette méthode est appliquée à la distribution de forme pour la comparaison des modèles approximatifs trouvés dans les graphiques par la comparaison de ces distributions. Cette méthode donne la proportion de similitude. Elle ne détermine pas la différence de modèles.

Elinson et Nau [19] ont développé une approche pour évaluer la ressemblance automatiquement en CAO, et examiner les modèles pour en déterminer les ressemblances. L'approche est basée sur la méthode de fabrication de modèles CAO. Il s'agit de créer un graphe contient les informations de fabrication pour chaque modèle et d'analyser la similitude entre deux graphes afin de donner les différences entre les deux modèle à comparer. Cette approche détermine s'il y a une modification à la fabrication et ne détermine pas les modifications dans le secteur de la conception.

Une autre approche est proposée par Xiaozhao et al [20] pour produire les caractéristiques des modèles FFBM (*Flexible Feature-Based Models*) qui peuvent être modifiés dynamiquement. Les types B-Rep et FRG (*Feature Relation Graph*) sont utilisés pour décrire le FFBM. Les fonctions de modifications de caractéristiques incluent : la suppression des caractéristiques, le mouvement des caractéristiques, le remplacement des caractéristiques et la variation des caractéristiques. Avec cette méthode, et après que le modèle soit modifié, toute l'information de produit doit être redéfinie. Donc, cette méthode n'est pas utilisée pour la comparaison de modèles CAO.

2.6 Les comparateurs disponibles avec les logiciels de CAO

Le logiciel CATIA V5 inclut une opération permettant de donner une couleur différente à l'endroit modifié entre deux versions d'un même modèle de type *CATPart*, et donne le résultat de comparaison comme un fichier *CATProduct* (voir Annexe D). Ce dernier inclut deux couleurs, la rouge indique l'endroit modifié en ajout de matière, et la verte indique l'endroit modifié en retrait de matière. Cette méthode consiste à réaliser la différence entre les deux modèles géométriques approchés par une représentation de type tessellation (maillage à faces planes triangulaires). Nous avons donc une méthode de faible niveau sémantique. Avec cette option, nous pouvons déterminer n'importe quel changement géométrique entre deux versions d'un même modèle automatiquement, mais cette façon de faire ne permet ni de connaître les valeurs modifiées ni de connaître le type de modification (Annexe D). Cette façon ne satisfait pas nos besoins, nous avons besoin d'un outil permettant de connaître autant le type de modification que les valeurs modifiées.

Avec le logiciel Pro/ENGINEER, nous pouvons également comparer deux versions différentes d'un même modèle. Nous pouvons effectuer une comparaison des caractéristiques entre les deux versions, ou une comparaison géométrique. L'opération de comparaison des caractéristiques indique les caractéristiques modifiées, supprimées et ajoutées. Cet outil indique si une modification a été apportée à une caractéristique, mais il ne fournit pas les anciennes et les nouvelles valeurs. Il donne juste toutes les valeurs relatives à la caractéristique modifiée sans préciser quelles valeurs ont été modifiées. Cet outil ne donne pas le résultat sous forme graphique indiquant les endroits modifiés. Par contre, la comparaison géométrique mesure les déformations géométriques entre deux modèles différents.

Selon Dassault Systèmes [21], il est possible avec le logiciel SolidWorks de trouver les différences entre les versions d'un même modèle rapidement et facilement. Cet outil

organise la comparaison en cinq catégories, la comparaison de la géométrie, la comparaison des caractéristiques, la comparaison des documents, la coloration des caractéristiques et l'analyse de la géométrie. Cet outil permet d'étudier et d'éditer des pièces individuelles et de comparer les caractéristiques et les entités géométriques et volumiques de paires de pièces. L'analyse de la géométrie identifie les petites faces, les arêtes courtes, les faces très minces, etc. nous pouvons comparer les caractéristiques de deux pièces similaires afin d'identifier celles qui sont identiques, modifiées et uniques. Nous pouvons également comparer la géométrie de deux pièces volumiques en vue d'en identifier les volumes communs. Cet outil est considéré comme une option utilité (Add-ins).

Pour l'instant, le logiciel Solid Edge n'inclut aucun outil permettant la comparaison des modèles CAO pour extraire les différences.

Les données de conception et de fabrication assistées par ordinateur qui définissent le produit comme modèle géométrique, sont des informations principales et centrales contrôlées par ces systèmes. Sans système fiable d'annotation, il peut devenir très pénible d'identifier chaque changement entre deux versions d'un même modèle. D'autre part, cette tâche de comparaison ne peut pas être effectuée par les systèmes actuels de PDM, en raison de la nécessité d'accéder à l'intérieur des fichiers CAO pour extraire les données géométriques pour la comparaison. Les systèmes de PDM peuvent savoir qu'il y a une modification d'un fichier CAO, mais ils ne permettent pas de connaître la nature exacte d'une modification à l'intérieur de ce fichier. Donc, notre travail vise à pallier à cette limitation pour être capables de détecter la nature des modifications apportées par les concepteurs.

2.7 Proposition d'une solution

Les systèmes de CAO offrent des interfaces procédurales d'application (API) permettant d'accéder aux données géométriques et technologiques des pièces. Pour utiliser les API, nous pouvons prendre le langage C++, le langage JAVA ou le langage VBA (*Visual Basic Application*).

Le comparateur de modèles CAO que nous proposons doit être capable de faire l'extraction de toutes les informations d'une caractéristique de chaque modèle à comparer. Ensuite, il faut comparer chaque paire de caractéristiques selon leurs identifiants et leurs adresses dans l'arbre de modélisation.

Avec les informations obtenues de chaque caractéristique, nous déduisons les différences entre chaque paire à comparer. En procédant de la sorte de toutes les caractéristiques des deux modèles à comparer, nous aurons les différences entre les deux modèles et nous déterminerons toutes les modifications effectuées sur le nouveau modèle (figure 10).

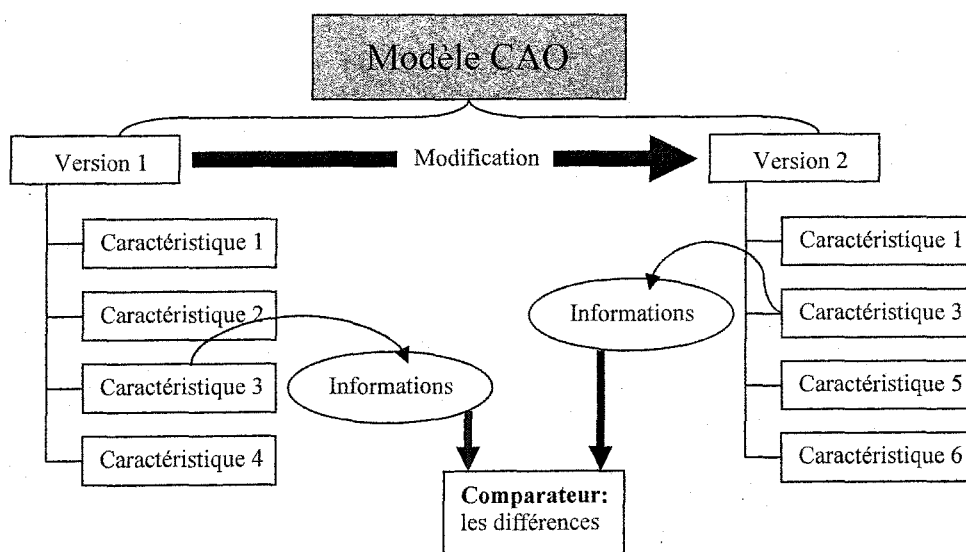


Figure 10 Comparaison des informations entre deux caractéristiques

CHAPITRE 3

LE COMPAREUR DE MODÈLES CAO

3.1 Introduction

Le type de représentation tend aujourd'hui à se généraliser dans les systèmes de CAO de dernière génération. Notre approche sera adaptée et tirera partie de ce type de représentation. Dans ce chapitre, nous allons proposer un algorithme permettant la comparaison de modèles CAO dans le cadre de processus de gestion du changement. Cet algorithme est basé sur le parcours des arbres de modélisation (ou arbres de spécification) et l'analyse des valeurs des caractéristiques qui les constituent

Dans ce travail, la comparaison se fait donc entre deux versions différentes d'un même modèle CAO d'une unique pièce. Pour cela, nous remarquons que quatre cas de modification mènent à une nouvelle version (figure 11) :

- Modifier les caractéristiques : comme les modifications de géométrie, par exemple modifier le diamètre d'un trou, la position d'un trou, la longueur d'un prisme, etc.
- Ajouter des caractéristiques : comme l'ajout d'un trou, d'un arrondi, etc.
- Supprimer des caractéristiques : comme la suppression d'un chanfrein, d'un perçage, etc.
- Déplacer des caractéristiques dans l'arbre de modélisation : comme le changement d'ordre de caractéristiques dans l'arbre de modélisation et la modification de géométrie (translation, rotation, etc.).

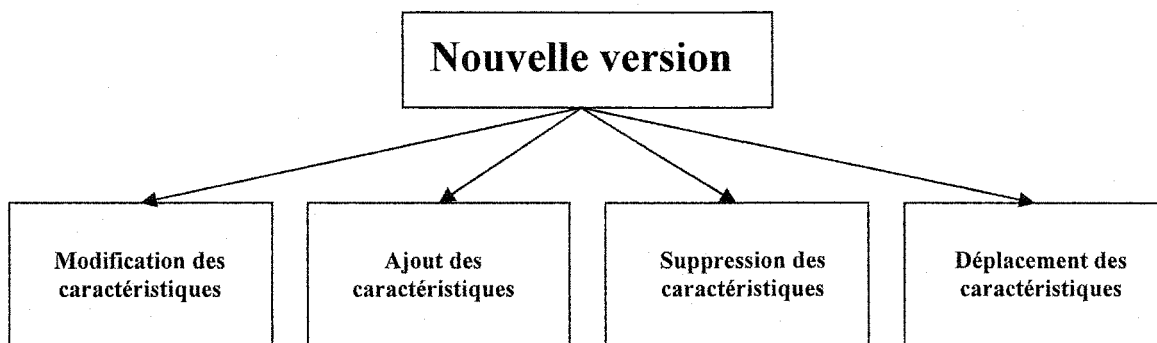


Figure 11 Les quatre cas possibles de modification pouvant mener à une nouvelle version

Pour que le comparateur soit capable de déterminer tous les changements entre deux versions différentes, il doit être capable de détecter les quatre cas que nous avons présentés à la figure 11.

3.2 Détermination des caractéristiques modifiées

L'identification de ce cas est basée sur l'identificateur des caractéristiques, c'est-à-dire, que les caractéristiques ayant le même identificateur sont comparées. Le comparateur sélectionne chaque caractéristique dans la première version, et cherche son identificateur dans la deuxième version. Lorsqu'un jumelage est trouvé, les valeurs de chaque paramètre entre les deux caractéristiques sont comparées. Par exemple, supposons que nous avons un solide sauvegardé sous la version (A). Une modification a été effectuée sur un des paramètres d'une caractéristique, et le résultat est sauvegardé sous la version (B). Lorsque le comparateur aura appairé les deux caractéristiques ayant le même identificateur, il trouvera la valeur modifiée (voir figure 12).

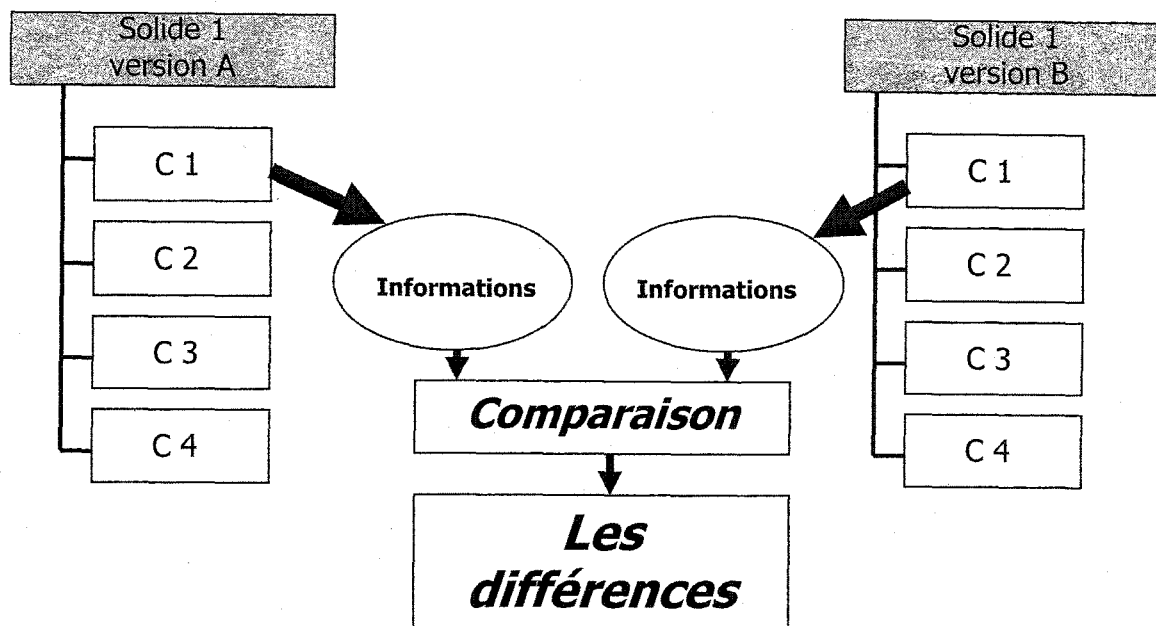


Figure 12 Détermination des caractéristiques modifiées

3.3 Détermination des caractéristiques ajoutées

Dans ce cas, le comparateur sélectionne chaque caractéristique dans la deuxième version, et lit son identificateur, puis il cherche cet identificateur dans la première version, s'il ne le trouve pas, il déclarera cette caractéristique comme une caractéristique ajoutée. Par exemple, supposons que nous avons un solide sauvegardé sous la version (A). Une caractéristique a été ajoutée à ce solide, et le résultat est sauvegardé sous la version (B). En parcourant l'arbre de modélisation, le comparateur cherche l'identificateur de cette caractéristique dans le modèle de version (A) (figure 13). En considérant que la version (A) représente l'ancienne version. Cet identificateur ne sera pas trouvé et la caractéristique qui n'a pu être appairée sera déclaré comme ajoutée.

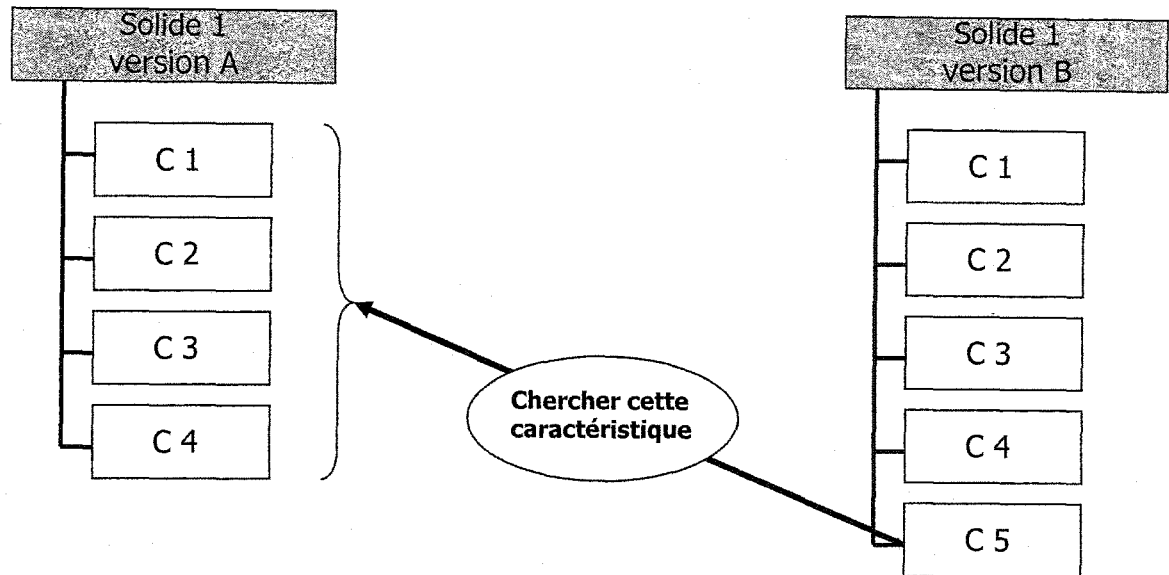


Figure 13 Détermination des caractéristiques ajoutées

3.4 Détermination des caractéristiques supprimées

Dans ce cas, le comparateur sélectionne chaque caractéristique dans la version antérieure, et lit son identificateur, puis il cherche cet identificateur dans la version plus récente. S'il ne le trouve pas, il déclarera cette caractéristique comme une caractéristique supprimée. Par exemple, supposons que nous avons un solide sauvegardé sous la version (A). Une caractéristique a été supprimée de ce solide, et le résultat est sauvegardé sous la version (B). Le comparateur cherche l'identificateur de cette caractéristique dans la version (B) (figure 14). Ayant terminé de parcourir l'arbre de modélisation de la version (B) sans l'identificateur recherché, le comparateur conclut que cette caractéristique a été supprimée dans la version la plus récente du modèle.

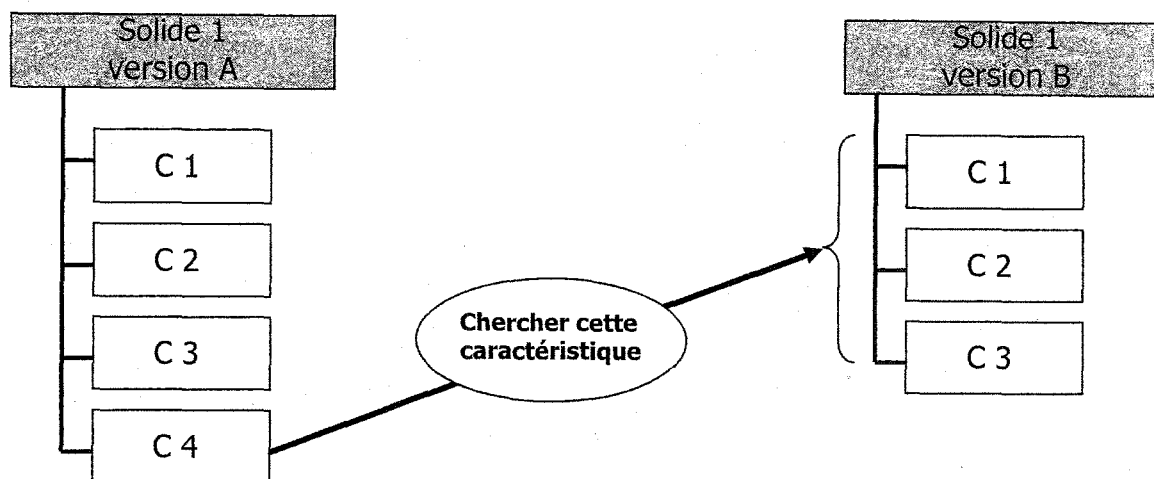


Figure 14 Détermination des caractéristiques supprimées

3.5 Détermination des caractéristiques déplacées dans l'arbre de modélisation

Dans ce cas, le comparateur sélectionne chaque caractéristique dans la première version, il lit son identificateur et sa position dans l'arbre de modélisation, puis il la cherche dans la deuxième version. S'il ne la localise pas à la même position, mais la trouve ailleurs dans l'arbre de modélisation, il la déclarera comme une caractéristique déplacée. Par exemple, supposons que nous avons un solide sauvegardé sous la version (A). Une caractéristique a été déplacée dans l'arbre de modélisation, et le résultat est sauvegardé sous la version (B). Le comparateur trouve l'identificateur de cette caractéristique à deux positions différentes dans l'arbre et conclura que cette caractéristique a été déplacée (figure 15).

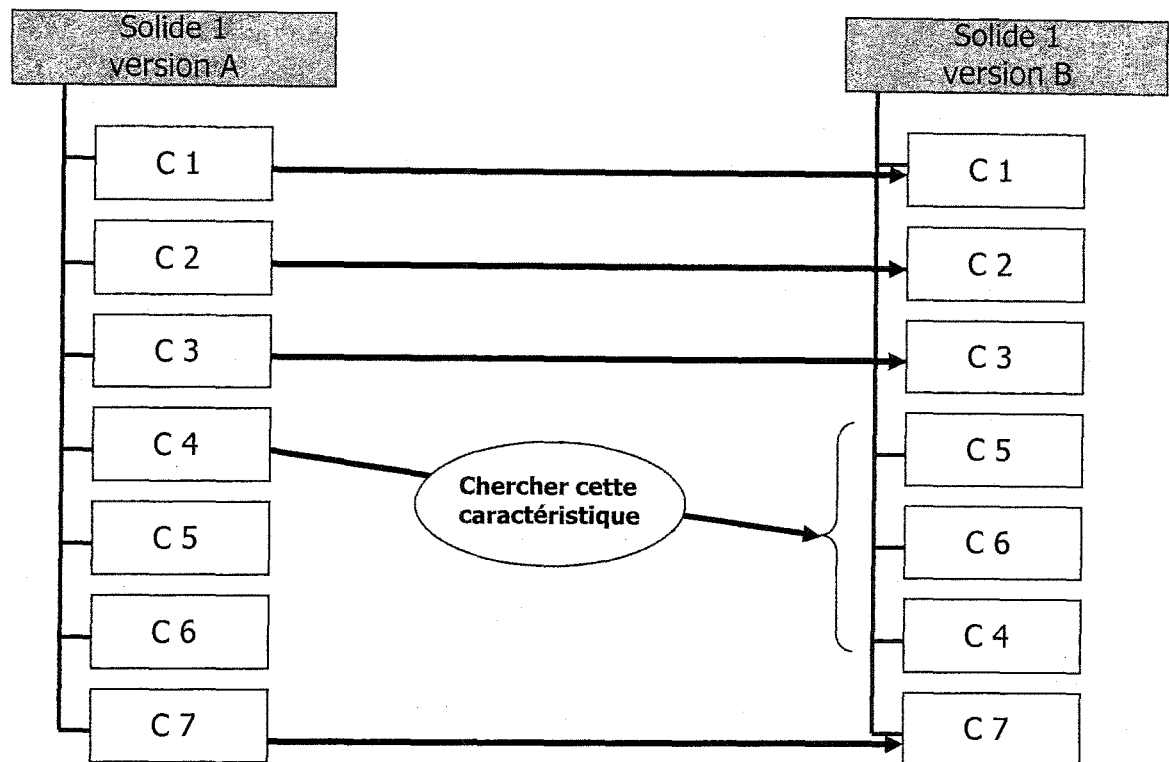


Figure 15 Détermination des caractéristiques déplacées

3.6 L'algorithme de comparaison des modèles CAO

Nous allons présenter de manière détaillée l'algorithme qui implante les quatre critères de comparaison (figure 16). Tout d'abord, le programme ouvre les deux versions à comparer, puis, sélectionne chaque caractéristique du premier modèle et lit son identificateur, et cherche cet identificateur dans le deuxième modèle pour comparer les valeurs des caractéristiques qui portent le même identificateur. Cette opération détecte les caractéristiques modifiées. Ensuite, il détecte les caractéristiques ajoutées par la sélection des caractéristiques du deuxième modèle qui ne sont pas présentées dans le premier modèle. Par la suite, cet algorithme détermine les caractéristiques supprimées en détectant les caractéristiques du premier modèle qui ne se trouvent pas au deuxième. Enfin, il détecte les caractéristiques déplacées dans l'arbre de modélisation par la

détermination de chaque paire de caractéristiques ayant le même identificateur mais qui ont une position différente dans l'arbre de modélisation (voir figure 16).

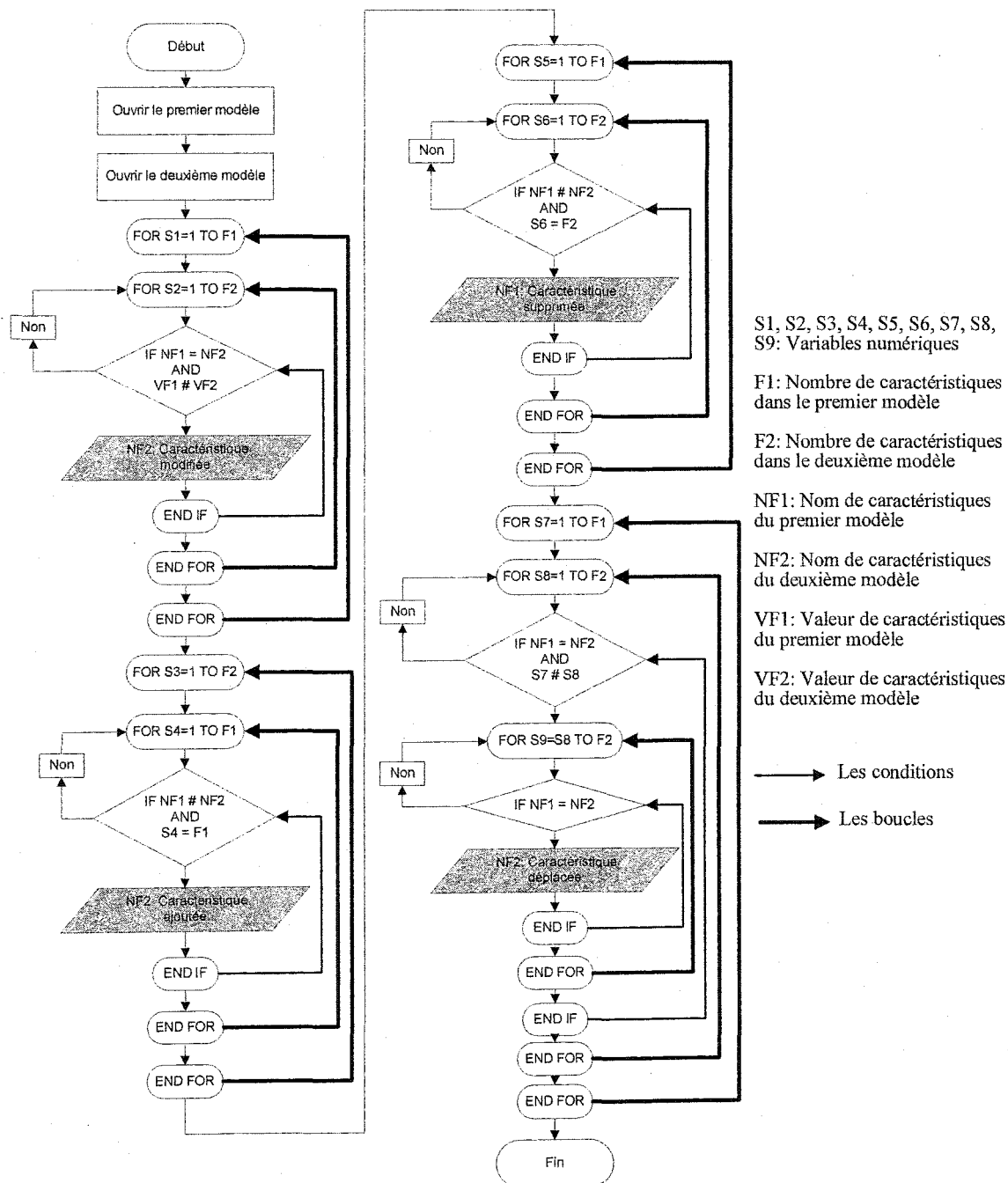


Figure 16 L'algorithme de comparaison des modèles CAO

CHAPITRE 4

IMPLÉMENTATION DU COMPAREUR SOUS CATIA V5

4.1 Introduction

Dans le logiciel CATIA V5, la représentation utilisée est une représentation par les caractéristiques. Le corps fermé (*Part Body*) et le corps ouvert (*Open Body*) sont les éléments principaux de construction dans un fichier (*CATPart*). C'est à partir de ceux-ci que débute la modélisation du solide (figure 17).

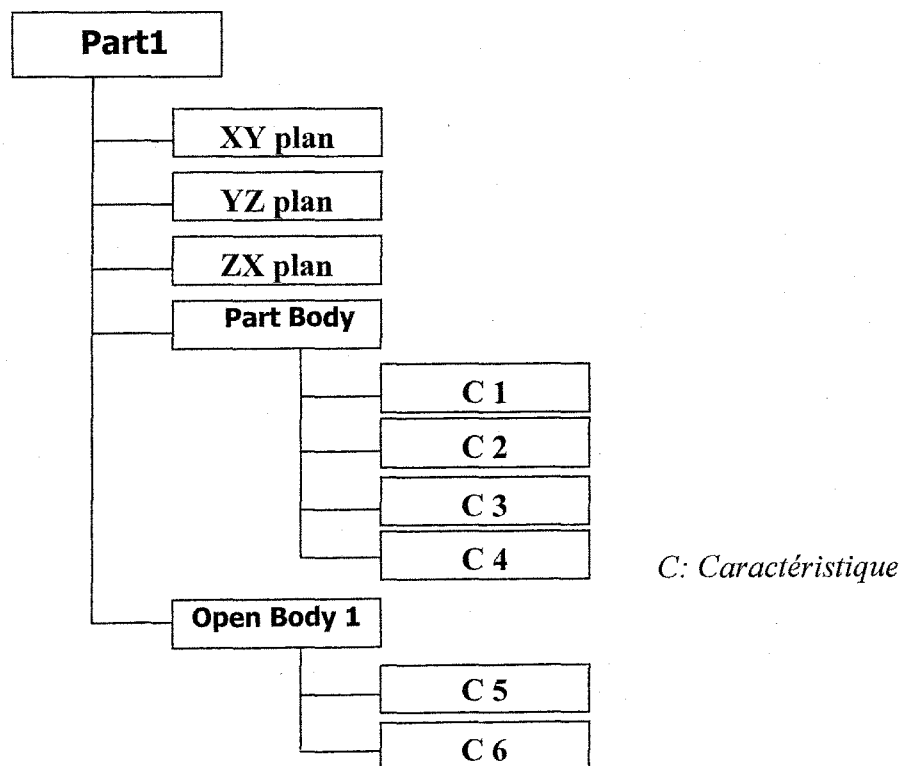


Figure 17 Structure de l'arbre de spécification

4.2 Extraction des données e caractéristiques

Il existe deux catégories de caractéristiques dans l'arbre de modélisation en CATIA V5 (figure 18) :

- Les caractéristiques sans esquisse (*Sketch*)
- Les caractéristiques avec esquisse

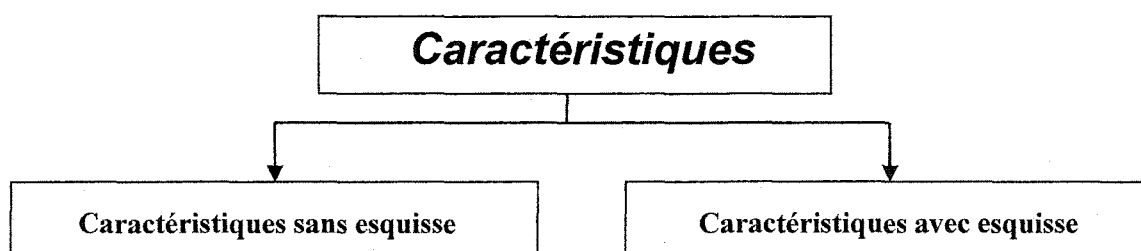


Figure 18 Les deux genres de caractéristiques en CATIA V5

Les esquisses sont des plans 2D qui permettent de construire des caractéristiques 3D.

Dans l'esquisse, il y a trois informations principales : (figure 19)

- Les axes absolus
- La géométrie
- Les contraintes

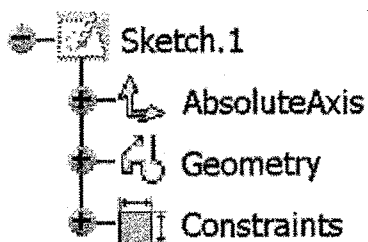


Figure 19 Les informations dans l'esquisse (*Sketch*)

Si nous voulons détecter toutes les informations d'une caractéristique, nous observons les deux situations suivantes :

- Les caractéristiques sans esquisse : nous avons les informations propre à cette caractéristique directement (figure 20).
- Les caractéristiques avec esquisse : dans ce cas, nous avons les informations de la caractéristique et de son esquisse en plus.

Par exemple, le prisme a une esquisse incluant un dessin 2D représentant sa structure. Pour obtenir les informations de cette caractéristique, nous devons connaître les informations de la caractéristique (la hauteur du prisme, sa direction et son sens), et les informations de son esquisse (les dimensions 2D). Par contre, si nous avons un arrondi qui n'a pas d'esquisse, nous allons juste avoir les informations de cette caractéristique (le rayon et l'arête de référence (figure 20)).

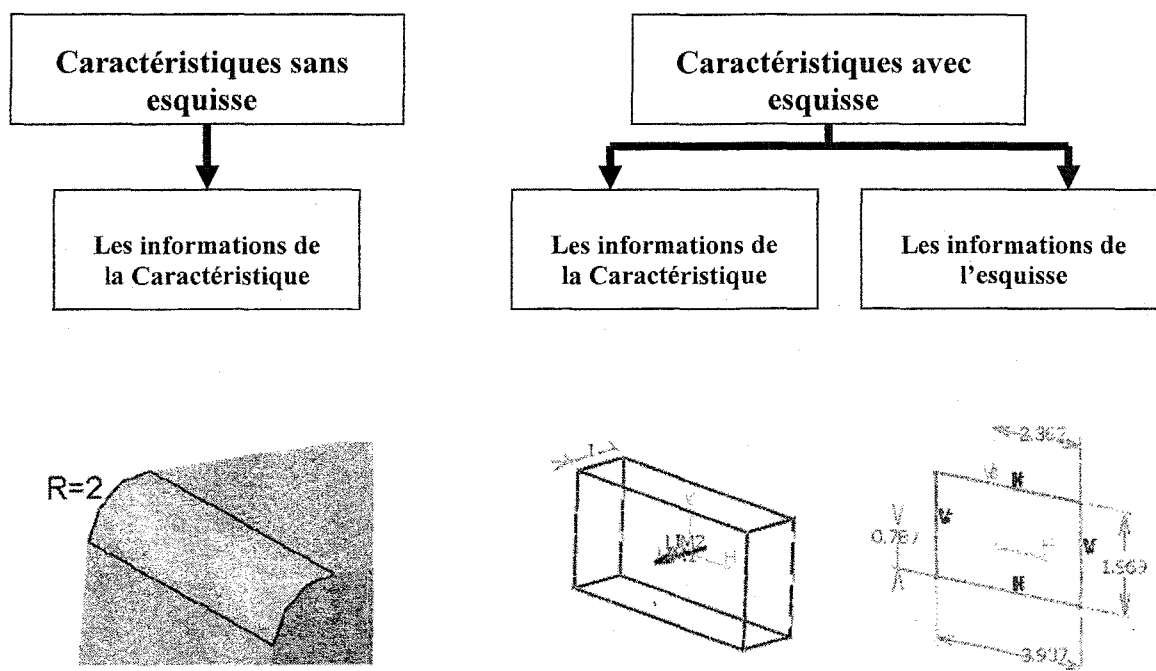


Figure 20 Les informations d'une caractéristique

4.3 Fonctionnement du comparateur

Le langage choisi pour le développement du comparateur est Visual Basic Application (VBA) sous CATIA V5R8. Pour que le comparateur soit capable de déterminer tous les changements entre deux versions différentes, il doit être capable de détecter les quatre cas que nous avons présentés au chapitre précédent.

Le logiciel CATIA V5R8 identifie toutes les caractéristiques créées dans l'arbre de modélisation. En plus, cet identificateur est unique et n'est jamais effectué à une autre entité, même si elle est supprimée ou que son nom est changé. De ce fait, le comparateur sera basé sur les identificateurs des caractéristiques. Ainsi le comparateur a besoin de connaître le type (caractéristique, esquisse), et l'adresse (corps fermé, corps ouvert).

4.4 Les algorithmes de comparaison des versions en CATIA V5

Pour que le comparateur de CATIA V5 soit capable de déterminer n'importe quelle modification apportée à une caractéristique, il doit lire l'arbre de modélisation complètement, c'est-à-dire, il doit lire les corps fermés, les corps ouverts et les esquisses (figure 21).

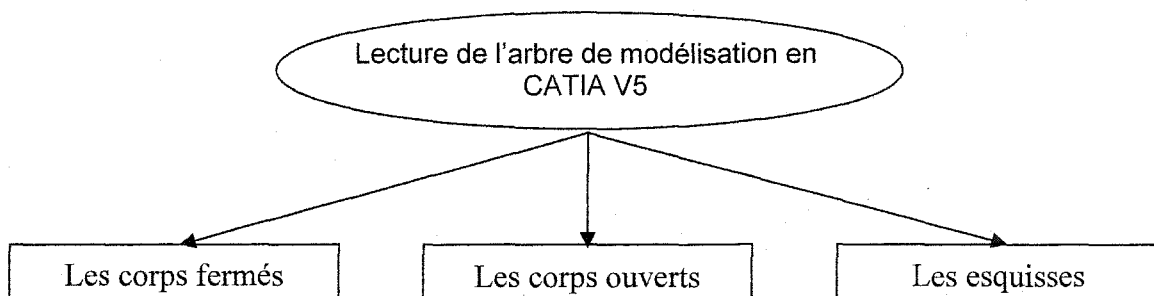


Figure 21 Les trois types de lecture de l'arbre de spécifications en CATIA V5

Il y a un total de 12 déterminations dans cet algorithme (voir figure 22).

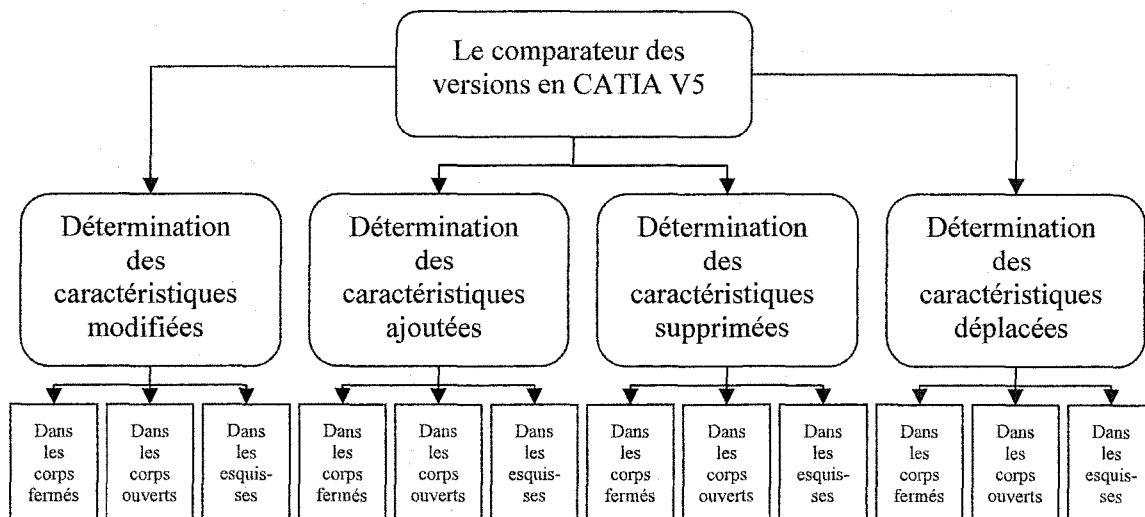


Figure 22 Les 12 déterminations du comparateur en CATIA V5

Nous allons présenter un algorithme individuel pour chacun des quatre critères de comparaison avec une seule détermination dans les corps fermés, les deux autres cas étant similaires.

4.4.1 L'algorithme de détermination des caractéristiques modifiées

Dans ce cas, le comparateur sélectionne chaque caractéristique dans les corps fermés de la première version, et cherche son identificateur dans la deuxième version. Lorsqu'un jumelage est trouvé, les valeurs de chaque paramètre entre les deux caractéristiques sont comparées. S'il y a une différence, le comparateur déclarera cette caractéristique comme modifiée. Il va afficher les valeurs modifiées et colorer cette caractéristique en rouge. Par la suite, ce comparateur sélectionne chaque caractéristique dans les corps ouverts de la première version et fait la même comparaison. Finalement, il sélectionne chaque caractéristique dans les esquisses de la première version pour rechercher son identification dans la deuxième version, et comparer les paramètres des caractéristiques.

La figure 23 présente l'algorithme qui permet la détermination des caractéristiques modifiées dans les corps fermés. Rappelons que les paramètres indiqués dans l'algorithme sont les informations présentées à la figure 20.

Pour déterminer les caractéristiques modifiées dans les corps ouverts, un algorithme identique à celui de la figure 23, est requis avec un changement dans les boucles FOR pour accéder aux corps ouverts. Enfin, un autre algorithme identique pour déterminer les caractéristiques modifiées dans les esquisses. Cette fois, le changement dans les boucles FOR doit accéder à tous les esquisses de chaque modèle.

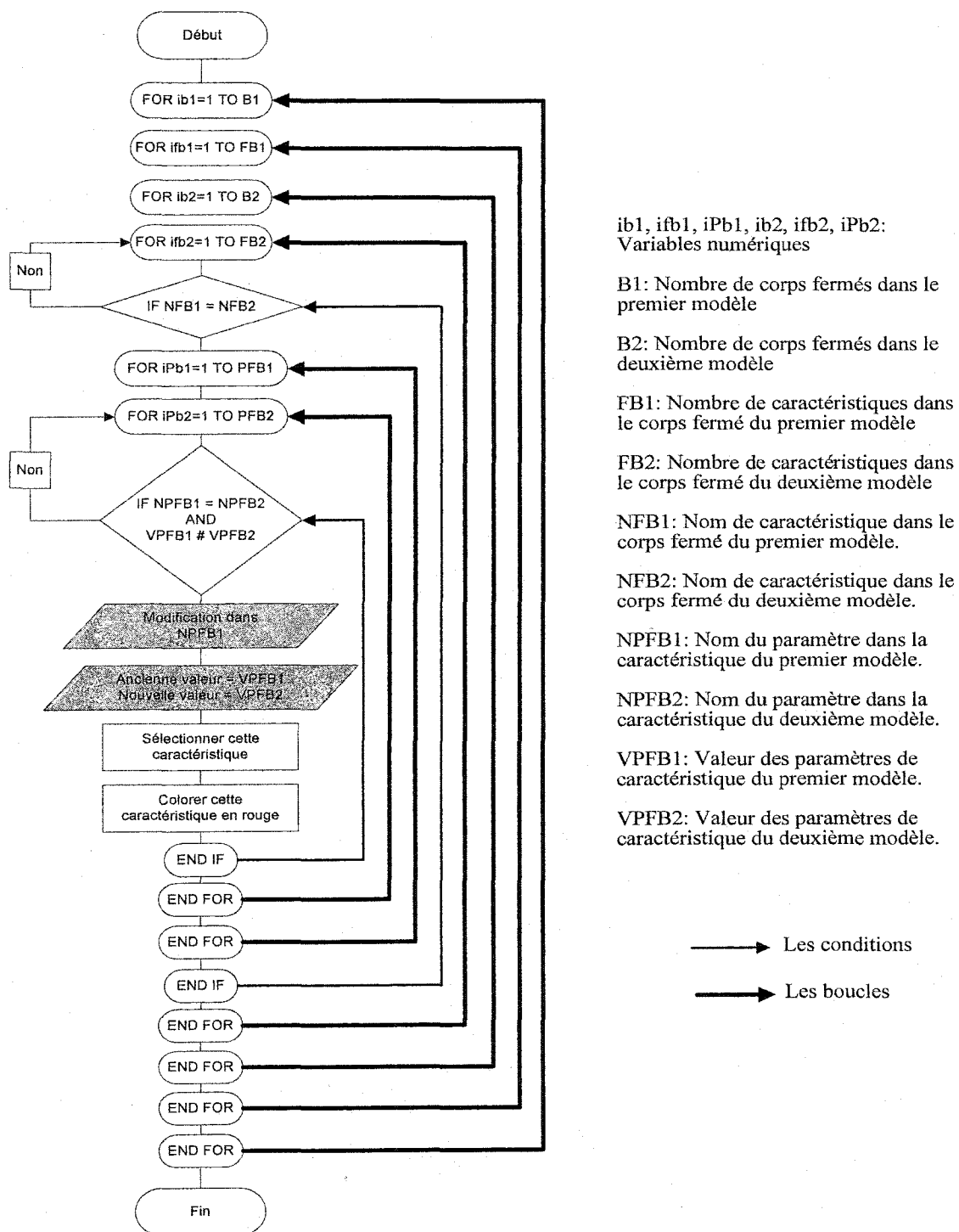


Figure 23 L'algorithme de détermination des caractéristiques modifiées dans les corps fermés en CATIA V5

4.4.2 L'algorithme de détermination des caractéristiques ajoutées et supprimées

Dans le cas de détermination des caractéristiques ajoutées dans les corps fermés. Le comparateur sélectionne chaque caractéristique dans les corps fermés de la deuxième version, lit son identificateur et puis il cherche cet identificateur dans les corps fermés de la première version. S'il ne le trouve pas, il déclarera cette caractéristique comme une caractéristique ajoutée dans un corps fermé. Une boucle permet d'afficher tous les paramètres avec leurs valeurs pour la caractéristique détectée par l'algorithme. Par contre, pour déterminer les caractéristiques supprimées dans les corps fermés, le comparateur fait la même opération, mais cette fois, il commence par la première version et sélectionne chaque caractéristique dans les corps fermés, et cherche son identificateur dans les corps fermés de la deuxième version. Nous remarquons que le principe de la détermination des caractéristiques ajoutées dans l'arbre de modélisation est identique à celui de la détermination des caractéristiques supprimées en changeant l'ordre de la recherche des caractéristiques dans les arbres de modélisation des deux modèles à comparer. L'algorithme de cette détermination est présenté à la figure 24. La légende des symboles utilisés dans cet algorithme est présentée au tableau suivant :

Tableau I

La légende des symboles utilisés dans l'algorithme de la figure 24

Symbole	Légende
ib1, ifb1, iPb1 ib2, ifb2, iPb2	Variables numériques
B1	Nombre de corps fermés dans le premier modèle
B2	Nombre de corps fermés dans le deuxième modèle
FB1	Nombre de caractéristiques dans le corps fermé du premier modèle
FB2	Nombre de caractéristiques dans le corps fermé du deuxième modèle
NFB1	Identificateur de caractéristique du premier modèle
NFB2	Identificateur de caractéristique du deuxième modèle
PFB1	Nombre de paramètres dans la caractéristique du premier modèle
PFB2	Nombre de paramètres dans la caractéristique du deuxième modèle

4.4.3 L'algorithme de détermination des caractéristiques déplacées

Nous pouvons remarquer deux situations dans ce cas :

- Les caractéristiques qui sont déplacées vers le bas.
- Les caractéristiques qui sont déplacées vers le haut.

Par exemple, la figure 25 présente une caractéristique déplacée vers le bas (C4). Cette caractéristique était entre les deux caractéristiques (C3 et C5), et à la deuxième version, elle est après la caractéristique (C6). Une autre possibilité donne le même arbre de modélisation à la deuxième version. Si les deux caractéristiques (C5 et C6) sont déplacées vers le haut entre les caractéristiques (C3 et C4). Le logiciel CATIA V5 lit les caractéristiques dans l'arbre de modélisation du haut vers le bas. Dans les deux cas précédents, le résultat final de ce modèle est le même (figure 25).

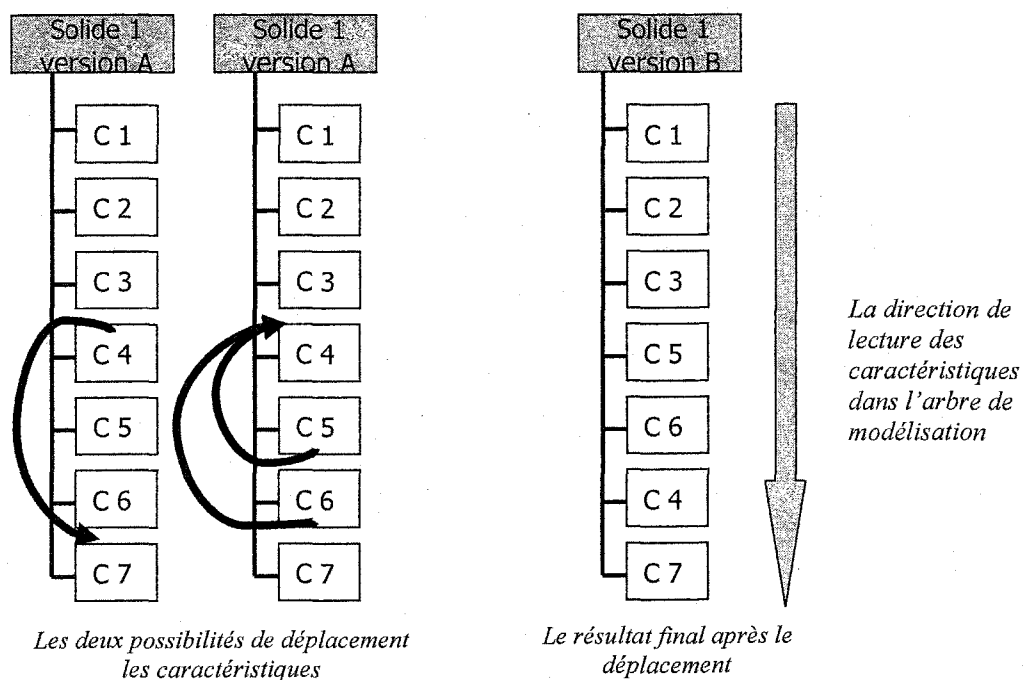


Figure 25 Déplacement des caractéristiques dans un arbre de spécifications

Notre comparateur détecte exhaustivement les deux cas sans les distinguer. Tout d'abord, il sélectionne chaque caractéristique dans les corps fermés de la première version, il lit son identificateur et sa position dans l'arbre de modélisation, puis il cherche cette caractéristique dans le même corps fermé de la deuxième version, s'il ne la trouve pas à la même position, il la cherchera dans la suite des caractéristiques et toujours dans le même corps. S'il la trouve, il la déclarera comme une caractéristique déplacée vers le bas. Une autre boucle dans le même algorithme détecte les caractéristiques déplacées vers le haut dans l'arbre de modélisation. Dans ce cas, le comparateur répète les mêmes étapes de la détection en commençant par la deuxième version.

Dans l'exemple de la figure 25, si la caractéristique C4 est déplacée vers le bas, le comparateur détectera le changement de l'ordre des caractéristiques dans l'arbre de modélisation. Il déclarera les deux possibilités qui donnent cet arbre. La première possibilité (la caractéristique C4 est déplacée vers le bas), et la deuxième possibilité (les caractéristiques C5 et C6 sont déplacées vers le haut).

La figure 26 présente l'algorithme qui détecte le changement de l'ordre des caractéristiques dans l'arbre de modélisation (caractéristiques déplacées vers le bas et vers le haut dans les corps fermés). La légende des symboles utilisés dans cet algorithme est présentée au tableau II.

Nous ne pouvons pas savoir quel déplacement a été réellement réalisé par le concepteur pour obtenir le résultat final de l'arbre de modélisation à la nouvelle version. L'algorithme de la figure 26 détecte toutes les possibilités de déplacement des caractéristiques dans l'arbre de modélisation qui génèrent la nouvelle version du modèle.

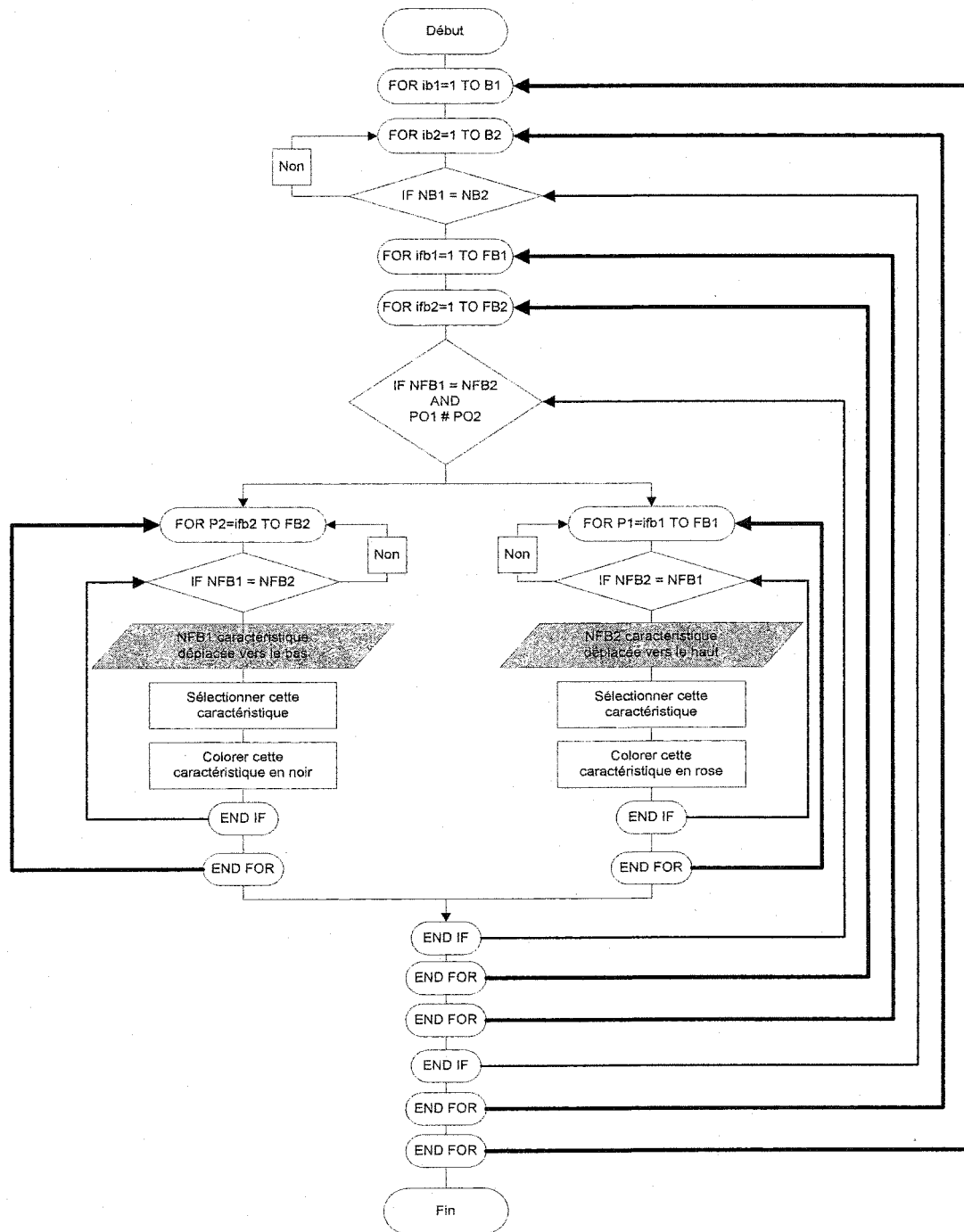


Figure 26

L'algorithme de détermination du changement de l'ordre des caractéristiques dans l'arbre de modélisation (caractéristiques déplacées vers le bas et vers le haut dans les corps fermés) en CATIA V5

Tableau II

La légende des symboles utilisés dans l'algorithme de la figure 26

Symbole	La légende
ib1, ifb1, P1 ib2, ifb2, P2	Variables numériques
B1	Nombre de corps fermés dans le premier modèle
B2	Nombre de corps fermés dans le deuxième modèle
NB1	Identificateur de corps fermé dans le premier modèle
NB2	Identificateur de corps fermé dans le deuxième modèle
FB1	Nombre de caractéristiques dans le corps fermé du premier modèle
FB2	Nombre de caractéristiques dans le corps fermé du deuxième modèle
NFB1	Identificateur de caractéristique dans le corps fermé du premier modèle
NFB2	Identificateur de caractéristique dans le corps fermé du deuxième modèle
PO1	Position de caractéristique au premier modèle
PO2	Position de caractéristique au deuxième modèle

4.5 Les résultats de la comparaison

La dernière étape du processus de comparaison consiste en l'affichage des différences entre les deux modèles à comparer. Pour faciliter la compréhension de la comparaison, les résultats sont présentés sous deux formes à l'utilisateur :

- Un fichier texte
- Deux modèles colorés

4.5.1 Les résultats sous forme textuelle

Un fichier texte sera créé à la fin de l'exécution du comparateur dans un répertoire indiqué par le comparateur.

Ce fichier inclut les points suivants :

- Les caractéristiques modifiées : chaque caractéristique modifiée sera indiquée par son identificateur, son adresse et ses valeurs modifiées avant et après la modification.
- Les caractéristiques ajoutées : chaque caractéristique ajoutée sera indiquée par son identificateur et son adresse et toutes ses valeurs.
- Les caractéristiques supprimées : chaque caractéristique supprimée sera indiquée par son identificateur et son adresse et toutes ses valeurs.
- Les caractéristiques déplacées : chaque caractéristique déplacée sera indiquée par son identificateur et son adresse.
- Le nom de la personne qui a généré la comparaison (question demandée au début de l'exécution du programme).
- Le temps nécessaire pour exécuter ce programme.

Le cas de l'ajout et de la suppression des caractéristiques inclut les corps fermés et les corps ouverts. S'il y a un corps fermé ou un corps ouvert ajouté ou supprimé, le comparateur détectera cette modification et l'indiquera au fichier texte. Cette détection inclut les esquisses également.

4.5.2 Les résultats sous forme graphique

La deuxième façon d'afficher le résultat final de la comparaison est d'attribuer une couleur à l'endroit modifié. Pour chaque cas de modification, il y a une couleur spéciale qui peut aider l'utilisateur à comprendre rapidement les modifications effectuées. Les deux solides à comparer seront colorés selon le cas de modification :

- Sur le deuxième solide (la nouvelle version) : la couleur rouge indique les caractéristiques modifiées, la couleur verte indique les caractéristiques ajoutées, la couleur noire indique les caractéristiques déplacées dans l'arbre de modélisation vers le bas, et la couleur rose indique les caractéristiques déplacées vers le haut.

- Sur le premier solide (l'ancienne version) : la couleur bleue indique les caractéristiques supprimées.

Ces couleurs sont paramétrable selon les besoins de l'utilisateur.

4.6 Conclusion

Avec cette application, nous pouvons déterminer n'importe quel changement indiqué au début de ce chapitre entre deux versions différentes d'un même modèle. Cette application compare deux modèles (*CATPart*) et donne le résultat de comparaison sous deux formes :

- Un fichier texte à l'extérieur de CATIA, cette option nous aide à gérer les modifications par rapport aux autres logiciels (les PDM par exemple).
- Deux fichiers *CATPart* où les endroits modifiés sont colorés différemment par rapport au reste du modèle solide.

CHAPITRE 5

VALIDATION DU COMPAREUR

5.1 Introduction

Le comparateur que nous avons conçu a fait l'objet d'une validation basée sur de nombreux cas. De plus, des exemples simples ont été créés puis modifiés pour vérifier le comportement et l'efficacité de l'application. Nous avons aussi utilisé des modèles CAO de pièces aéronautiques qui permettent de confronter le comparateur avec des modifications plus complexes. Celles-ci nous permettent de constater les performances de notre comparateur.

Nous allons présenter dans ce chapitre, quelques exemples de toutes les modifications possibles que nous avons présentées au chapitre 3 :

- Modification de caractéristiques;
- Ajout de caractéristiques;
- Suppression de caractéristiques;
- Changement d'ordre de caractéristiques.

Pour bien valider notre comparateur, nous allons l'exécuter pour chaque type de modification parmi les quatre possibilités précédentes. Nous allons appliquer des modifications sur les caractéristiques, puis nous allons ajouter des caractéristiques, ensuite nous allons supprimer des caractéristiques, et enfin nous allons changer l'ordre des caractéristiques. Dans chaque cas, nous allons exécuter le comparateur pour voir le résultat de la comparaison, et à la fin nous allons exécuter le comparateur et voir le résultat de la comparaison pour toutes les modifications précédentes.

5.2 Modification des caractéristiques

Le modèle utilisé pour cette démonstration est un modèle d'une pièce aéronautique typique modélisé avec le logiciel CATIA V5 (voir figure 27). Nous allons illustrer les diverses modifications qui ont été effectuées sur ce modèle.

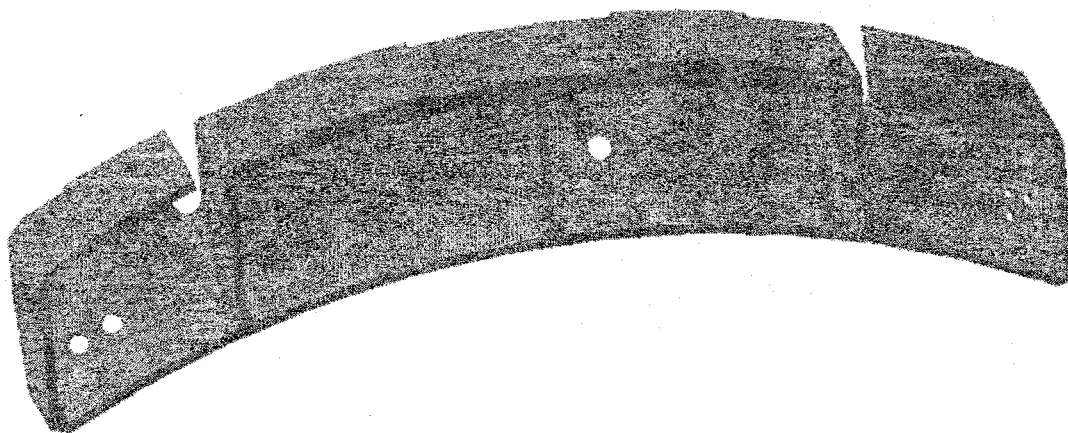


Figure 27 Une pièce aéronautique (1) modélisée avec le logiciel CATIA V5

Huit modifications ont été réalisées sur ce modèle pour créer sa version B.

Nous allons décrire chacune de ces modifications :

- Modification du diamètre d'un trou : la première modification introduite au modèle est le changement de diamètre d'un trou (figure 28). Il s'agit d'un type de modification qui survient fréquemment dans l'évolution des versions d'un modèle. Nous avons modifié la dimension du diamètre de 2mm à 2.1mm. C'est un changement qui se décèle difficilement à l'œil nu par un ingénieur travaillant sur de tels modèles CAO.

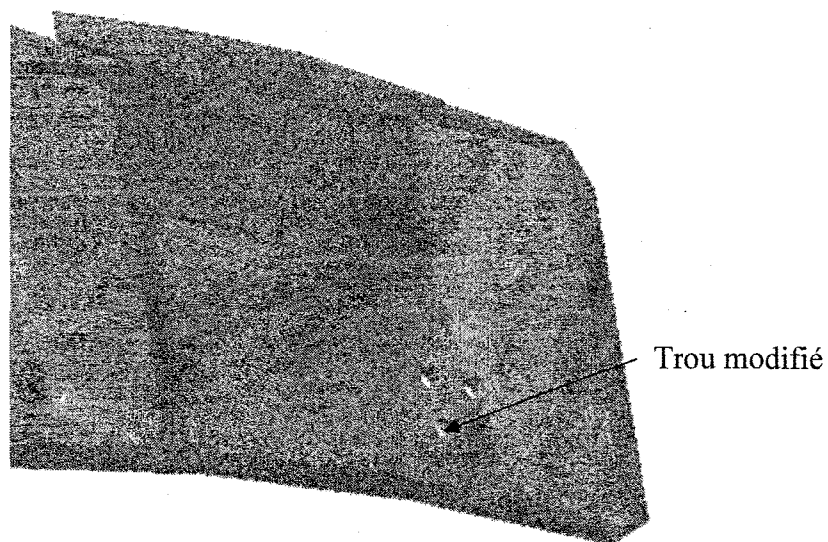


Figure 28 Modification du diamètre d'un trou

- Modification de la position d'un trou : nous allons modifier la position d'un trou dans le modèle en y appliquant une translation de 2.5mm selon l'axe local vertical du centre de ce trou (figure 29). La position de ce trou est considérée comme un paramètre de sa caractéristique.

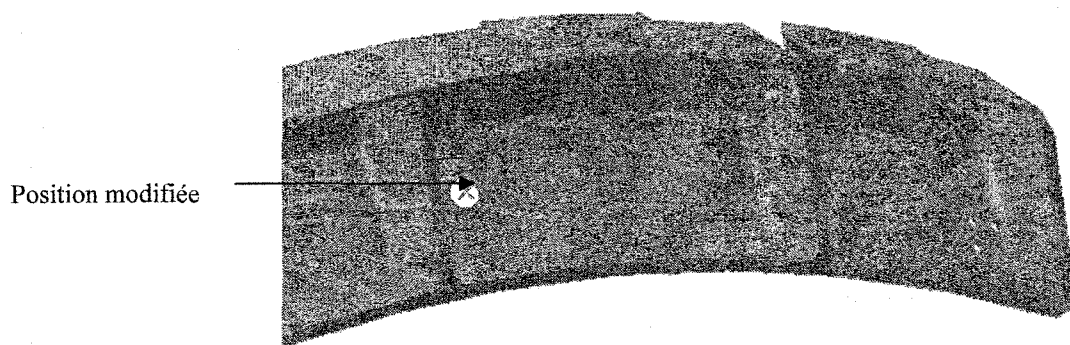


Figure 29 Modification de la position d'un trou

- Modification d'une poche : une des poches de ce modèle a une esquisse, et cette esquisse représente sa forme. Nous allons modifier un paramètre de cette esquisse, pour changer la forme de cette poche. La figure 30 représente l'esquisse de cette poche et l'élément modifié de 13.991 mm à 17.78mm.

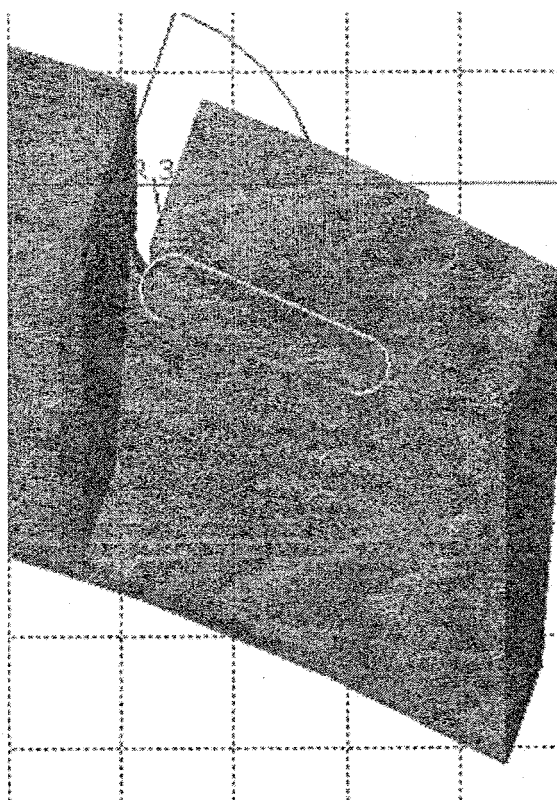


Figure 30 Modification d'une esquisse

- Modification d'un chanfrein : cette modification a été effectuée sur les paramètres d'un chanfrein du modèle. Le chanfrein modifié est représenté par deux paramètres : la longueur et l'angle. Les modifications ont été effectuées sur ces deux paramètres. Nous avons fait passer la longueur de 2mm à 2.5mm, puis l'angle de 40° à 43°. La figure 31 représente la localisation des chanfreins modifiés.

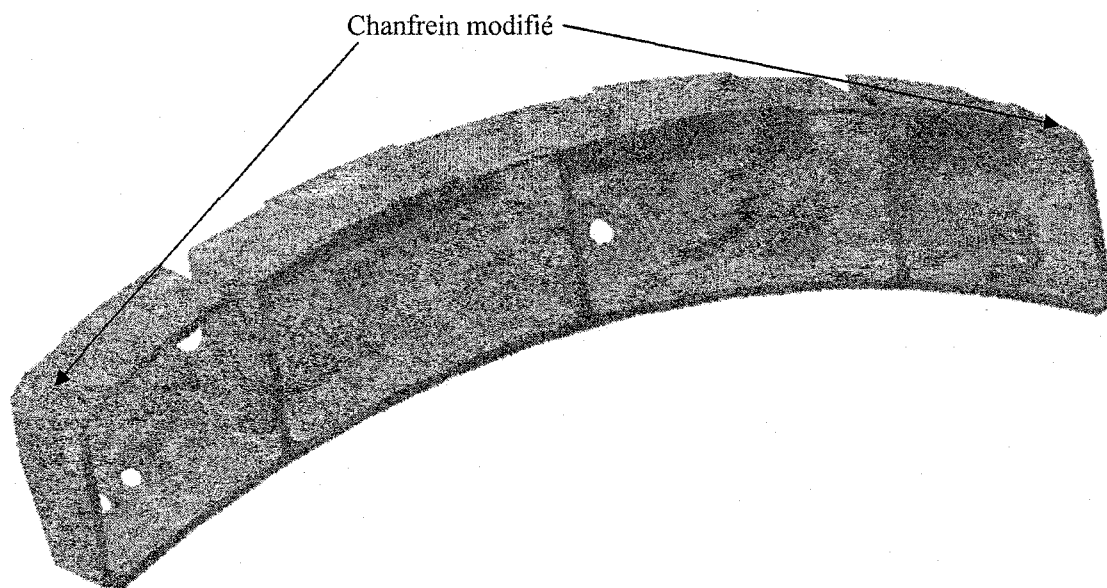


Figure 31 Modification d'un chanfrein

- Modification d'une surface : la partie arrière du modèle est contrôlée par une surface guidée avec deux esquisses, et l'intersection avec le modèle solide est réalisée par une surface parallèle à la première surface guidée (translation d'une surface). La modification dans ce cas a été effectuée sur la translation de cette surface. Nous avons changé la valeur du décalage entre les deux surfaces de 2mm à 2.2mm, (voir la figure 32).

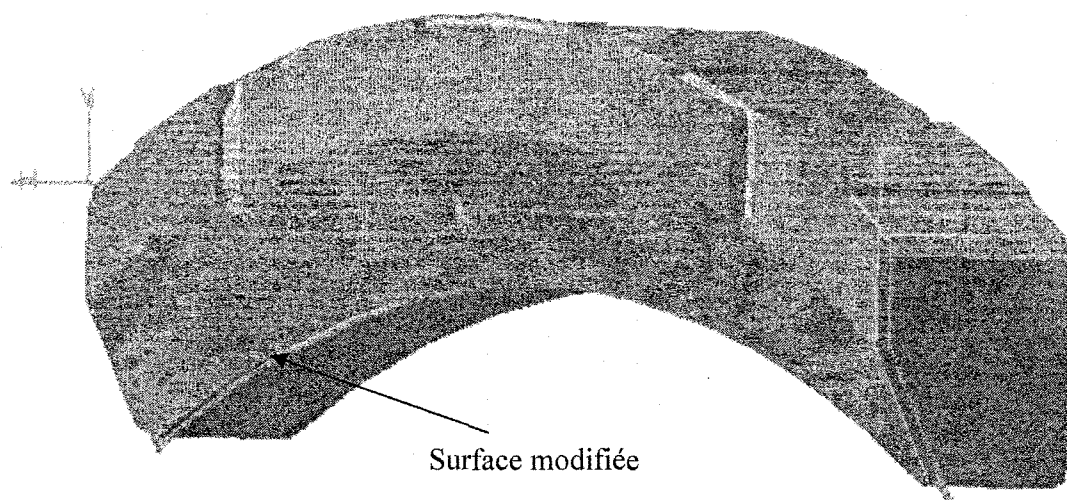


Figure 32 Modification d'une surface

- Modification d'un prisme : le modèle est basé sur un prisme principal, c'est le premier prisme créé dans ce modèle avec une extrusion de 30mm. Nous avons changé cette extrusion à 30.5mm, et le résultat donne un modèle un peu plus profond (figure 33).

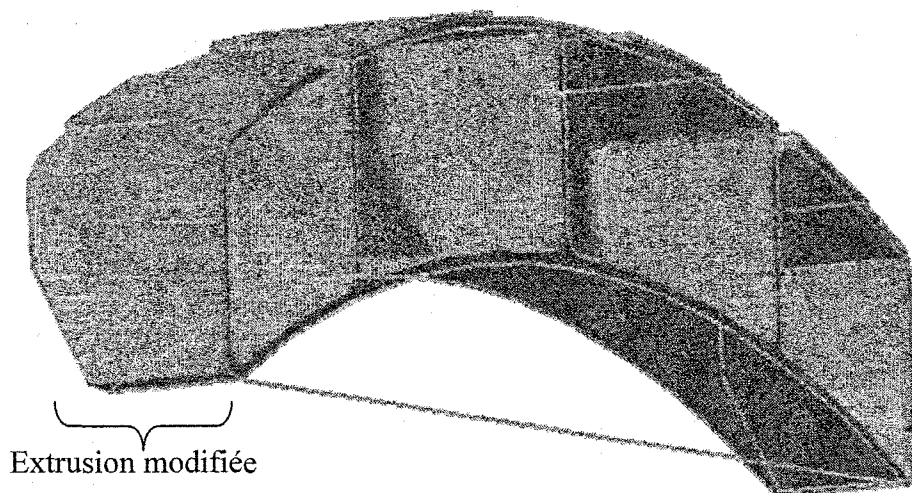


Figure 33 Modification d'un prisme

- Modification d'un congé : à l'intérieur de la poche indiquée à la figure 34, il y a des congés avec un diamètre de 2mm, nous avons changé ce diamètre à 1.9mm, c'est un changement très difficile à détecter par l'œil nu (figure 34).

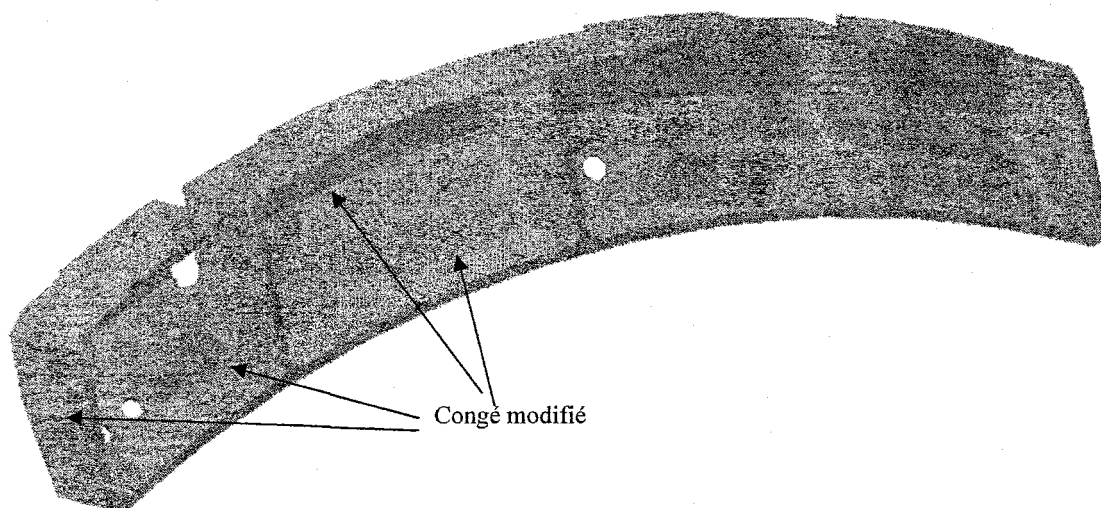


Figure 34 Modification d'un congé

Huit modifications ont été donc apportées à ce modèle pour en créer la version B, (la modification du chanfrein inclut deux modifications, la longueur et l'angle). Dans cette démonstration, le type de modification est diversifié, incluant des modifications solides, des modifications 2D et des modifications surfaciques. Celles-ci nous aident à valider et vérifier les performances du comparateur. Nous allons tester notre comparateur, pour avoir le résultat de la comparaison dans un fichier texte, et le résultat des couleurs aux fichiers (*CATPart*).

Les deux versions du modèle à comparer (figure 35) se trouvent dans un répertoire nommé (*Comparateur*). Le résultat de la comparaison sous format texte sera créé dans un fichier placé dans le même répertoire.

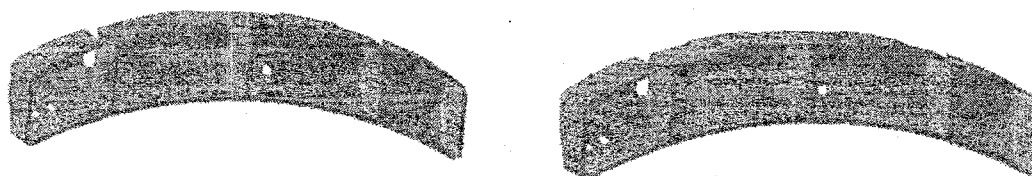


Figure 35 Deux versions d'un même modèle à comparer

Au résultat de comparaison dans le fichier texte (figure 36), nous remarquons dix modifications, les huit modifications que nous avons faites, et deux modifications dues à la modification du prisme. En effet, les profondeurs des trous ont été changées avec l'extrusion du prisme.

Les couleurs rouges sur le fichier (*CATPart*) représentent les endroits modifiés. En effet, le comparateur sélectionne chaque caractéristique modifiée, puis il lui attribue la couleur rouge (figure 36).

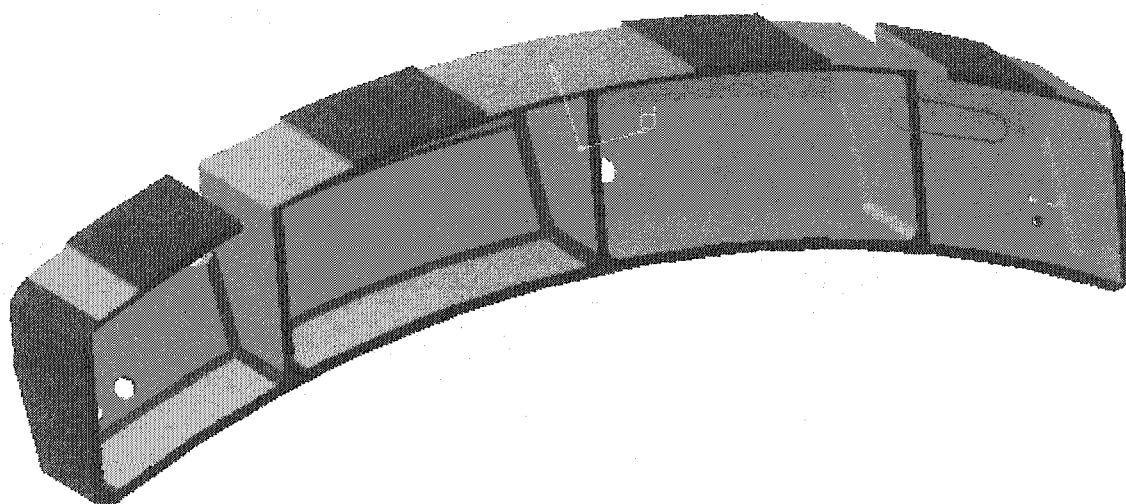
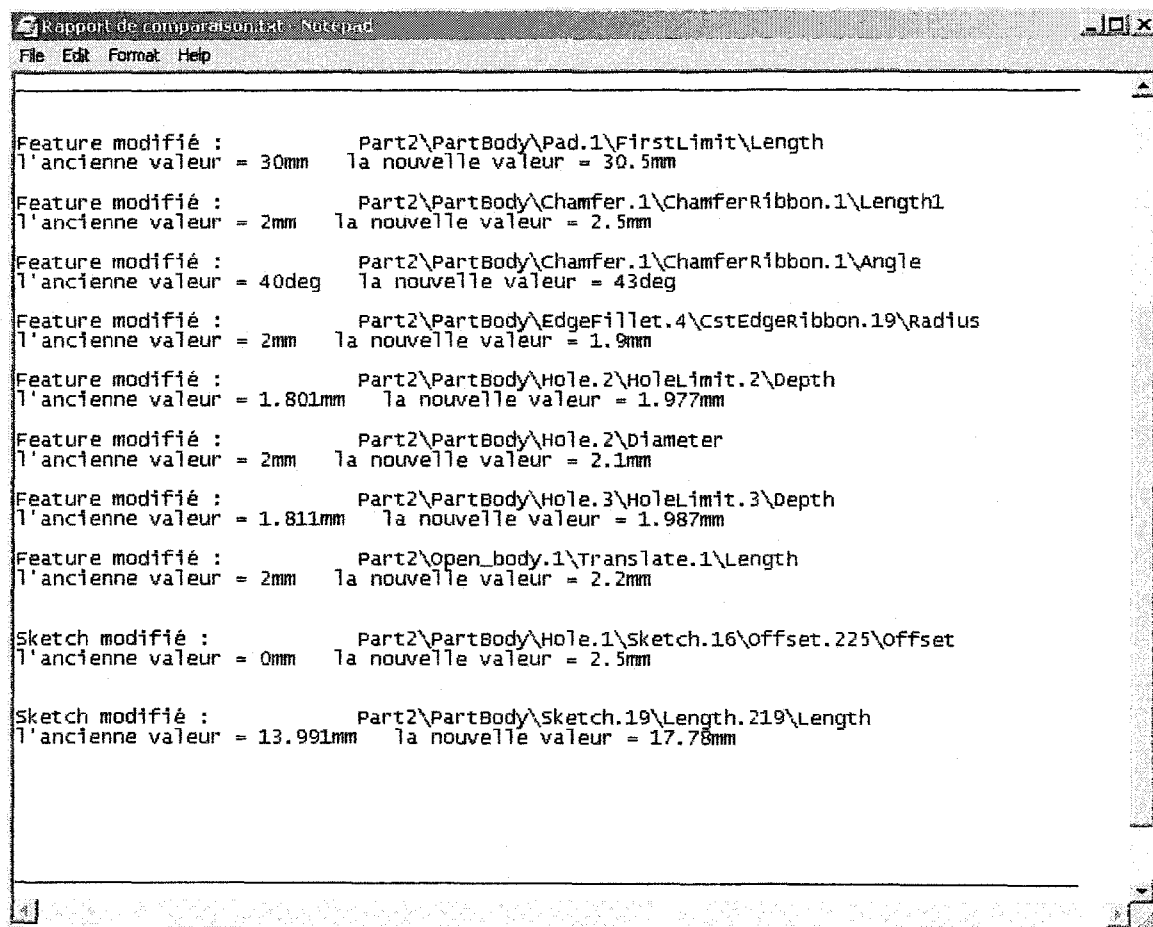


Figure 36 Le résultat de la comparaison des caractéristiques modifiées

5.3 Ajout des caractéristiques

L'essai no 2 réalisé à l'aide du même modèle consiste en l'ajout de caractéristiques. Le modèle initial s'appelle la version A. Le résultat après la modification s'appellera la version B. Nous allons ajouter quatre caractéristiques et décrire chacun de ces ajouts :

- Ajout d'un trou : le modèle étudié compte quatre poches. Un mur se trouve entre chaque paire de poches. Sur le mur situé entre la première et la deuxième poche, nous allons ajouter un trou. La distance entre le centre du trou et le mur arrière de ce modèle est de 20mm. Le trou créé est simple avec un diamètre de 4mm. Ce trou a une profondeur de 2mm (l'épaisseur du mur). La figure 37 présente les définitions de ce trou, alors que la figure 38 représente le modèle après avoir créé le trou sur le mur.

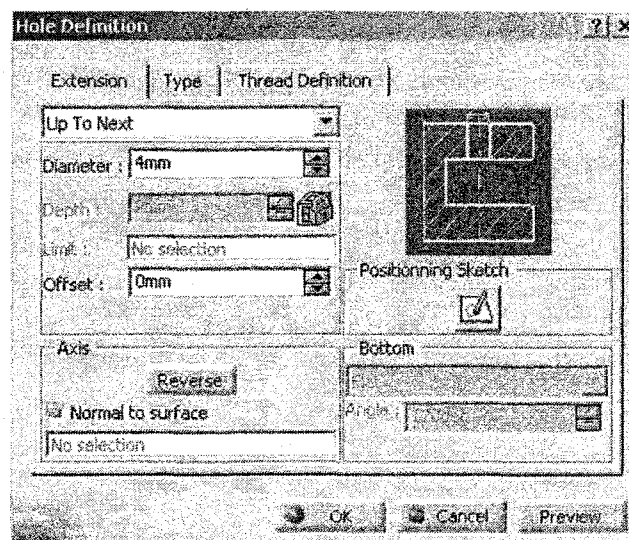
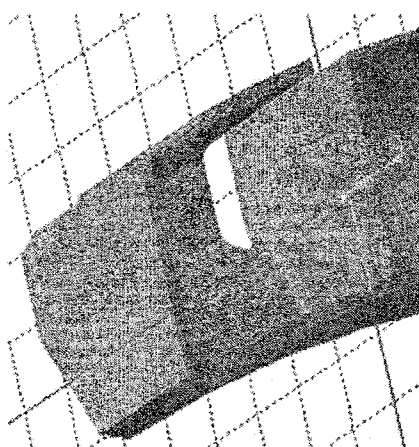


Figure 37 Définition d'un trou ajouté

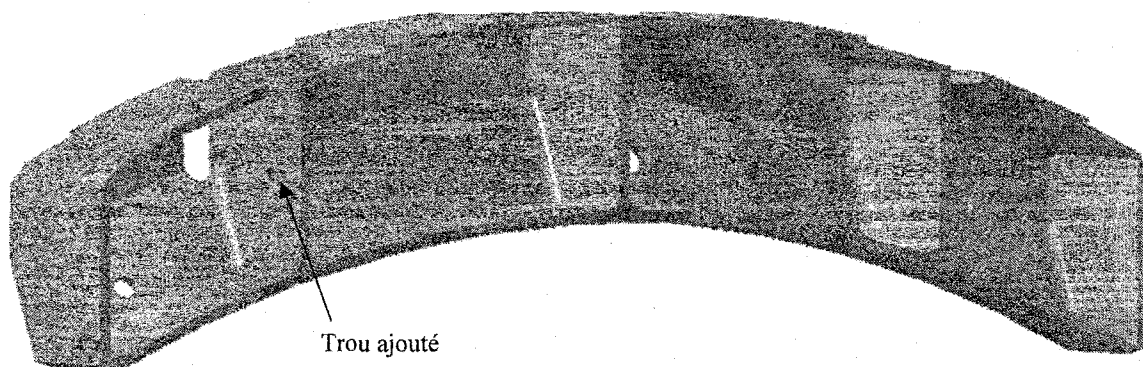


Figure 38 Ajout d'un trou

- Ajout d'un arrondi : sur les arêtes extérieures autour des deux poches situées au milieu, nous allons créer un seul arrondi avec le rayon de 0.5mm (figure 39)

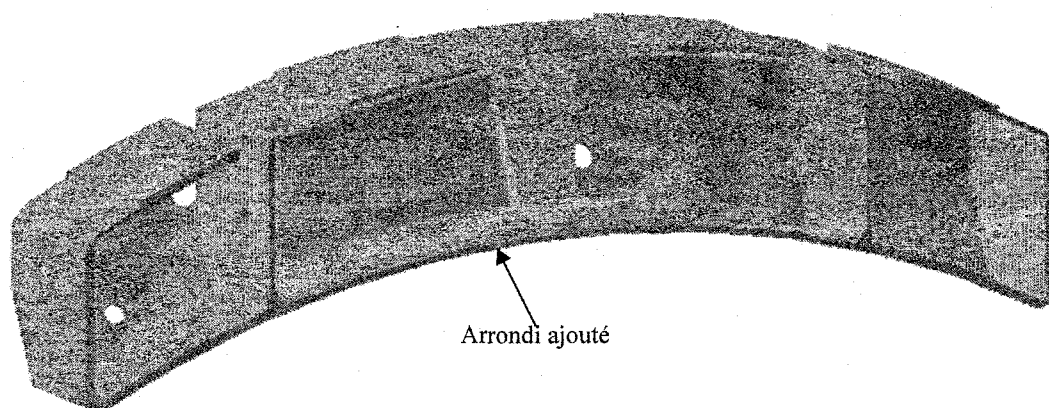


Figure 39 Ajout d'un arrondi

- Ajout d'un chanfrein : sur les arêtes au bout du modèle, nous allons appliquer un seul chanfrein. Ce chanfrein a les définitions suivantes (figure 40) : une longueur de 1mm, et un angle de 45°. La figure 41 représente le modèle après l'application de ce chanfrein.

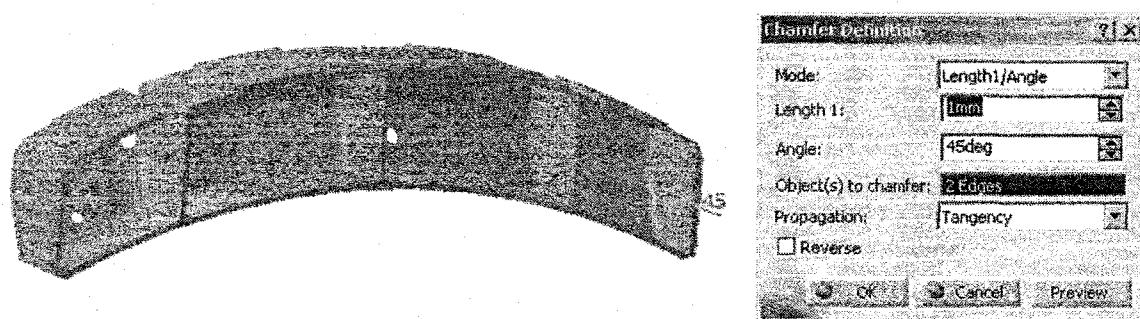


Figure 40 Les définitions d'un chanfrein ajouté

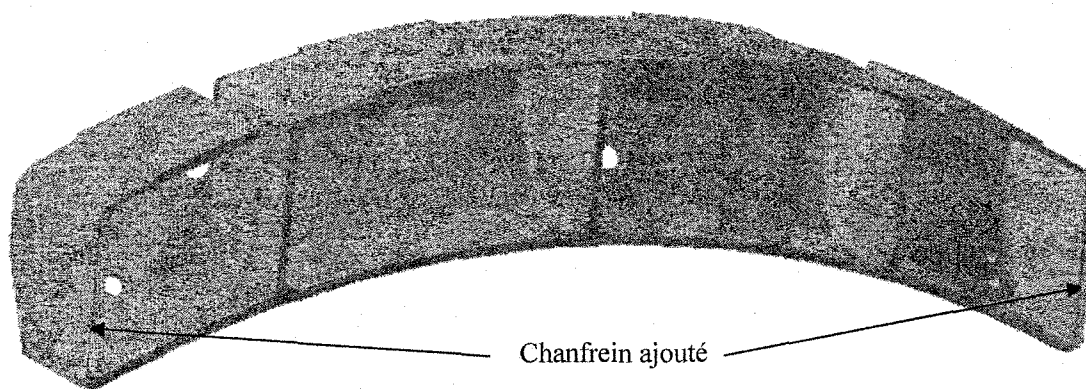


Figure 41 Ajout d'un chanfrein

- Ajout d'un élément 2D à l'esquisse : à l'esquisse de la poche définie à la figure 42, nous allons ajouter un élément 2D, cet élément est un cercle avec un diamètre de 3.5mm. Le résultat obtenu après cet ajout est défini à la figure 43.

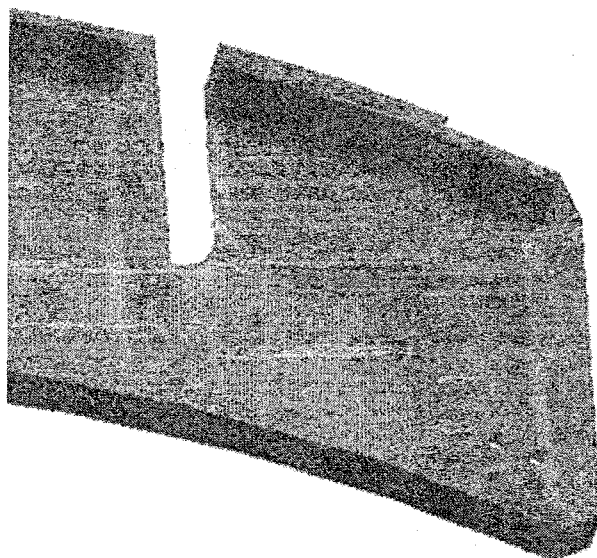


Figure 42 La poche du modèle avant la modification

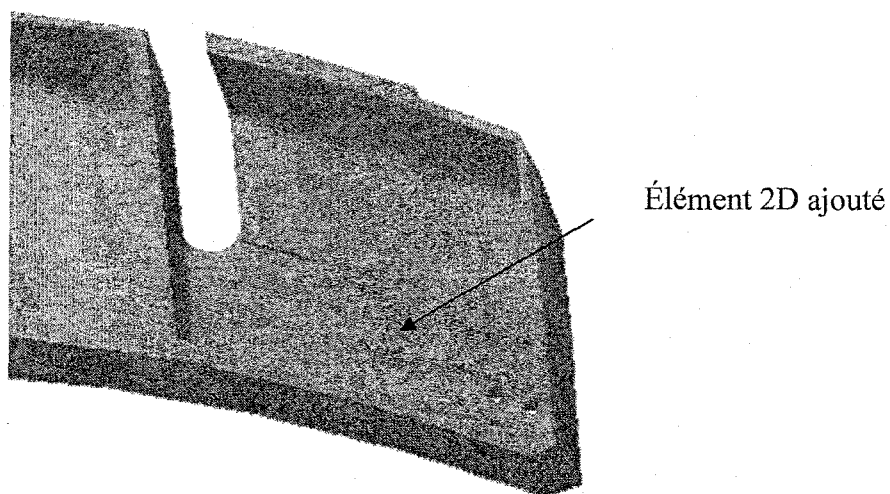


Figure 43 Ajout d'un élément à l'esquisse de la poche

En exécutant le comparateur, nous obtiendrons le résultat de la comparaison. Sur le fichier *CATPart* (voir figure 44), nous remarquons les couleurs vertes qui représentent les caractéristiques ajoutées. La caractéristique colorée en rouge représente l'esquisse

modifiée. Le comparateur considère cette modification comme une caractéristique modifiée, parce que nous n'avons ni ajouté une poche ni ajouté une esquisse, nous avons seulement modifié la poche en ajoutant un élément à son esquisse. Alors, le comparateur a compris cette modification comme une esquisse modifiée en ajoutant un élément, comme il est défini au rapport de comparaison à la figure 45.

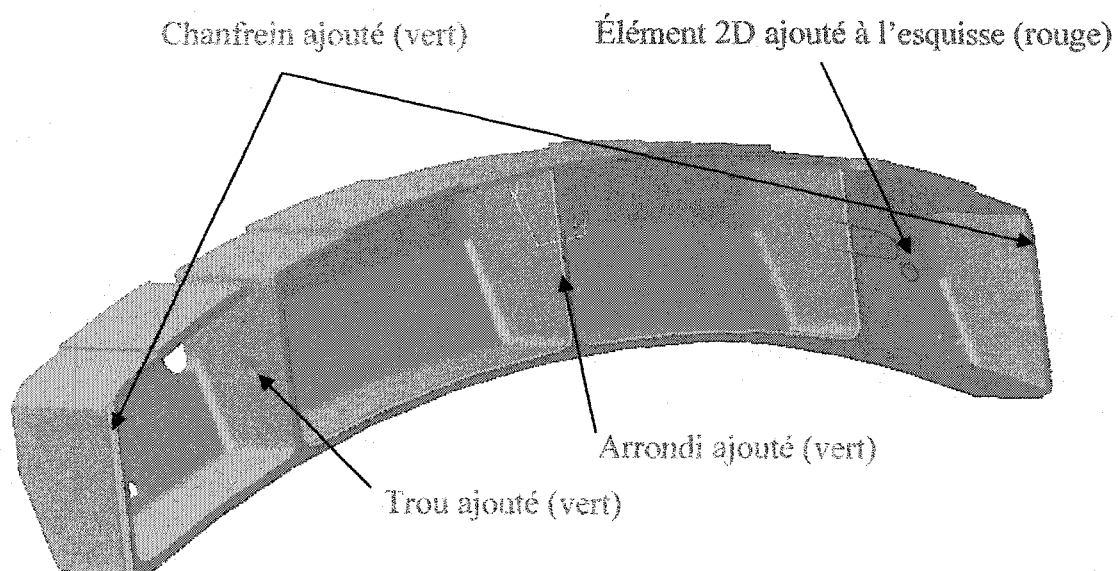


Figure 44 Le résultat de la comparaison des caractéristiques ajoutées

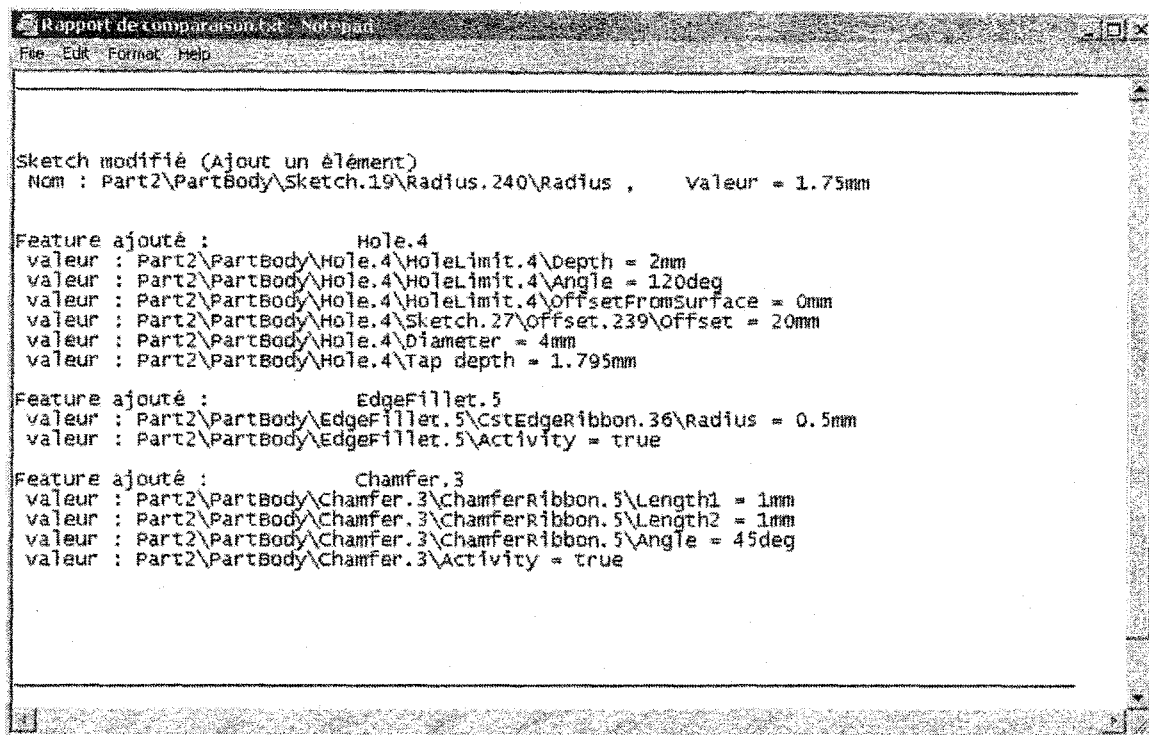


Figure 45 Le rapport de comparaison des caractéristiques ajoutées

5.4 Suppression des caractéristiques

L'essai no 3, appliquée au même modèle, a été réalisé pour détecter les caractéristiques supprimées. Le modèle initial est la version A, et le résultat après la modification sera la version B. Nous allons supprimer quatre caractéristiques, tel que décrit ci-dessous :

- Suppression d'un trou : le modèle étudié compte six trous dont deux dans la première poche à gauche. Nous allons supprimer un trou de cette poche comme défini à la figure 46.

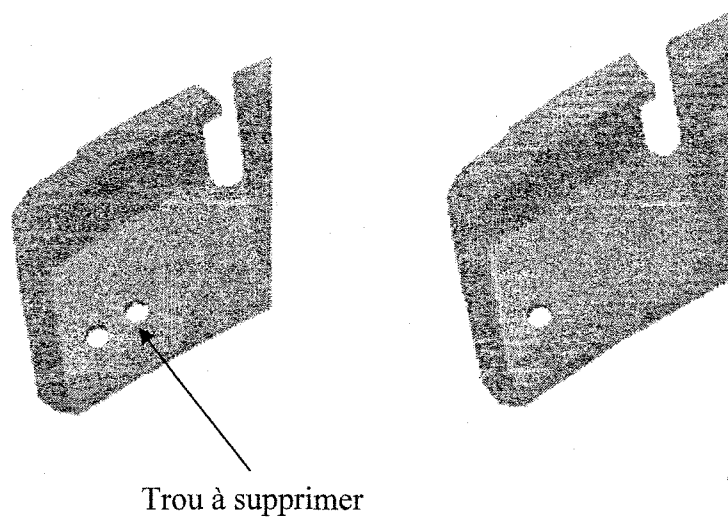


Figure 46 Suppression d'un trou

- Suppression d'un arrondi : sur les arêtes intérieures autour des deux dernières poches, nous allons supprimer les arrondis. (figure 47)

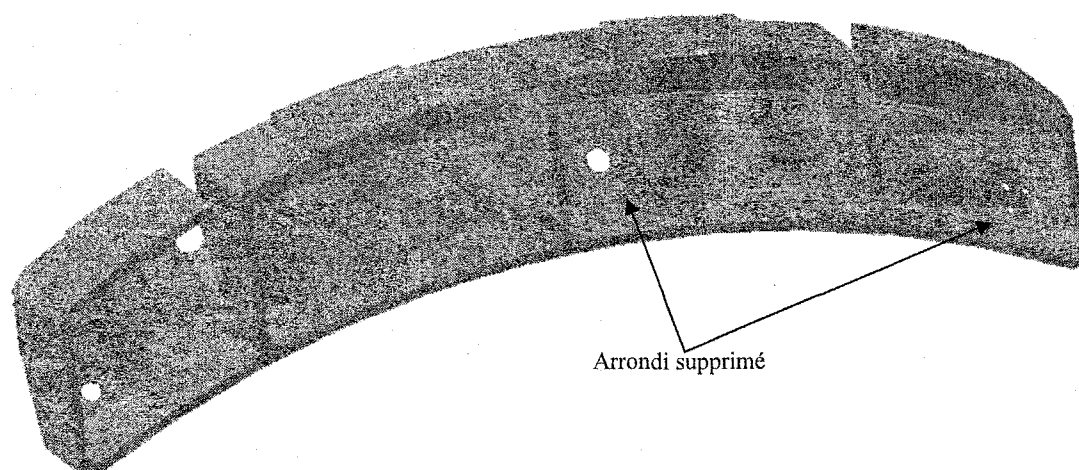


Figure 47 Suppression d'un arrondi

- Suppression d'un chanfrein : la figure 48 représente l'endroit du chanfrein supprimé.

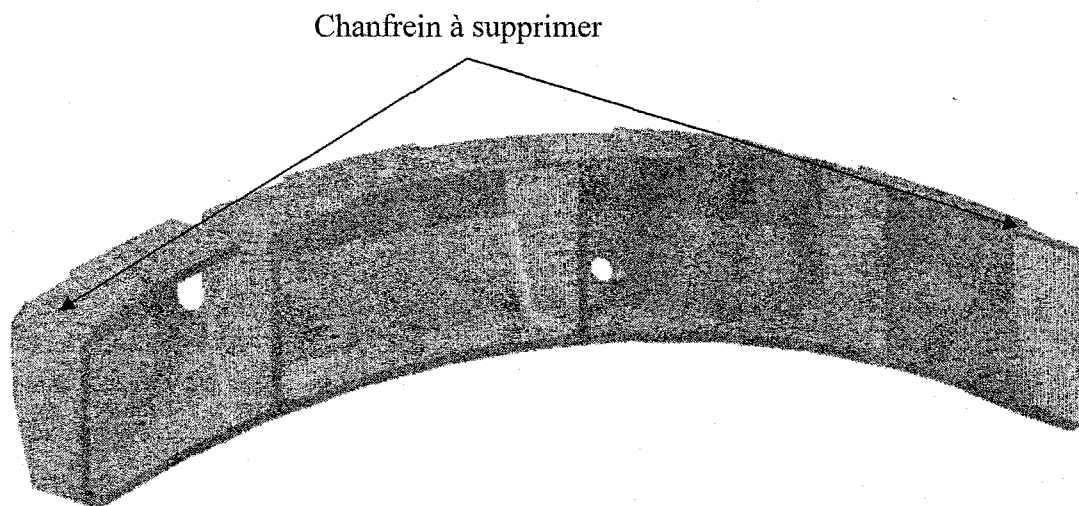


Figure 48 Suppression d'un chanfrein

- Suppression d'un prisme : le modèle (figure 49) présente deux découpes. La première découpe (à gauche) est réalisée par l'extrusion de l'esquisse 6 (*Sketch6*), et la deuxième découpe (à droite) est un miroir de la première. Nous allons supprimer le miroir de la première découpe.

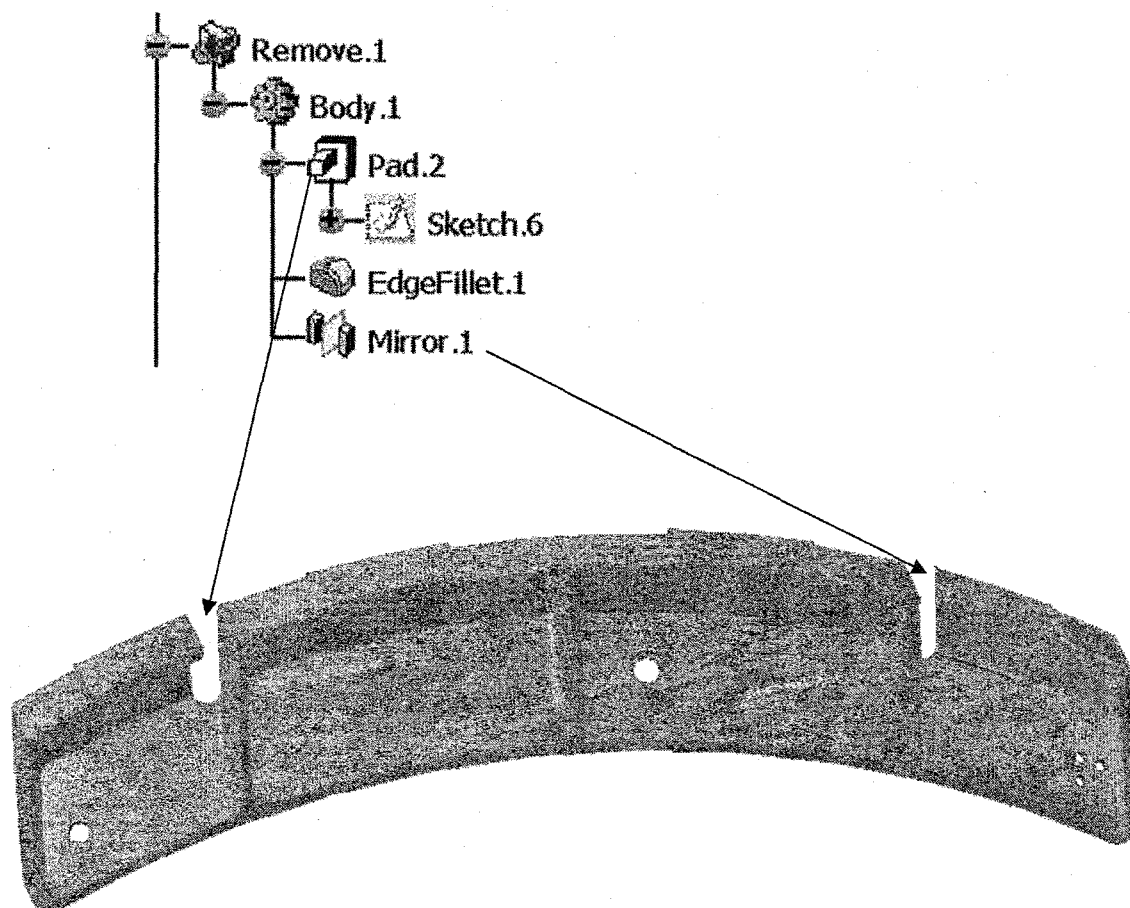


Figure 49 Suppression d'une découpe

- Suppression d'un élément 2D d'une esquisse : toujours sur le même modèle, et à la dernière poche, les deux trous en haut sont réalisées par une opération de type poche, c'est-à-dire qu'il y a deux cercles dans l'esquisse de cette poche (figure 50). Nous allons supprimer un de ces deux cercles. Le résultat de ce modèle après cette modification est montré à la figure 51.

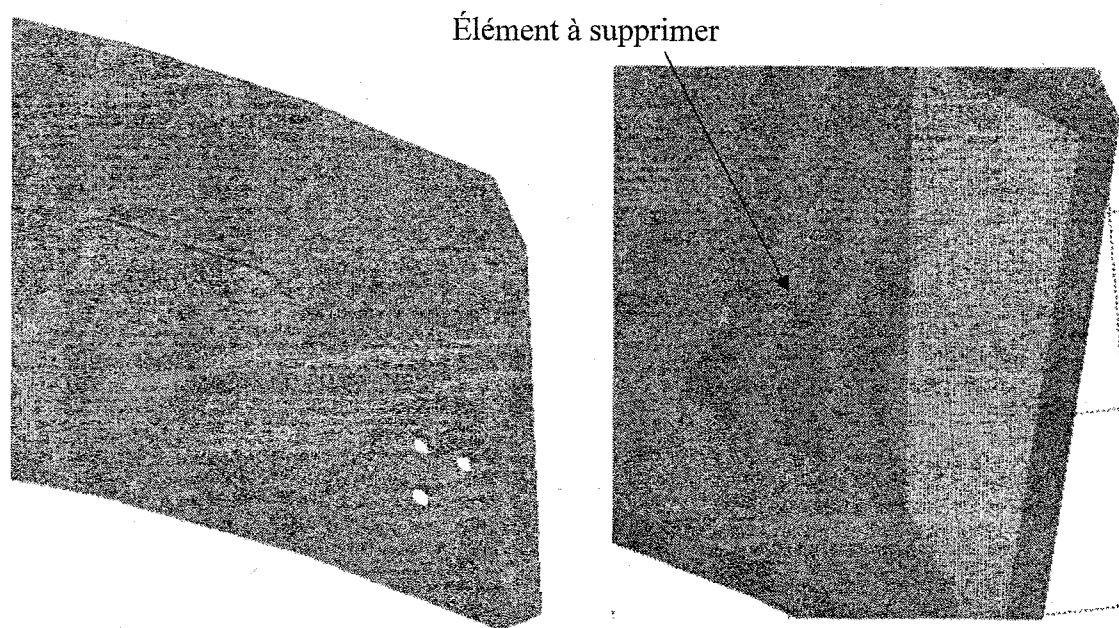


Figure 50 La poche avant la modification

La suppression d'un élément d'une esquisse implique la suppression de tous les éléments lui étant associés. Par exemple, si nous supprimons le cercle de cette esquisse, toutes les informations associées à ce cercle seront supprimées (le diamètre, la distance entre ce cercle et le mur droit, la distance entre le cercle et le bas du mur, et la distance entre les deux cercles).

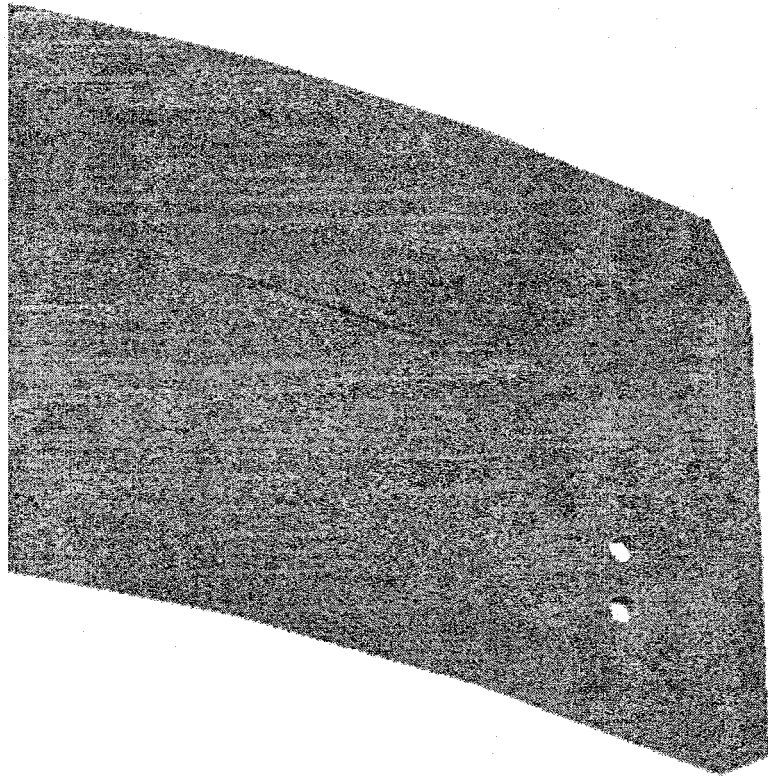


Figure 51 Suppression d'un élément de l'esquisse de la poche

Au résultat de comparaison sur le fichier (*CATPart*) (voir figure 52), nous remarquons les couleurs bleues qui représentent les caractéristiques supprimées. La caractéristique colorée en rouge représente l'esquisse modifiée, le comparateur considère cette modification comme une caractéristique modifiée, parce que nous n'avons supprimé ni une poche ni une esquisse, nous avons simplement modifié la poche en supprimant un élément de son esquisse. Le comparateur considère donc cette modification comme une esquisse modifiée et non une suppression de caractéristique, comme il est défini dans le rapport de comparaison à la figure 52.

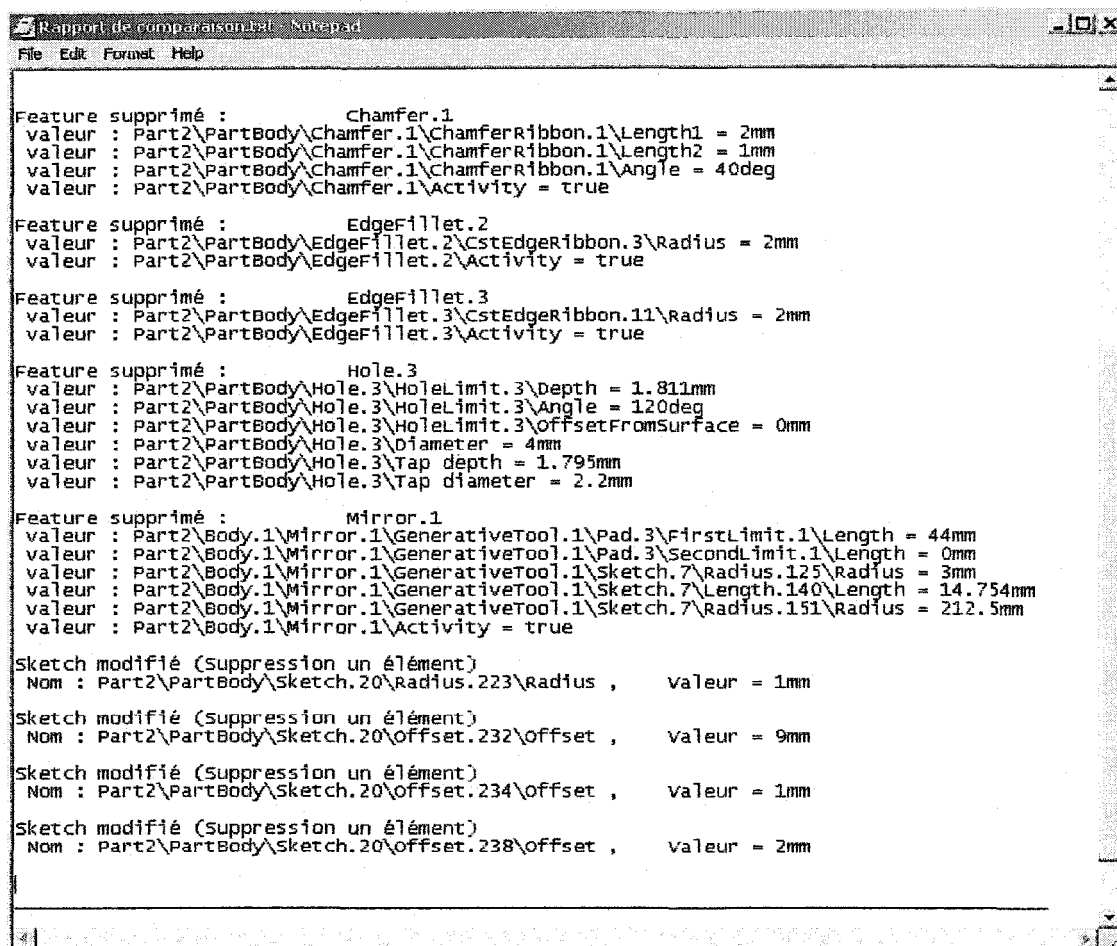
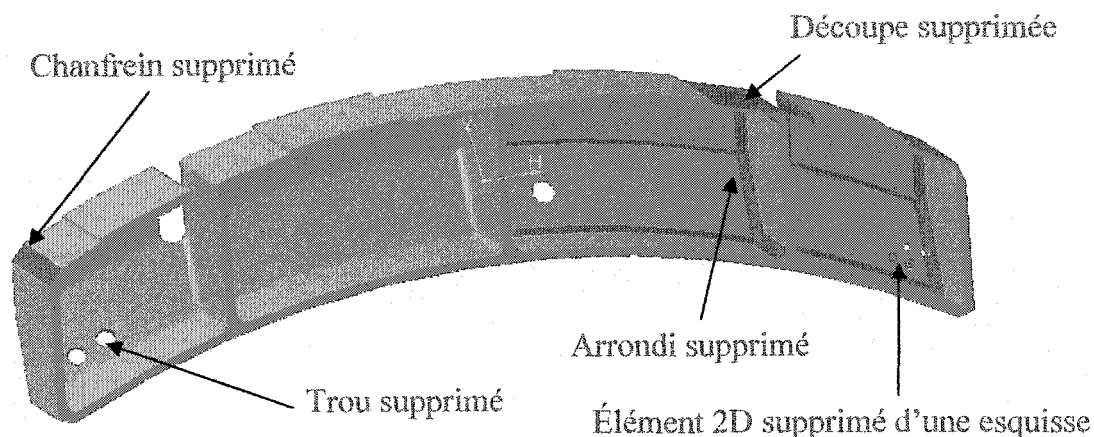


Figure 52 Le résultat de la comparaison des caractéristiques supprimées

5.5 Déplacement des caractéristiques dans l'arbre de modélisation

Pour bien comprendre l'effet du déplacement des caractéristiques dans l'arbre de modélisation des solides, nous allons présenter un exemple simple. Supposons que nous avons un solide constitué d'une extrusion et de quatre trous. Un arrondi a été appliqué sur la facette supérieure de ce solide (figure 53). Nous remarquons que les arêtes des trous ont été affectées par cet arrondi. L'arbre de modélisation montre que l'arrondi a été fait après les trous.

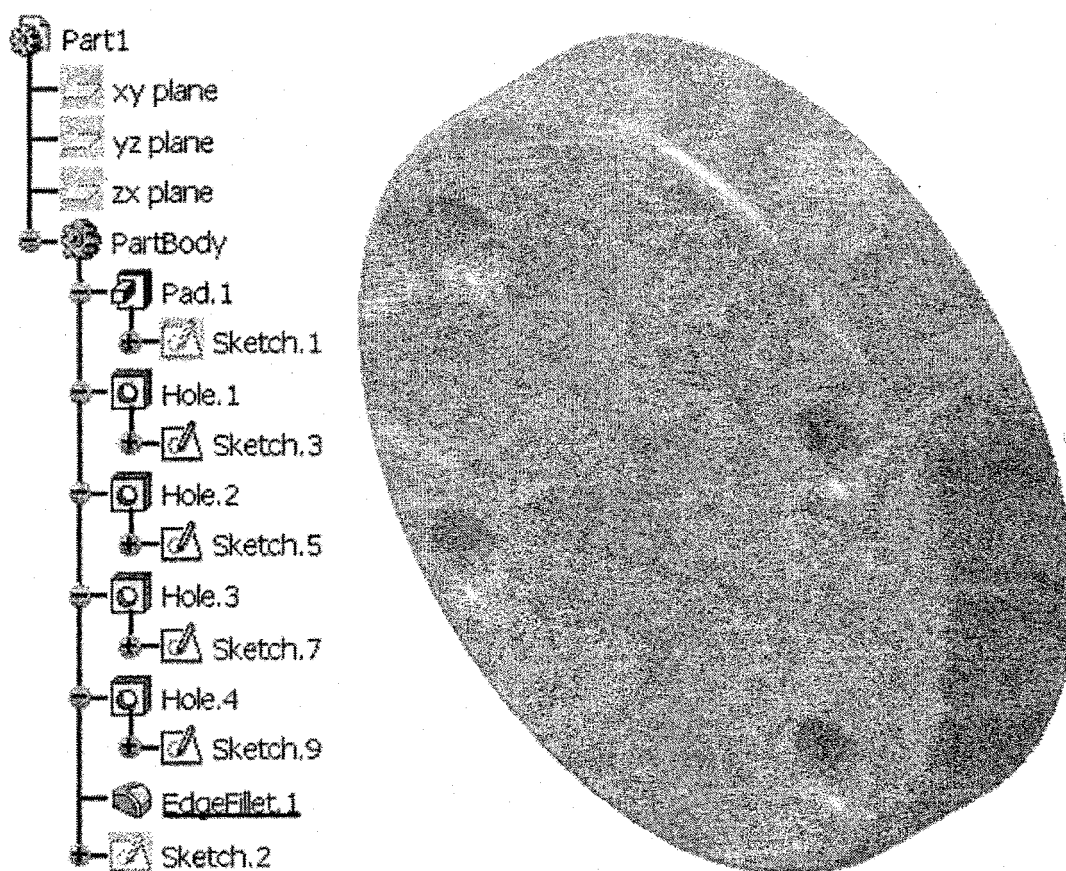


Figure 53 Solide constitué d'un prisme et de quatre trous avant un arrondi

Si nous déplaçons, par exemple, un trou jusqu'à la fin de l'arbre, après l'arrondi, nous remarquons que l'effet de cet arrondi sur l'arête du trou déplacé est annulé (voir figure 54). Dans ce cas, nous n'avons rien changé aux paramètres de ce solide, c'est-à-dire que toutes les valeurs de chaque caractéristique sont les mêmes entre les deux modèles, mais nous avons tout de même deux solides différents.

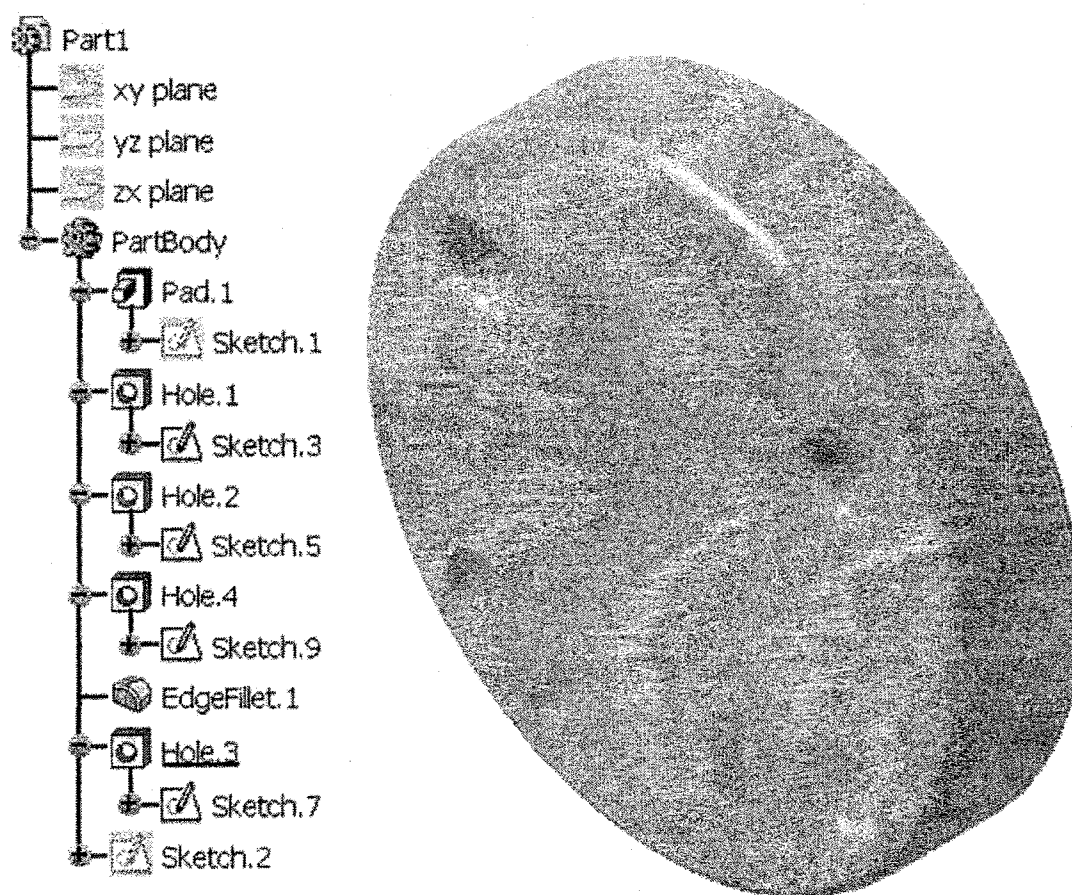


Figure 54 Solide constitué d'un prisme et de trois trous avant un arrondi

La conclusion de cet exemple est que l'ordre des caractéristiques dans l'arbre de modélisation est très important, et si cet ordre est changé, le solide pourra être différent.

Le comparateur détecte ce type de changement, et attribue la couleur noire pour la première possibilité (caractéristiques déplacées vers le bas), et la couleur rose pour la deuxième possibilité (caractéristiques déplacées vers le haut). La figure 55 représente le résultat de la comparaison entre les deux modèles précédents.

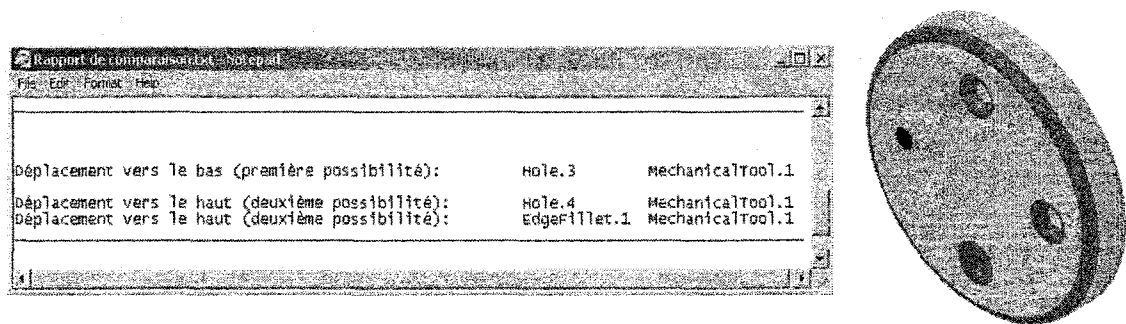


Figure 55 Le résultat de la comparaison des caractéristiques déplacées

Maintenant, nous allons appliquer ce genre de modification au modèle de la pièce aéronautique. Nous allons déplacer la caractéristique chanfrein2 dans le corps principal (qui est entre la caractéristique arrondi2 et la caractéristique chanfrein1) et nous allons la déplacer après la caractéristique trou2 (voir figure 56).

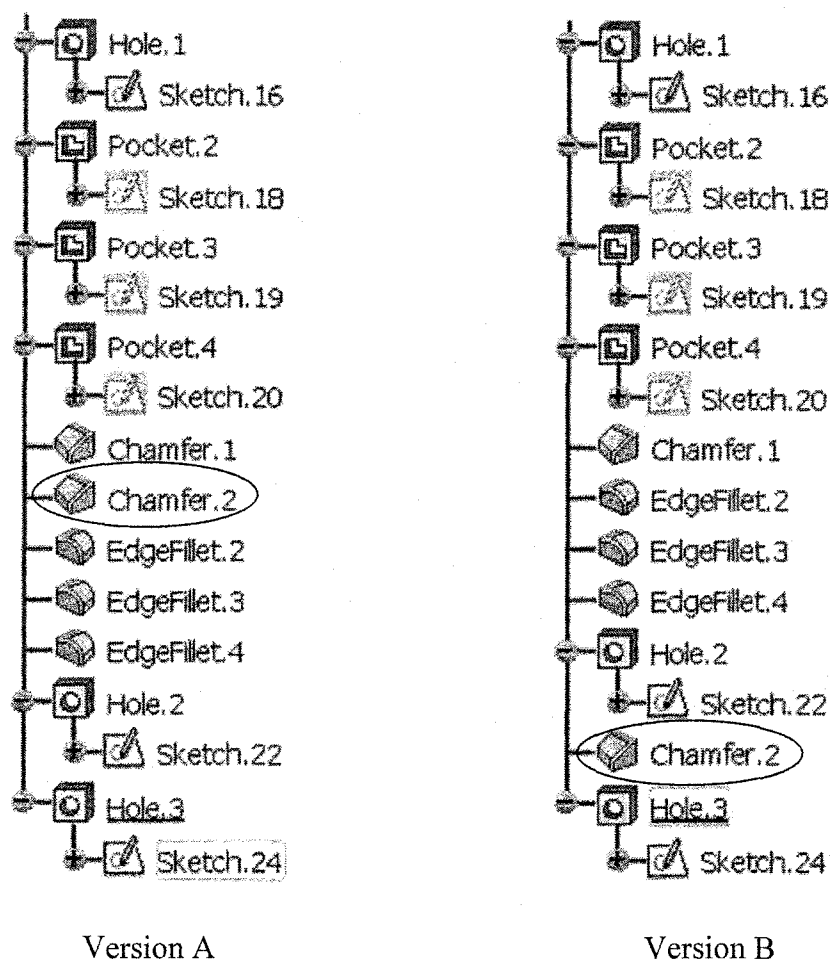
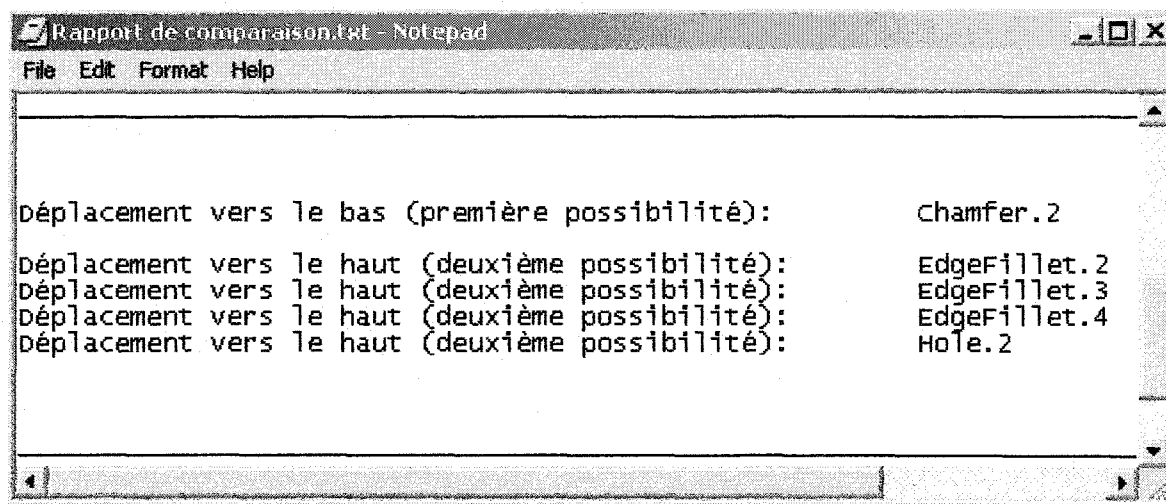


Figure 56 Déplacement d'une caractéristique dans l'arbre de modélisation

La figure 57 représente le résultat de comparaison des deux modèles précédents. Il y a deux possibilités de déplacement des caractéristiques de l'arbre de modélisation de la version A pour obtenir l'arbre de modélisation de la version B. La première possibilité est de déplacer la caractéristique chanfrein2 vers le bas (après la caractéristique trou2, comme nous l'avons fait). La deuxième possibilité, qui donne le même arbre de modélisation, est de déplacer les caractéristiques arrondi2, arrondi3, arrondi4 et trou2 vers le haut (après la caractéristique chanfrein1).



Caractéristiques déplacées vers le haut (deuxième possibilité, rose)

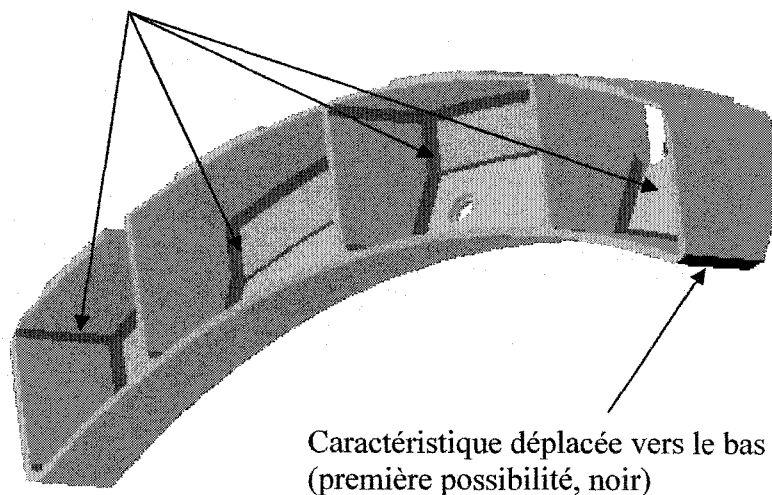


Figure 57 Le résultat de la comparaison des caractéristiques déplacées dans l'arbre de modélisation de la pièce aéronautique 1

5.6 Cas général

La figure 58 représente un modèle d'une autre pièce aéronautique. Nous allons appliquer aux caractéristiques de ce modèle des modifications, des ajouts, des suppressions et un changement d'ordre dans l'arbre de modélisation. Ce modèle représente la version (A) avant les modifications.

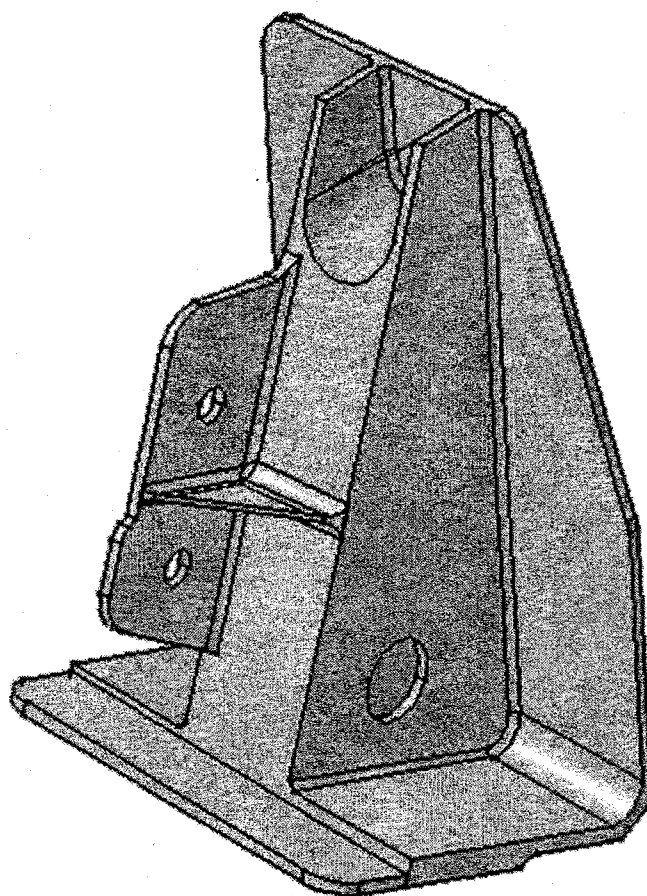


Figure 58 Une pièce aéronautique (2) modélisée avec le logiciel CATIA V5

Nous allons effectuer sept modifications sur ce modèle pour créer sa version B. Nous allons décrire chacune de ces modifications.

La version (A) de ce modèle subit les modifications suivantes :

1. Modifier le diamètre d'un trou.
2. Modifier la position du centre d'un trou.
3. Modifier le rayon d'un arrondi.
4. Modifier une esquisse (*Sketch*) d'une poche.
5. Ajouter un trou.
6. Supprimer un arrondi.
7. Déplacer une caractéristique dans l'arbre de modélisation.

Le modèle obtenu après ces modifications est sauvegardé sous la version (B), figure 59.

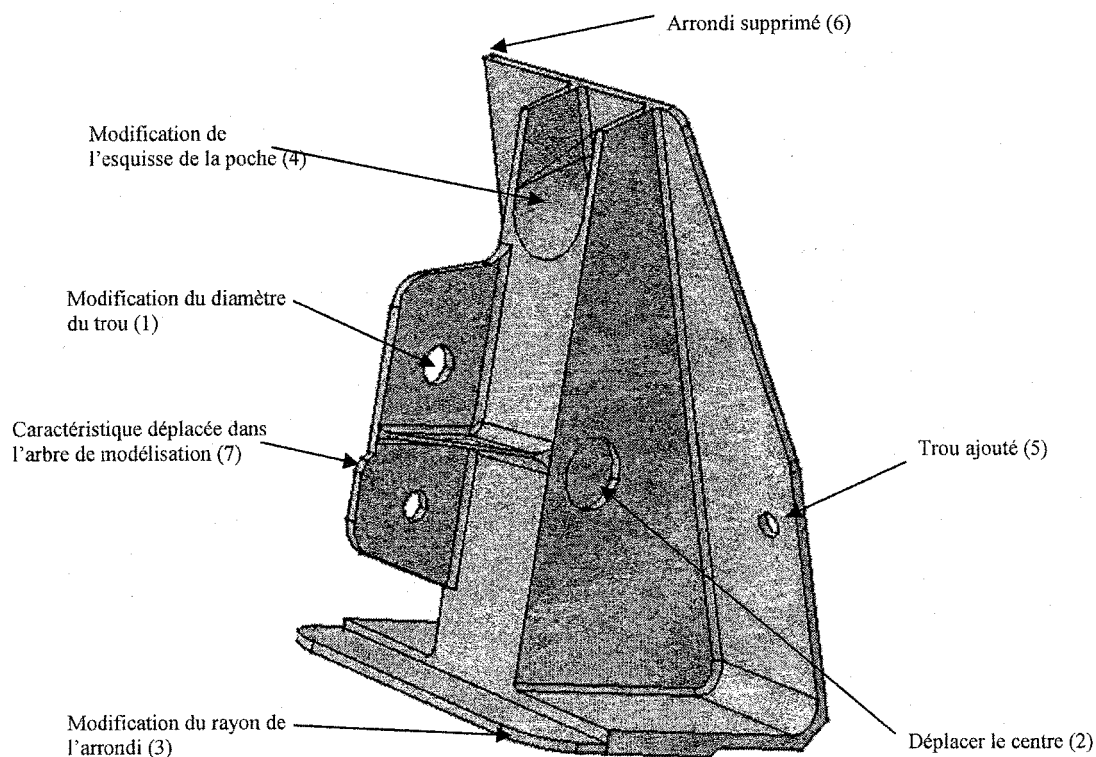


Figure 59 La version (B) de la pièce aéronautique (2)

Dans ce cas, nous aurons deux fichiers (*CATPart*) colorés comme suit :

- Sur la version (A) : les couleurs bleues représentent les caractéristiques supprimées.
- Sur la version (B) : les couleurs rouge représentent les caractéristiques modifiées, les couleurs vertes représentent les caractéristiques ajoutées, les couleurs noires représentent les caractéristiques déplacées vers le bas dans l'arbre de modélisation, et les couleurs rose représentent les caractéristiques déplacées vers le haut dans l'arbre de modélisation.

Les valeurs de modification sont présentées dans le fichier texte (Rapport de comparaison). La figure 60 représente le résultat coloré sur les fichiers (*CATPart*). Le résultat dans le fichier texte (Rapport de comparaison) est présenté à la figure 61.

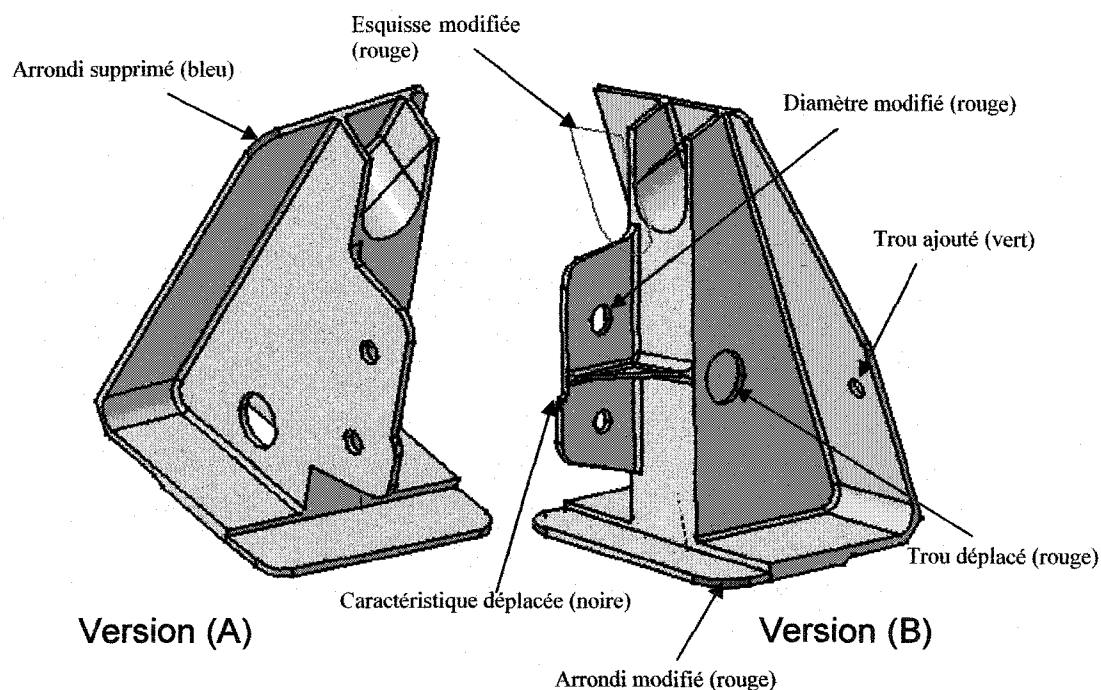


Figure 60 Le résultat graphique de comparaison des deux versions de la pièce aéronautique (2)

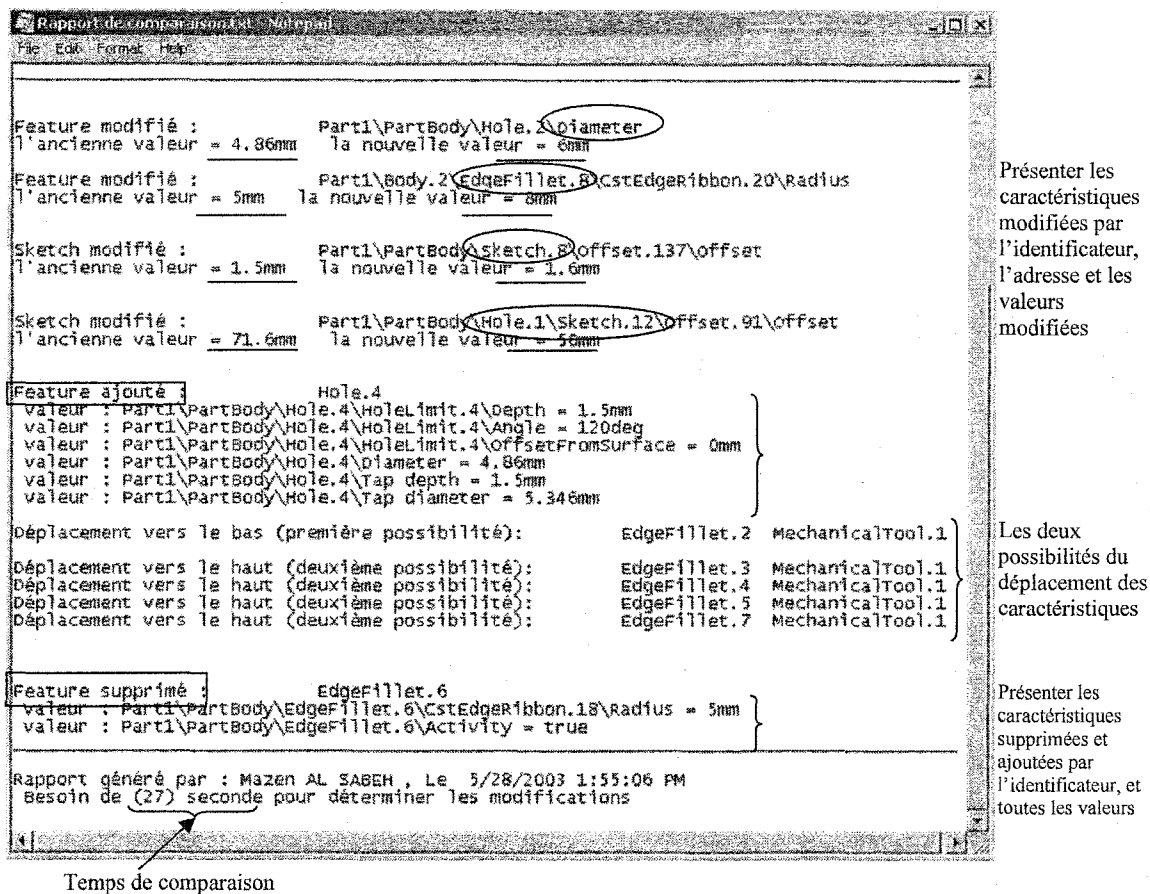


Figure 61 Le rapport de la comparaison des deux versions de la pièce aéronautique (2)

5.7 Modifications supplémentaires

Notre algorithme est capable d'analyser n'importe quelle caractéristique et ses valeurs dans l'arbre de modélisation pour comparer des modèles. Ainsi, il est capable de lire la caractéristique du matériau, parce que cette caractéristique existe dans l'arbre de modélisation. De plus, notre comparateur étant basé sur les identificateurs des caractéristiques, il peut lire le nom d'une caractéristique et il est capable de détecter le changement effectué sur le nom d'une caractéristique. Les essais suivants représentent les modifications effectuées sur les matériaux des modèles et les modifications effectuées sur les noms des caractéristiques.

5.7.1 Changement de matériau

Le logiciel CATIA V5 accepte d'appliquer un seul matériau pour chaque corps fermé. S'il existe plusieurs corps fermés dans un modèle solide, nous pouvons attribuer un matériau à chacun de ces corps. La caractéristique de type 'matériau' appliquée à un corps fermé se trouve à la fin de l'arbre de modélisation de ce corps. Ainsi, même si nous ajoutons une caractéristique à ce corps, elle sera placée avant l'application de matériau (figure 62).

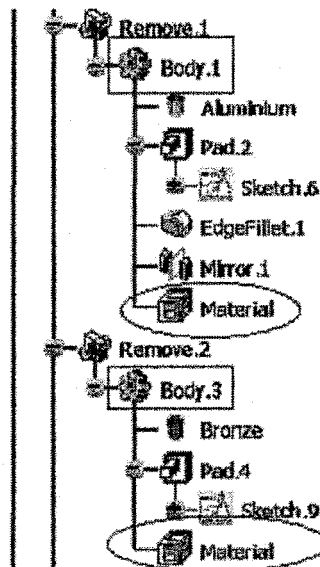


Figure 62 Les caractéristiques de matériaux dans l'arbre de modélisation

Maintenant, si nous changeons le matériau du corps 3 (Body 3) par exemple, le comparateur détecte ce changement et déclare cette modification dans le rapport de comparaison (figure 63).

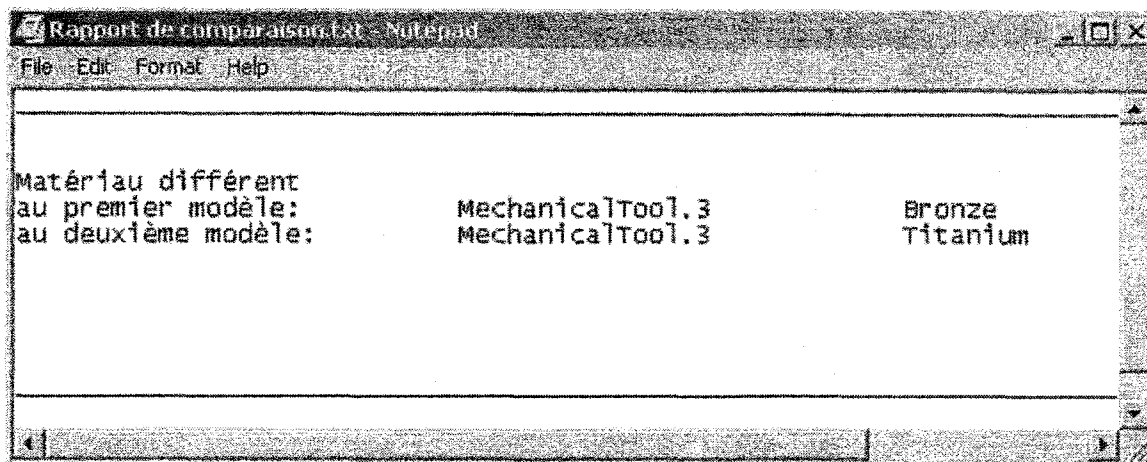


Figure 63 Les modifications de matériaux dans le rapport de comparaison

5.7.2 Changement de nom d'une caractéristique

Nous avons mentionné au chapitre 3 que le logiciel CATIA V5 attribue un nom spécifique qui est en fait un identifiant unique, interne et invariable à chaque caractéristique. Le nom externe d'une caractéristique peut être modifié par l'utilisateur et il ne s'agit pas d'une modification géométrique. Notre comparateur détecte ce changement également.

Un exemple illustre ces cas. Le modèle, présenté à la figure 64, compte plusieurs trous. Les deux grands trous s'appellent lors de la première version (Hole.1 et Hole.2). Une modification sur le diamètre de Hole.1 a été faite avec un changement de nom (de Hole.1 à Trou-abc). Par contre, le Hole.2 a seulement été affecté d'un changement de nom (de Hole.2 à Trou-ijk). Le résultat de la comparaison (figure 64), montre que les modifications de ces deux trous sont affichées.

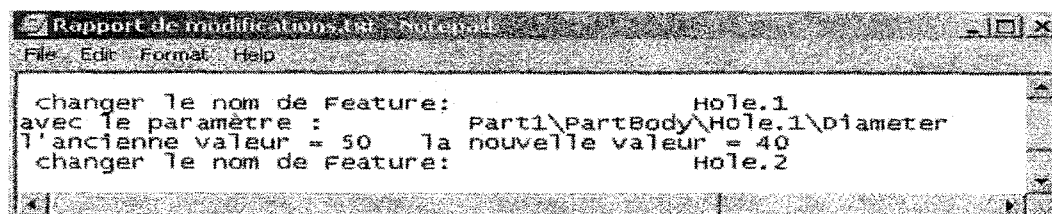
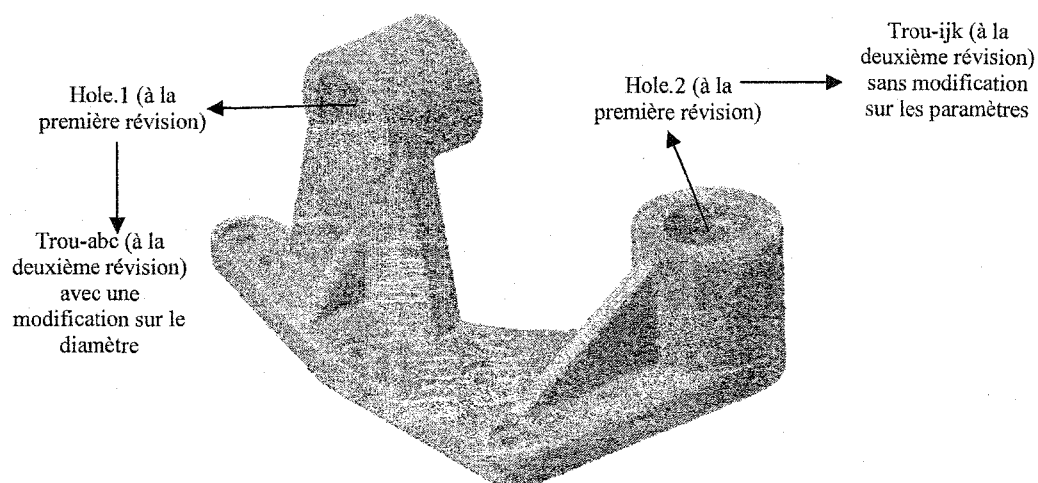


Figure 64 Les modifications sur les noms des caractéristiques

5.8 Autres applications

Pour vérifier la robustesse de notre comparateur, nous allons faire les essais suivants qui permettent de tester ce comparateur sur des paires de modèles qui ne sont pas des versions d'un même modèle.

La figure 65 représente un modèle réalisé de deux façons différentes. Nous allons supposer que chaque modélisation représente une version, et nous allons comparer ces deux versions.

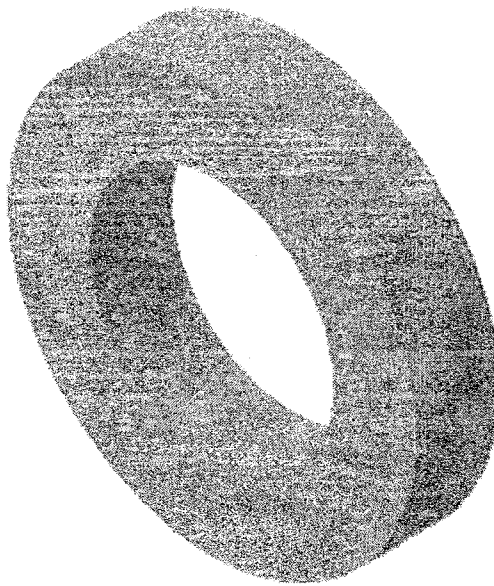


Figure 65 Une pièce modélisée de deux façons différentes

La première modélisation a été faite par la méthode suivante :

- Une esquisse avec un seul paramètre (cercle avec un diamètre de 100 mm).
- Une extrusion de cette esquisse avec une dimension de 20 mm.
- Un trou simple au centre avec un diamètre de 60mm.

La deuxième modélisation a été faite par le biais des opérations suivantes :

- Une esquisse avec deux éléments (deux cercles : un diamètre de 100 mm pour le premier, et un diamètre de 60mm pour l'autre).
- Une extrusion de cette esquisse avec une dimension de 20 mm.

Les deux méthodes donnent la même représentation B-Rep, malgré les différents arbres de construction (figure 66).

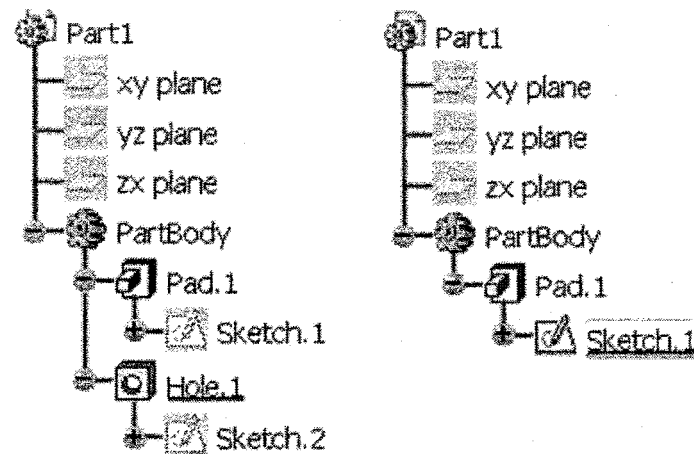


Figure 66 Deux arbres de construction différents donnant le même résultat B-Rep

En exécutant le comparateur, et en considérant que le premier arbre de modélisation représente l'ancienne version, et le deuxième arbre représente la nouvelle version. Le comparateur conclut dans ce cas que le trou a été supprimé et l'esquisse a été modifiée en ajoutant un cercle d'un diamètre de 60mm.

Le résultat de cette comparaison est représenté à la figure 67. Nous remarquons la couleur bleue sur le trou de la première version (caractéristique supprimée), et la couleur rouge sur le dessin technique de la deuxième version (dessin modifié).

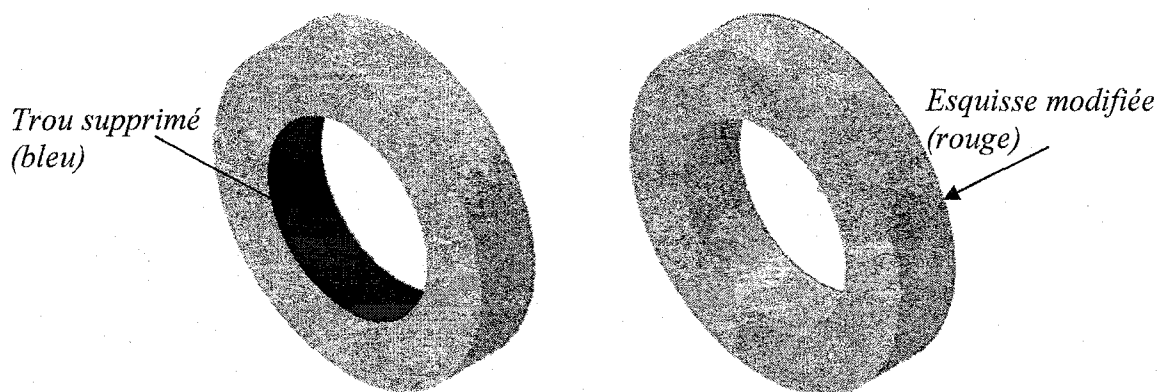
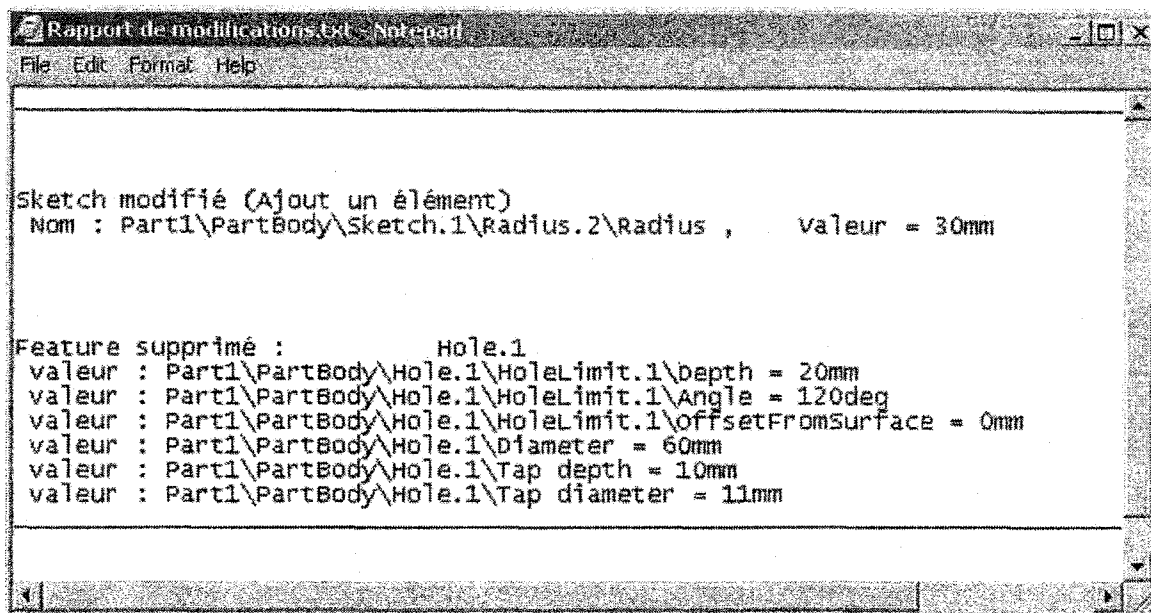
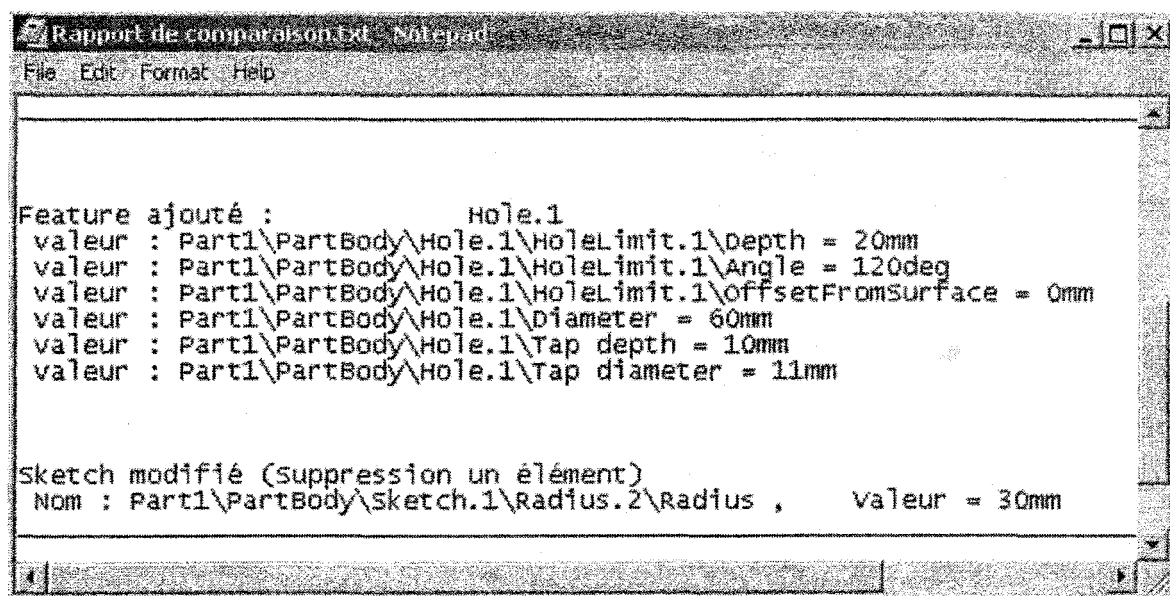


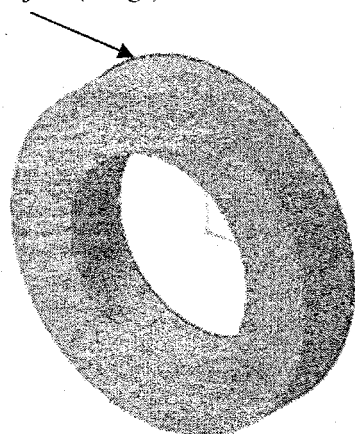
Figure 67 Le résultat de la comparaison entre deux différents arbres B-Rep d'un même modèle

La figure 67 représente le résultat de la comparaison en considérant l'ordre de modèles sélectionnés au comparateur. Maintenant, si nous faisons la comparaison entre les deux modèles précédents en changeant l'ordre de modèles sélectionnés, c'est-à-dire, le premier modèle représente la nouvelle version, et le deuxième représente l'ancienne version, nous allons obtenir un résultat différent.

Dans ce cas, le comparateur comprend que la deuxième modélisation représente l'ancienne version, et que la nouvelle version est obtenue en supprimant le cercle de diamètre 60 mm dans l'esquisse, et en ajoutant un trou (voir figure 68).



Esquisse modifiée (rouge)



Trou ajouté (vert)

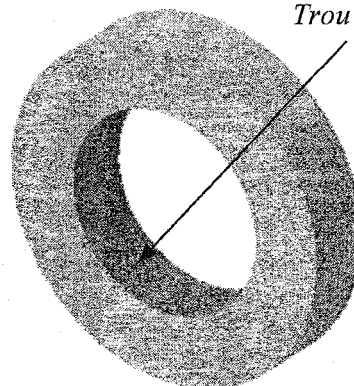


Figure 68 Le résultat de la comparaison entre deux différents arbres B-Rep d'un même modèle en changeant l'ordre des modèles à comparer

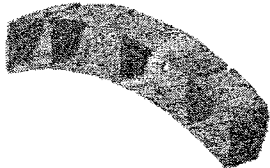
En fait, le comparateur développé ne peut pas être utilisé dans ce contexte car les résultats ne sont pas réellement significatifs.

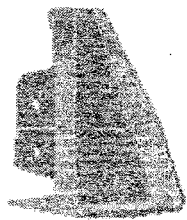
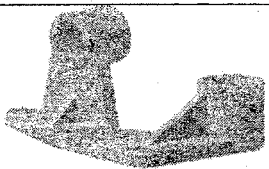
5.9 Les temps de comparaison

Le temps nécessaire par l'utilisation du comparateur développé dépend du nombre de caractéristiques, de paramètres, de corps fermés et de corps ouverts dans chaque modèle. Les caractéristiques de la machine utilisée jouent un grand rôle dans ce temps (voir annexe B). Le tableau III présente la synthèse des modèles comparés, le nombre total de caractéristiques (y compris les caractéristiques dans les corps fermés et les corps ouverts), le nombre total de paramètres dans chaque modèle, les modifications effectuées sur le modèle, et le temps de comparaison (en termes de secondes).

Tableau III

Les temps de comparaison des essais

#	modèle	Nombre de caractéristiques	Nombre de paramètres	Essai	Les modifications	Temps de comparaison (Secondes)
1		46	337	1	Essai de la figure 37	19
				2	Essai de la figure 46	23
				3	Essai de la figure 53	18
				4	Essai de la figure 58	20

2		57	326	5	Essai de la figure 60	27
3		60	386	6	Essai de la figure 62	95
4		1 2	9 11	7	Essai de la figure 65	1

DISCUSSION ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Les résultats obtenus lors des testes de validation prouvent la robustesse du code et son caractère systématique. Toutes les modifications introduites aux modèles, quelles que soient leurs types sont décelées. Rappelons que les deux fichiers à comparer doivent être des fichiers de format *CATPart*, car notre comparateur ne fonctionne pas pour les autres type de fichiers (*CATProduct*, *CATAnalysis*, *CATDrawing*, etc.).

Dans le contexte de la gestion des évolutions et des données des produits, nous avons développé un algorithme qui compare deux versions différentes du même modèle.

Au cours de nos travaux, nous avons testé le changement de nom des caractéristiques. Pendant ces essais, nous avons remarqué qu'il est possible de détecter ce changement dans les corps fermés. Par contre, pour les corps ouverts, cette détection est impossible, car le comparateur n'est pas capable de lire les noms de caractéristiques qui sont donnés par le logiciel CATIA V5. En conséquence, s'il y a un changement dans les noms de caractéristiques dans les corps ouverts, le comparateur ne va pas détecter ce changement. Il considérera plutôt ce changement comme une caractéristique supprimée dans l'ancienne version, et une caractéristique ajoutée dans la nouvelle version. Il est donc préférable pour l'utilisateur de vérifier les caractéristiques ajoutées et supprimées dans les corps ouverts selon le rapport de comparaison. Il est possible de détecter ce cas en lisant ce rapport.

Les paramètres de croquis (*Sketch*) doivent être des contraintes pour que le comparateur puisse lire ces paramètres. Il faut que ces paramètres soient des contraintes dans l'arbre de modélisation. Par exemple, si nous avons un paramètre d'un croquis à modifier, nous devons donner une contrainte à ce paramètre, puis nous devons modifier cette contrainte selon la nouvelle valeur demandée.

À partir du déplacement des caractéristiques dans l'arbre de modélisation, nous avons deux possibilités, les caractéristiques déplacées vers le haut et vers le bas. Le comparateur décele ces deux possibilités mais il est impossible de savoir comment le concepteur a réalisé le déplacement. Les deux possibilités obtenues sont correctes et donnent le même résultat final du modèle.

Les unités des paramètres apparaissant dans le rapport de comparaison sont identiques aux unités prises par défaut dans CATIA V5 : Si nous avons un modèle métrique (mm) et l'option de CATIA V5 est configurée en (in), les unités dans le rapport de comparaison seront en (in). Alors, pour l'utilisateur, il est préférable de configurer les unités de CATIA V5.

En ce qui concerne le temps d'exécution, nous remarquons qu'il dépend du nombre de caractéristiques, de paramètres, de corps fermés et de corps ouverts dans chaque modèle. En effet, quelle que soit la modification, le temps d'exécution de notre comparateur est sensiblement le même pour les deux modèles à comparer, parce que dans tous les cas, le comparateur lit tous les paramètres des caractéristiques.

Malgré les points indiqués ci-haut, nous avons réalisé une application qui détecte de façon automatique toutes les modifications entre deux modèles.

Il est possible d'améliorer ce comparateur selon les besoins de l'utilisateur. Par exemple, nous pouvons améliorer notre comparateur pour être capable de comparer deux fichiers (*CATProduct*), ce qui aide à la comparaison de deux produits assemblés. Nous pouvons ajouter des renseignements supplémentaires au rapport de comparaison, tels que la raison des modifications (question demandée à l'utilisateur au début de l'exécution du programme), le nombre de corps, de corps ouverts et de caractéristiques modifiées. De plus, l'application pourra ajouter des renseignements sur les caractéristiques modifiées, comme le nombre total de paramètres dans une caractéristique modifiée et le nombre de

paramètres modifiés dans cette caractéristique. En ce qui concerne les couleurs attribuées, nous pouvons améliorer le résultat visuel. Par exemple, nous pouvons attribuer des couleurs différentes sur les caractéristiques ajoutées pour savoir si c'est une caractéristique ajoutée dans un corps fermé ou bien un corps ouvert. En ce qui concerne l'exécution, il serait possible de sélectionner deux modèles à comparer dans une base de données sans les sauvegarder dans le répertoire (*Compareur*). Cependant, il est préférable de sauvegarder les deux modèles à comparer dans un répertoire à l'extérieur de la base de données, pour ne pas sauvegarder le résultat coloré dans cette base.

Dans le cas du déplacement des caractéristiques dans l'arbre de modélisation, ce comparateur ne détermine pas les modifications qui concernent la fabrication. Il détecte les caractéristiques déplacées, mais il ne détecte pas s'il y a une modification dans la forme des modèles CAO pour l'usinage. Par contre, il est possible d'améliorer ce comparateur pour qu'il soit capable de détecter ce cas, en ajoutant une fonction permettant de lire les informations des caractéristiques déplacées (les volumes, les surfaces et les dimensions) et en les comparant.

CONCLUSION

Dans les entreprises, un grand nombre de fichiers est utilisé pour définir des produits. Les PDM permettent de suivre un produit pendant tout son cycle de développement, mais ils ne sont pas capables de déterminer automatiquement les modifications à l'intérieur des fichiers.

Le comparateur que nous avons développé dans le cadre de ce travail, constitue un prototype qui détecte les changements dans les modèles CAO. D'après les résultats obtenus avec ce comparateur, il est possible de détecter parfaitement les modifications entre des versions d'un même modèle CAO et de contrôler la structure de leurs arbres de modélisation.

Nous avons développé notre algorithme dans CATIA V5, et nous avons utilisé le langage de programmation VBA (*Visual Basic Application*) pour le développer. Finalement, notre travail a été fait avec la révision 8 du logiciel CATIA V5 et il a été essayé avec succès sous les révisions 9 et 10. Il est considéré comme un développement dans les options de CATIA V5. Il contribue à répondre aux besoins d'entreprises en terme de développement d'outils CAO - PDM.

ANNEXE A

Procédure d'installation et d'utilisation

Nous avons simplifié l'installation et l'utilisation de notre comparateur à quelques étapes très concises. Nous allons décrire en détails chacune de ces étapes afin d'obtenir le résultat pertinent que nous désirons.

Pour installer le comparateur sous CATIA V5, il faut :

- Créer un nouveau répertoire sur le bureau (*Desktop*) appelé : (comparateur).
- Ouvrir le logiciel CATIA V5.
- Choisir le chemin suivant pour accéder à *Visual Basic Editor* :
Tools / Macros / Visual Basic Editor (figure 69).

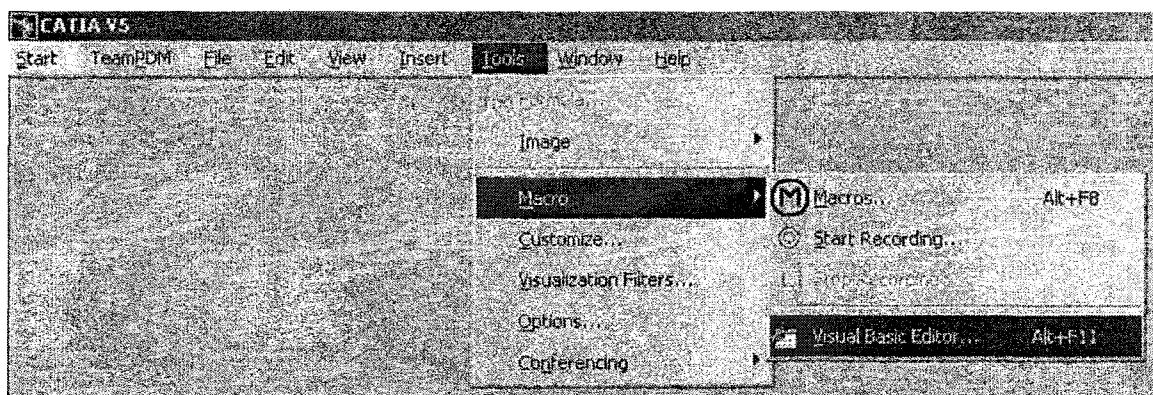


Figure 69 L'accédant à *Visual Basic Editor* à partir de CATIA V5

- Ouvrir le fichier (*Compareur.txt*) qui se trouve dans le CD, copier le programme, et coller le sur la page blanche de *Visual Basic Editor*.
- Cliquer deux fois sur le répertoire (comparateur) pour obtenir son chemin (figure 70).

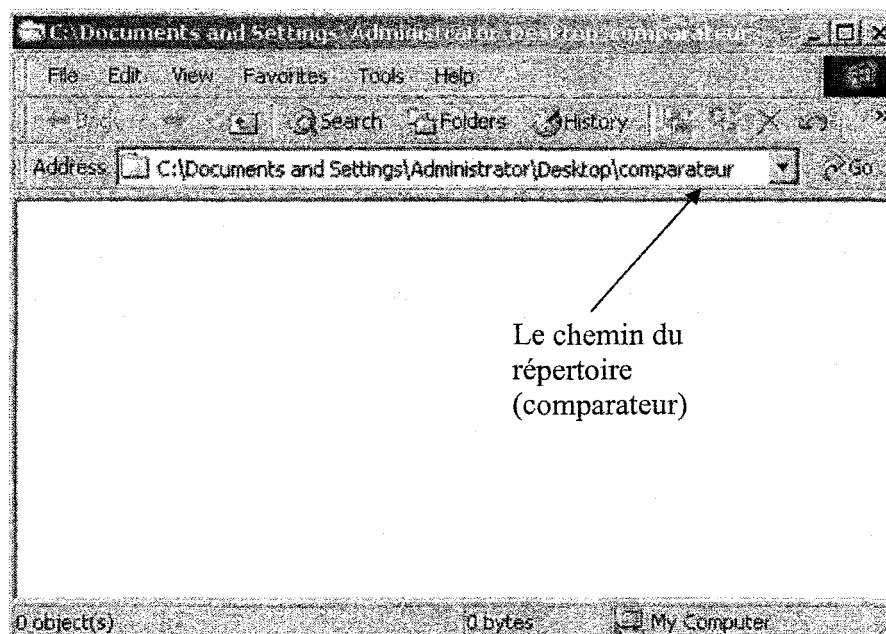
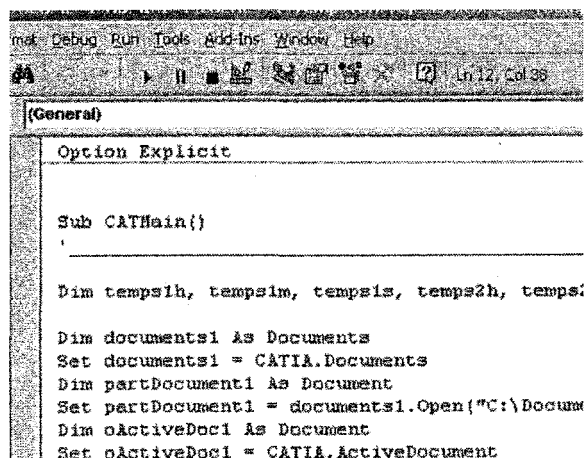


Figure 70 L'accédant au chemin du répertoire (comparateur)

- S'assurer le bon chemin du répertoire (comparateur) dans le programme en *Visual Basic Editor*, copier le chemin du répertoire (comparateur), et coller ce chemin aux lignes suivantes (figure 71 et 72) :



L'endroit qui indique le numéro de ligne et de colonne en *Visual Basic Editor*

Figure 71 L'accédant aux lignes et colonnes en *Visual Basic Editor*

- La ligne 19, avec la colonne (de 38 à 97)
- La ligne 36, avec la colonne (de 38 à 97)
- La ligne 52, avec la colonne (de 7 à 66)
- La ligne 1236, avec la colonne (de 38 à 97)

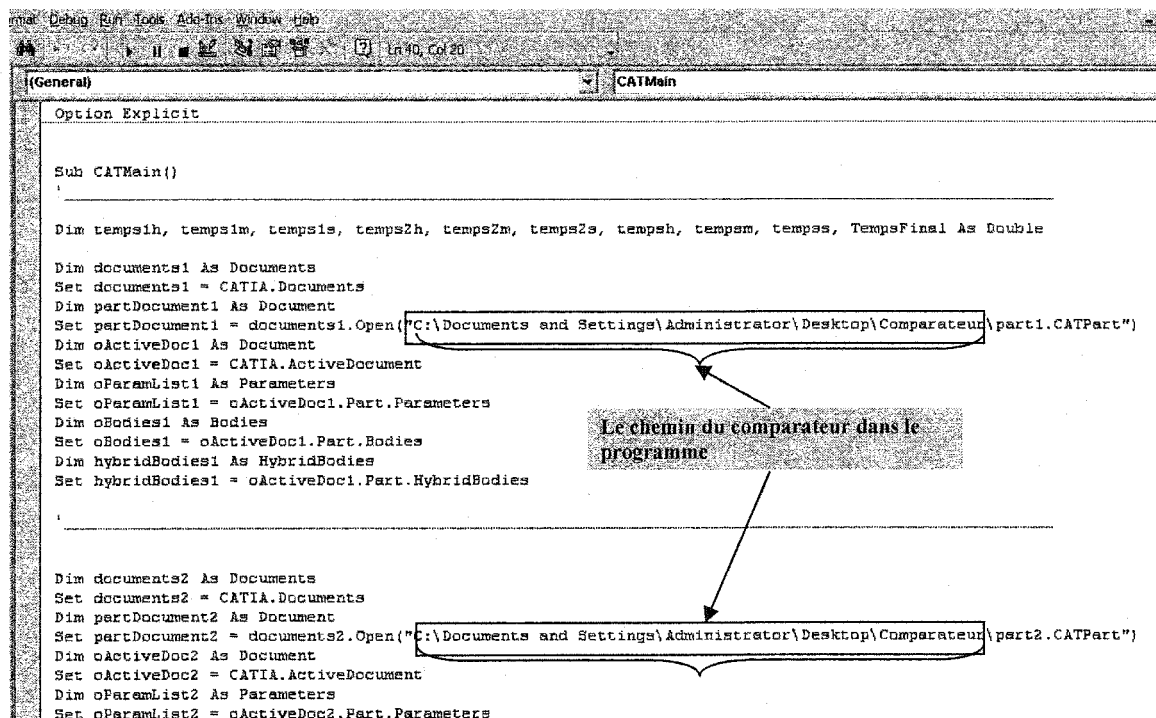


Figure 72 Le chemin du répertoire dans le programme en *Visual Basic Editor*

- Pour avoir le résultat de comparaison entre deux fichiers *CATPart*, il faut ouvrir le premier fichier (l'ancienne version) et le sauvegarder dans le répertoire (comparateur) sous le nom (*Part1.CATPart*). Puis, il faut ouvrir le deuxième fichier (la nouvelle version) et le sauvegarder dans le répertoire (comparateur) sous le nom (*Part2.CATPart*). Voir la figure 73.

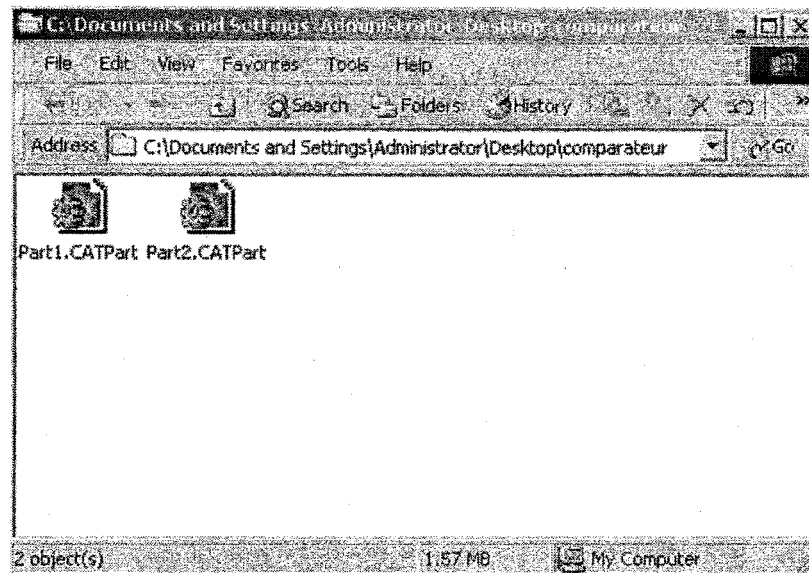
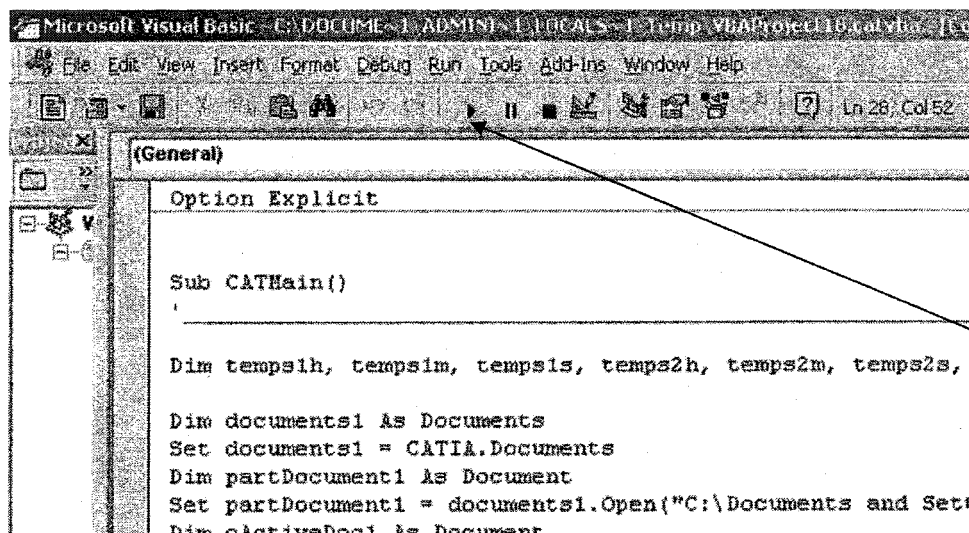


Figure 73 La sauvegarde de deux versions à comparer dans le répertoire

- Maintenant, nous pouvons exécuter le programme à partir de *Visual Basic Editor* en cliquant l'icône ▶ (figure 74).



Exécuter le
comparateur
à partir de
*Visual Basic
Editor*

Figure 74 L'exécution du programme à partir de *Visual Basic Editor*

Pour ne pas ouvrir le *Visual Basic Editor* chaque fois, et pour que ce programme soit une opération permanente en CATIA V5, il faut :

- Aller au : *Tools / Customise...* (figure 75).

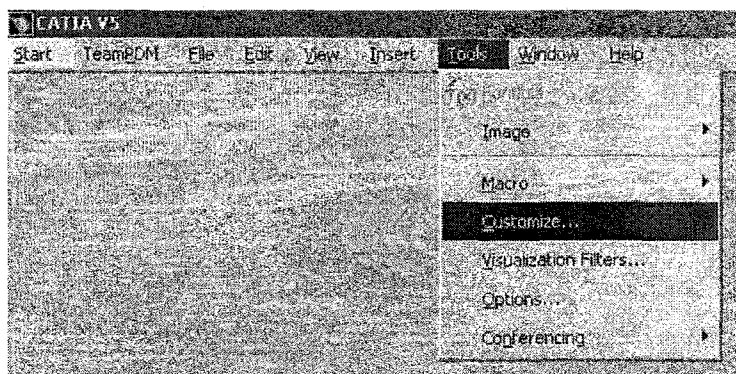


Figure 75 L'accédant à la définition d'un macro en CATIA V5

- Sélectionner les éléments suivants en respectant la succession des étapes :
Commands / Macros / comparateur / Show Properties (voir figure 76) :

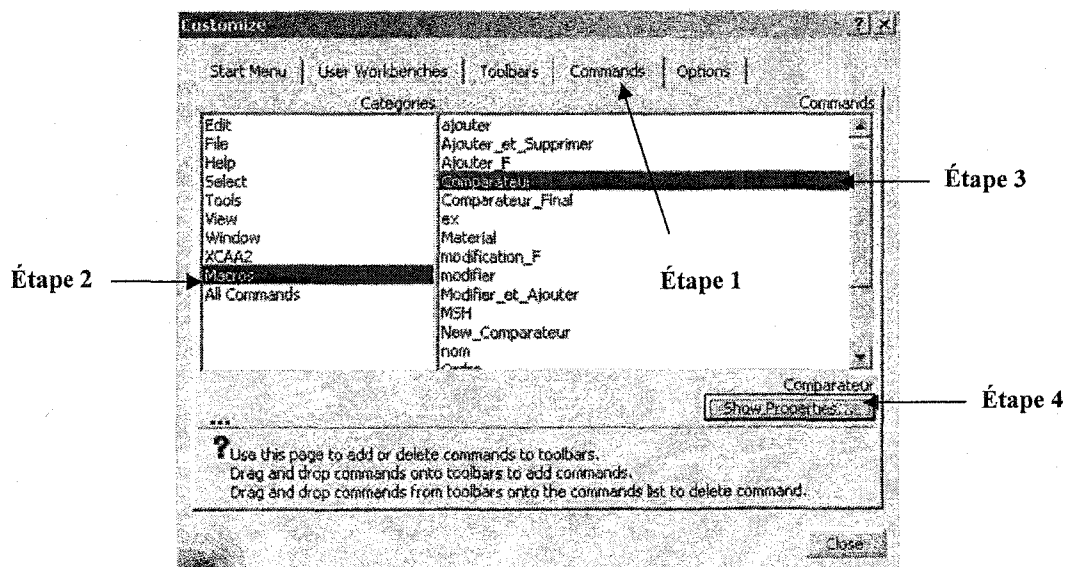


Figure 76 La sélection du comparateur dans les macros de CATIA V5

S'assurer que le nom de macros (comparateur) soit paré comme un titre de macro (*Title*),

cliquer sur  pour choisir l'icône du comparateur (voir figure 77).

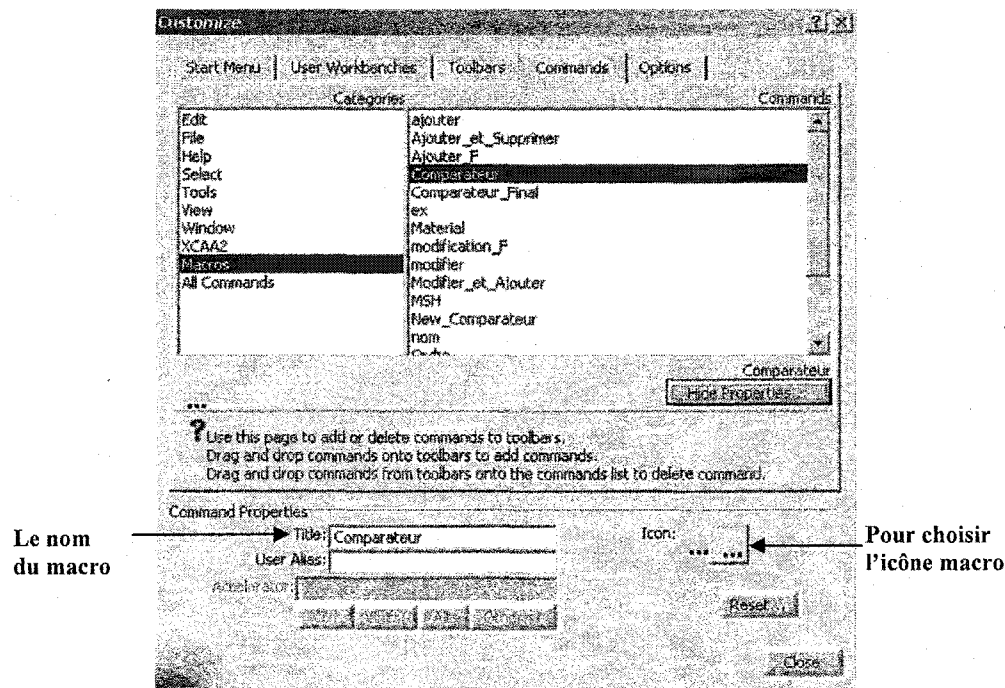


Figure 77 L'accédant à la définition du comparateur

Choisir n'importe quelle icône dans la liste, telle  (à la page 12 de la liste), voir figure 78.

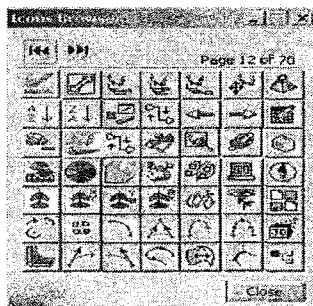


Figure 78 Le choix de l'icône

Pour exécuter le programme, il n'est pas nécessaire d'ouvrir les deux modèles à comparer ; nous pouvons tout simplement cliquer sur l'icône (Comparateur)  que nous avons installé dans notre version, voir figure 79.



Figure 79 L'exécution du comparateur

Quand le programme est démarré, il demande le nom du concepteur (figure 80). Ce nom sera affiché dans le fichier texte comme le nom de la personne qui a exécuté le comparateur. Puis, le comparateur commence à déterminer les différences entre les deux versions à comparer, en considérant toujours que l'ancienne version s'appelle (Part1), et la nouvelle version s'appelle (Part2).

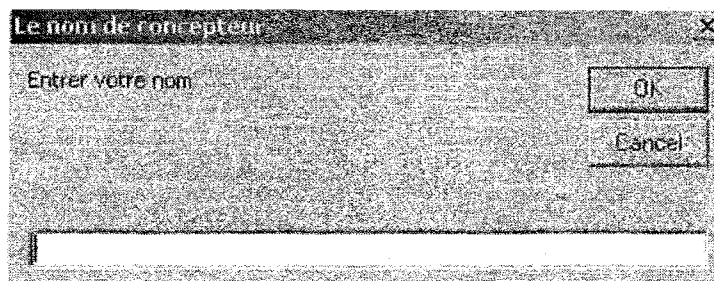


Figure 80 La première étape d'exécution du comparateur

Pendant l'exécution, le comparateur détecte les quatre cas de modification. Tout d'abord, il détermine les caractéristiques modifiées, puis, les caractéristiques ajoutées, ensuite, les caractéristiques déplacées, et enfin, les caractéristiques supprimées.

Dès que la comparaison est terminée, le programme affiche un message indique la fin de la comparaison (figure 81). En cliquant sur le bouton (OK), l'affichage coloré apparaît sur les modèles à comparer, et le résultat dans un fichier texte sera créé dans le même répertoire (*Compareur*).

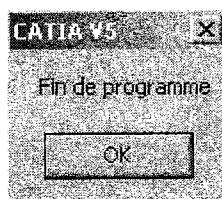


Figure 81 La dernière étape d'exécution du comparateur

ANNEXE B

Les temps de comparaison

Le temps de comparaison dépend du nombre de caractéristiques, de paramètres, de corps et de corps ouvert dans chaque modèle. Les caractéristiques de la machine utilisée jouent aussi un grand rôle. Nous avons fait plusieurs essais avec deux machines différentes pour avoir une idée vis à vis la caractéristique des machines utilisées :

- Les caractéristiques de la machine A :

- P IV, 1.9 MHZ;
- 512 Mega RAM;
- Carte graphique : 3Dlabs Oxygen VX1;
- Disque dur : QUANTUM FIREBALLP AS40.0.

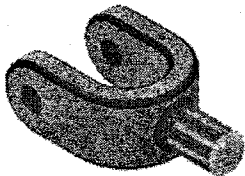
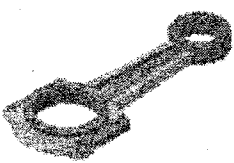
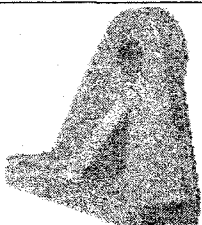
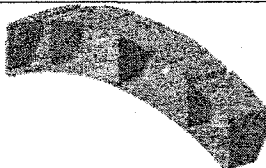
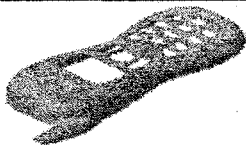
- Les caractéristiques de la machine B :

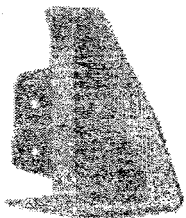
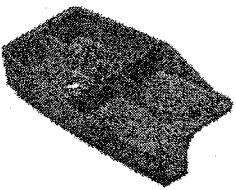
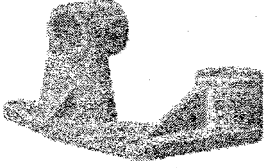
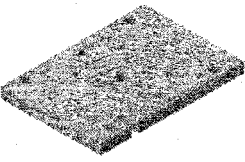
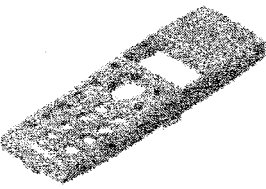
- ATHLON 1800+;
- 512 Mega RAM;
- Carte graphique : 3Dlabs Oxygen VX1;
- Carte SCSI Adaptec 19160;
- Disque dur : 9 Giga pour l'O.S;
- SCSI 18 Giga pour les Applications.

Le tableau suivant représente les modèles utilisés dans cet essai, le nombre total des caractéristiques (y compris les caractéristiques dans les corps fermés et les corps ouverts), le nombre total de paramètres dans chaque modèle, et le temps de comparaison avec les deux machines (en seconde). Le temps qui apparaît au tableau est pour la comparaison de deux versions identiques d'un même modèle (sans modification).

Tableau IV

Les temps de comparaison des modèles semblables

#	modèle	Nombre de caractéristiques	Nombre de paramètres	Temps de comparaison Machine (A) (Seconde)	Temps de comparaison Machine (B) (Seconde)
1		16	149	4	2
2		20	167	4	2
3		27	159	4	2
4		23	156	9	6
5		46	337	18	11
6		54	349	23	13

7		57	326	24	15
8		40	256	32	22
9		160	630	52	31
10		60	386	90	62
11		66	306	247	167
12		221	1154	1279	988

Les résultats obtenus montrent que plus le nombre de caractéristiques et de paramètres est élevé, plus le temps de comparaison est long. Plus les caractéristiques de la machine utilisée sont performantes, plus le temps de comparaison est court.

ANNEXE C

Comparateurs disponibles avec les logiciels CAO

Certains logiciels de CAO incluent un outil permettant la comparaison de modèles solides. Pour obtenir les résultats de ces comparateurs et les comparer avec notre comparateur, nous allons faire les essais suivants : tout d'abord, nous allons prendre un modèle 3D, puis, nous allons appliquer sur ce modèle les modifications suivantes :

- Modification d'un trou,
- Suppression d'un arrondi,
- Ajout d'une extrusion,
- Déplacement d'une caractéristique dans l'arbre de modélisation,
- Changement de matériau.

Le résultat de ces modifications représente la nouvelle version de ce modèle. Les deux modèles à comparer sont représentés à la figure 82.

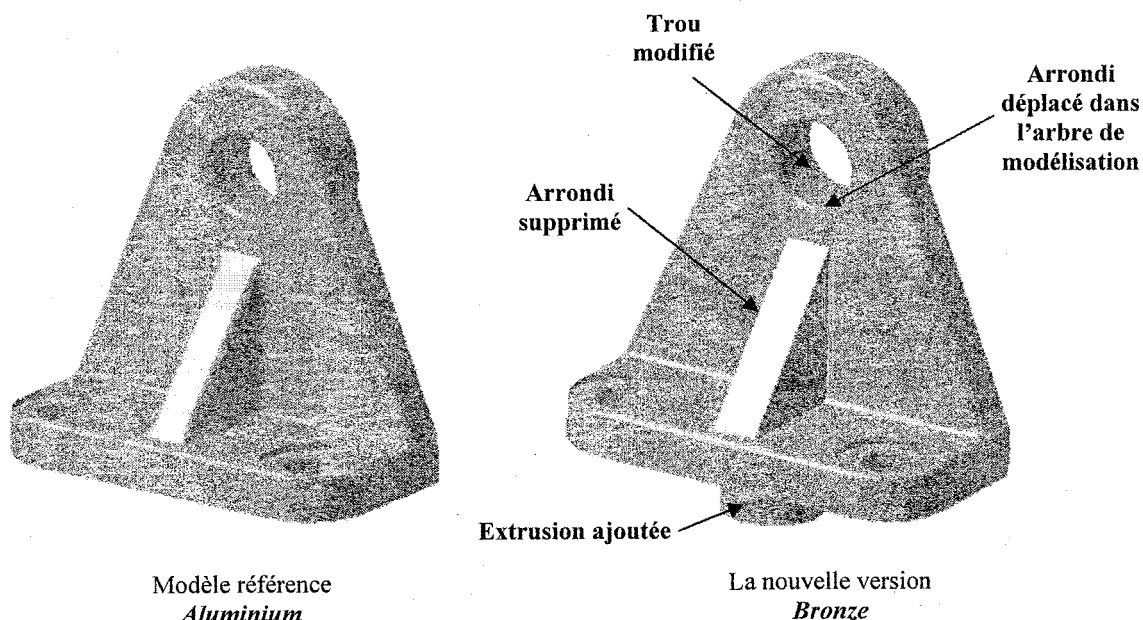


Figure 82 Un modèle 3D et sa nouvelle version

Pour exécuter le comparateur de CATIA V5R8, il faut suivre les étapes suivantes : dans l'icône *Digital Mockup*, *DMU Space Analysis* (figure 83), nous pouvons choisir les deux versions à comparer.

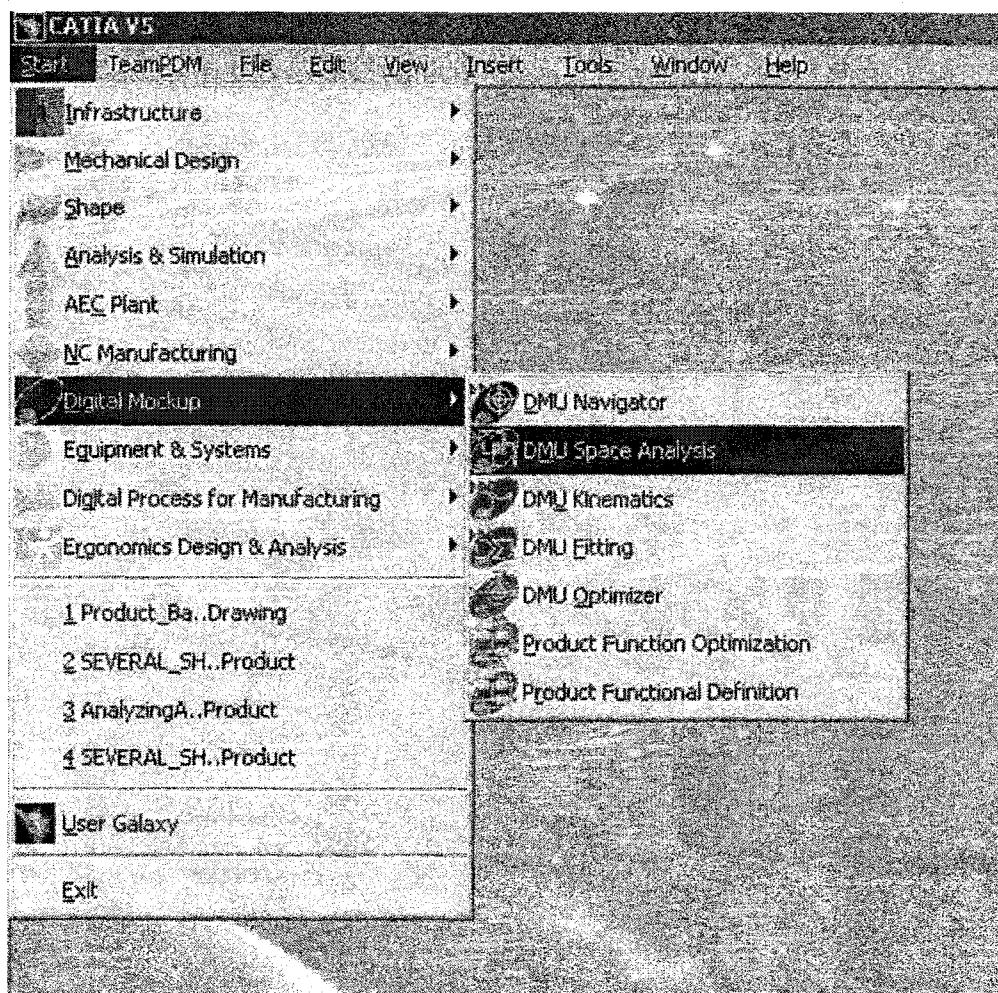


Figure 83 L'icône *Digital Mockup*, *DMU Space Analysis*, en CATIA V5 R8

En cliquant l'icône (*Compare Products*) , une fenêtre sera affichée comme il est défini à la figure 84. Dans cette fenêtre, il faut sélectionner les deux versions en respectant l'ancienne et la nouvelle version, et choisir une comparaison géométrique entre eux.

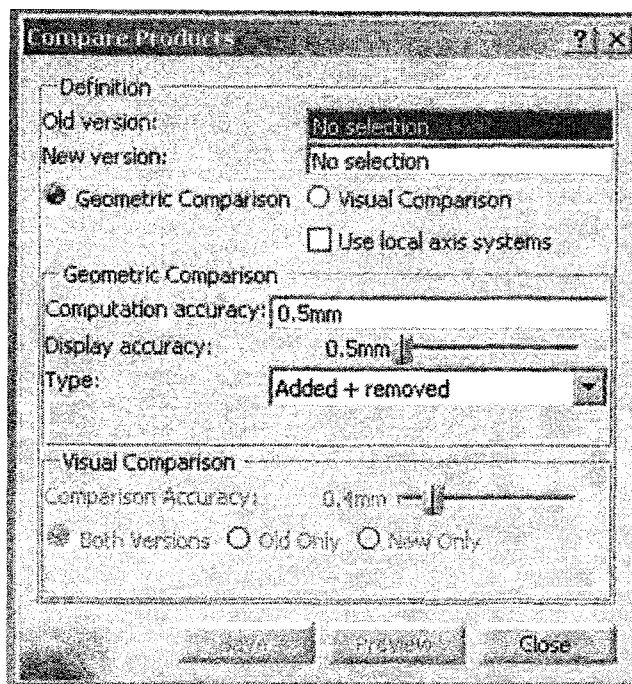


Figure 84 La fenêtre affichée en cliquant (*Compare Products*)

Après avoir sélectionné les deux versions à comparer, il faut sauvegarder deux fichiers nommés : (*AddedMaterial*, *RemovedMaterial*). Il est possible de sauvegarder ces fichiers comme fichiers (3dmap), (cgr), (wrl) ou bien (model), mais, pour avoir la couleur sur l'endroit modifié, il faut sauvegarder les deux fichiers comme fichiers (cgr), puis, il faut ouvrir ces deux fichiers, et sauvegarder le fichier obtenu comme fichier (*CATProduct*), ce dernier donne deux couleurs, rouge qui indique l'endroit modifié (ajout de matière) et verte qui indique l'endroit modifié (suppression de matière).

Nous obtenons un résultat coloré de la comparaison à la figure 85.

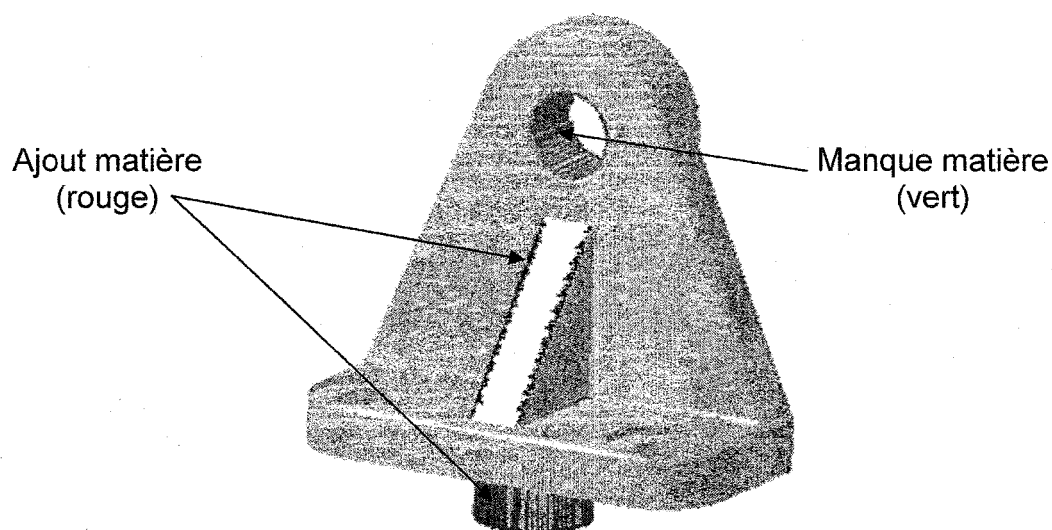


Figure 85 Le résultat de comparaison obtenu par le comparateur de CATIA V5

Pour comparer les caractéristiques des modèles 3D avec le logiciel Pro/Engineer, il faut ouvrir le modèle référence, puis il faut aller dans *Analysis > Compare Part > By Feature* pour sélectionner la nouvelle version de ce modèle. En utilisant le comparateur du logiciel Pro/Engineer, nous allons obtenir un rapport indiquant les caractéristiques modifiées, supprimées et ajoutées (figure 86).

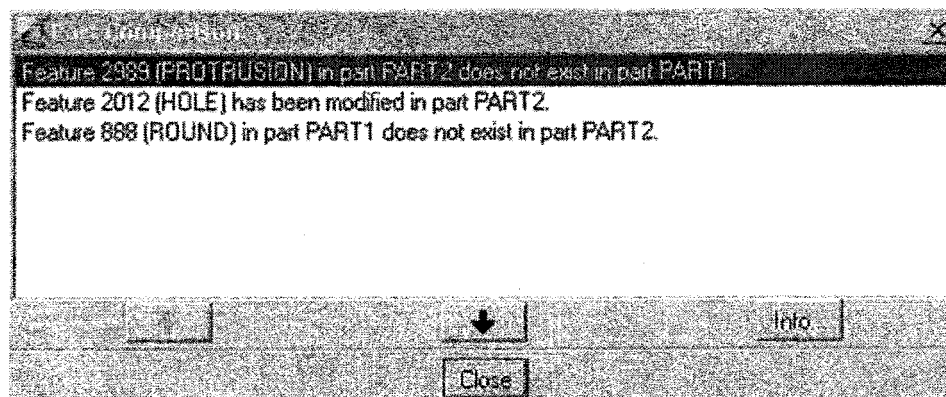


Figure 86 Le résultat de comparaison obtenu par le comparateur de Pro/Engineer

En cliquant sur le bouton (info...), nous pouvons obtenir toutes les informations relatives à une caractéristique sélectionnée. Par exemple, la première caractéristique de ce rapport représente la caractéristique ajoutée (Feature # 2989), la deuxième caractéristique représente la caractéristique modifiée (Feature # 2012) et la dernière caractéristique représente la caractéristique supprimée (Feature # 888). Les informations obtenues de chaque caractéristique par le comparateur du Pro/Engineer sont représentées respectivement aux figures 87, 88 et 89.

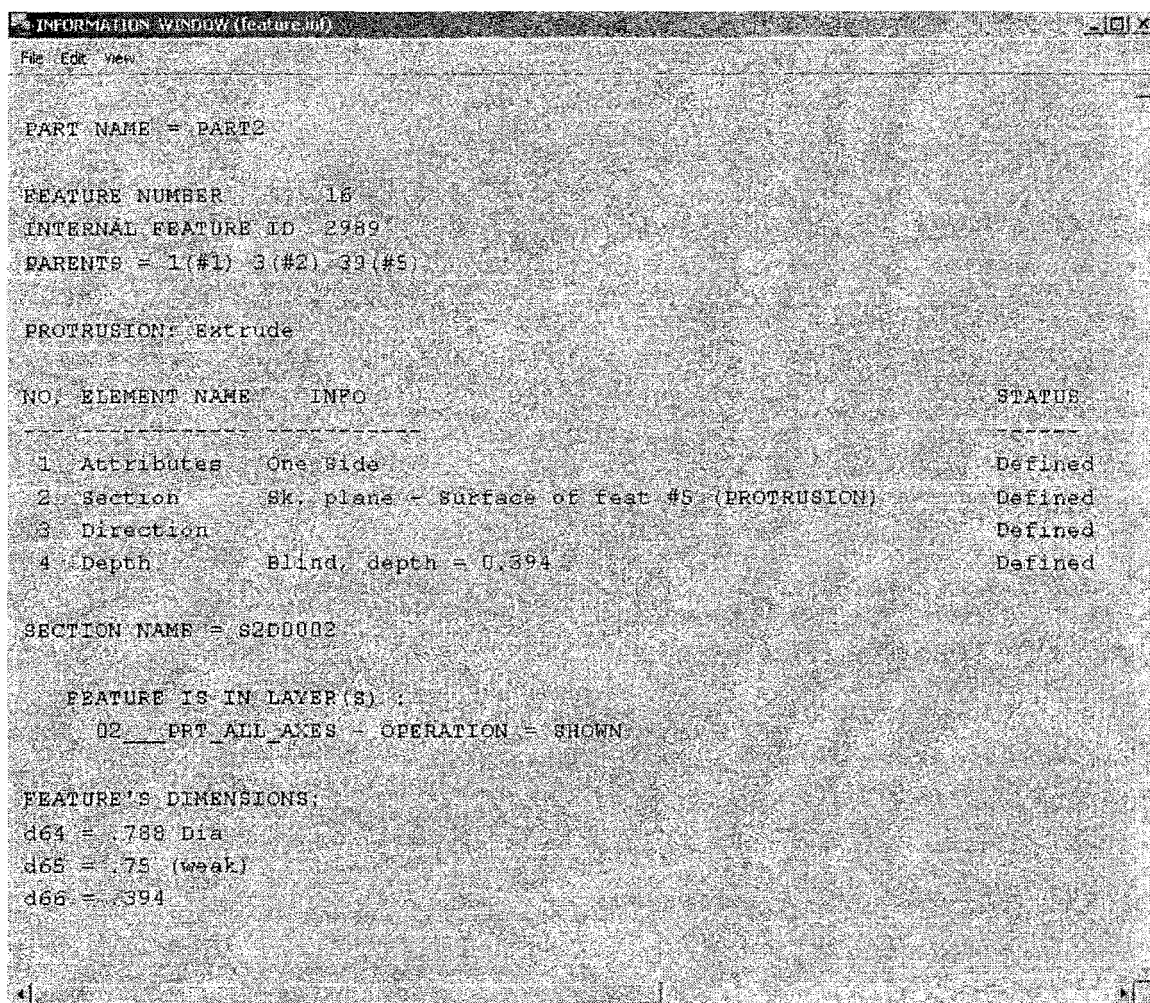


Figure 87 Les informations relatives à la caractéristique ajoutée (Pro/Engineer)

```

1      Hole      Defined
1.1    Hole Type  Defined
1.2    Diameter   Defined
1.3    Depth      Defined
1.3.1  Side One   Defined
1.3.1.1 Side One Depth Variable
1.3.1.2 Value     1.1941
1.3.2  Side Two   Defined
1.3.2.1 Side Two Depth Variable
1.3.2.2 Value     1.1941
2      Placement  Defined
2.1    Primary Reference Defined
2.2    Placement Type Linear
2.3    Linear Reference Defined
2.4    Distance   2.0000
2.5    Linear Reference Defined
2.6    Distance   0.0000

PLACEMENT = LINEAR

FEATURE IS IN LAYER(S) :
02 PRT ALL AXES - OPERATION = SHOWN

FEATURE'S DIMENSIONS:
d50 = .669 Dia
d51 = 2.00
d52 = .00
d53 = 1.19
d54 = 1.19

```

Figure 88 Les informations relatives à la caractéristique modifiée (Pro/Engineer)

```

PART NAME = PART1

FEATURE NUMBER      12
INTERNAL FEATURE ID  888
PARENTS = 39(#5) 70(#6) 325(#8) 465(#11)

ROUND: General

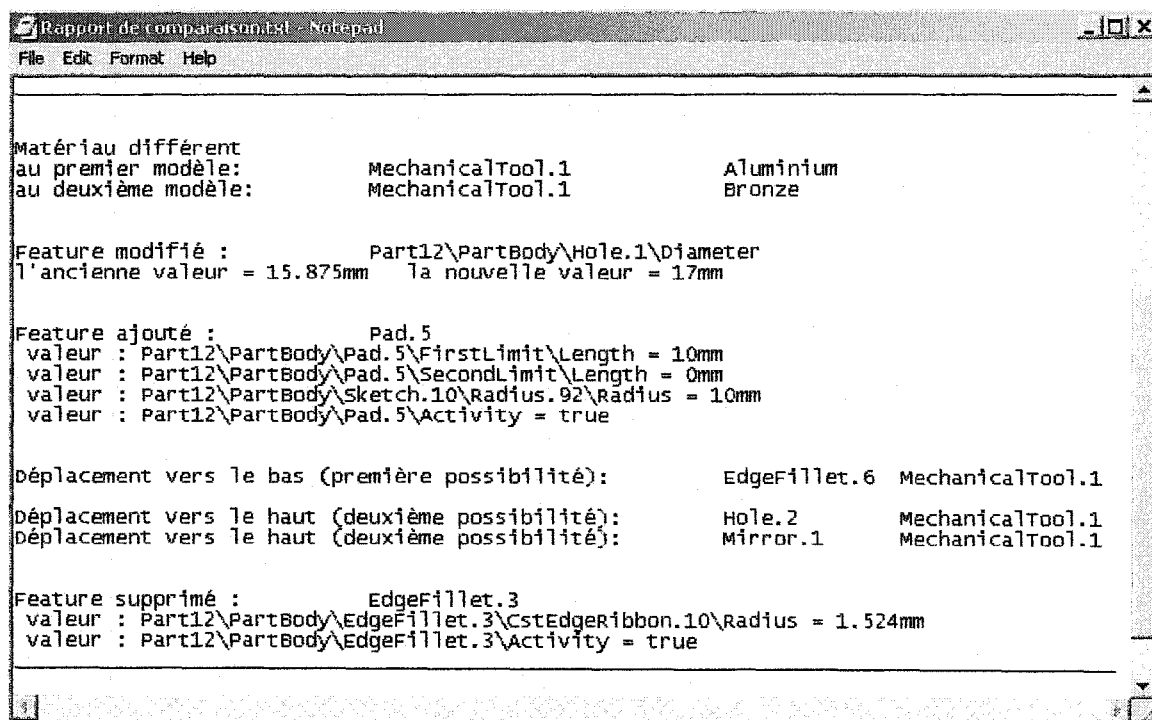
NO. ELEMENT NAME      INFO      STATUS
-----
1 Round Type          Simple      Defined
2 Attributes           Constant. Edge Chain  Defined
3 References           Value = 0.0000      Defined
4 Radius              Value = 0.0000      Defined
5 Round Extent         Optional
6 Attach Type          Make Solid - Feature has solid geometry  Defined

FEATURE'S DIMENSIONS:
d18 = .06R

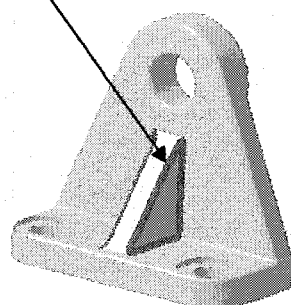
```

Figure 89 Les informations relatives à la caractéristique supprimée (Pro/Engineer)

Maintenant, pour connaître les avantages de notre comparateur par rapport aux comparateurs qui existent sous CATIA V5 et Pro/Engineer, nous allons refaire l'opération de comparaison, mais cette fois par notre comparateur. Pour cette comparaison, la figure 90 représente le rapport, et les couleurs obtenues.

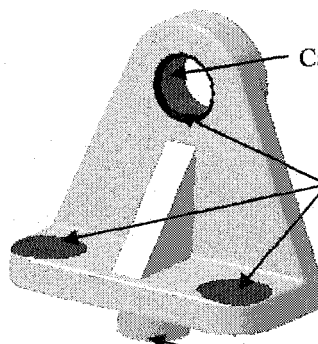


Caractéristique supprimée (bleu)



Caractéristique modifiée (rouge)

Caractéristique déplacée vers le haut (rose) et vers le bas (noire)



Caractéristique ajoutée (vert)

Figure 90 Le résultat de comparaison par notre comparateur

D'après les résultats obtenus, nous pouvons noter des avantages de notre comparateur par rapport à ceux qui sont disponibles avec les logiciels CAO.

- Tout d'abord, avec le comparateur de CATIA V5, il est impossible de connaître la nature des modifications. Il n'est pas possible de détecter les caractéristiques modifiées, ajoutées et supprimées. Par contre, avec notre comparateur, nous pouvons déterminer la nature de n'importe quelle modification effectuée sur le modèle. Le comparateur de CATIA V5 n'est pas capable de déterminer les caractéristiques déplacées dans l'arbre de modélisation. Mais avec notre comparateur qui est capable de contrôler l'arbre de modélisation, il est possible de détecter n'importe quel changement dans l'arbre de modélisation et de déterminer les caractéristiques déplacées dans cet arbre (vers le haut ou vers le bas). Avec le comparateur de CATIA V5, il est impossible de connaître les anciennes et les nouvelles valeurs d'une caractéristique modifiée, les valeurs d'une caractéristique ajoutée ou supprimée. Cependant, avec notre comparateur, le fichier texte qui est très clair, inclut tous les renseignements relatifs à une caractéristique modifiée, ajoutée ou supprimée. Le résultat coloré de comparaison du comparateur de CATIA V5 est un résultat dans un fichier *CATProduct*, c'est-à-dire, il faut avoir un fichier *CATProduct* pour voir le résultat coloré. Le résultat coloré de comparaison de notre comparateur est sur les deux versions à comparer. Alors, pas besoin d'avoir autres fichiers. Finalement, le comparateur de CATIA V5 ne considère pas toutes les informations du produit. Par contre, notre comparateur considère n'importe quelle caractéristique existant dans l'arbre de modélisation telle que la caractéristique de matériau, et compare ces caractéristiques entre les deux versions.
- Le comparateur de Pro/Engineer donne un résultat meilleur que celui du comparateur CATIA V5, il peut déterminer la nature de la modification, mais il

n'est pas capable de déterminer quelles valeurs ont été modifiées dans une caractéristique modifiée, et quelles sont les anciennes et les nouvelles valeurs. En plus, ce comparateur n'est pas capable de déterminer les caractéristiques déplacées dans l'arbre de modélisation. Finalement, avec cette méthode, il n'y a pas un résultat avec des couleurs indiquant l'endroit modifié. Par contre, notre comparateur indique les valeurs modifiées dans une caractéristique modifiée, donne les anciennes et les nouvelles valeurs, détermine les caractéristiques déplacées dans l'arbre de modélisation et donne un résultat coloré indiquant l'endroit modifié sur les modèles 3D.

Avec tous les points indiqués ci-haut, le comparateur des modèles CAO que nous avons développé et appliqué avec le logiciel CATIA V5, a des propriétés meilleures que ceux qui sont disponibles avec les logiciels CAO.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Industrie Canada. *Le site canadien des entreprises et des consommateurs*, [En ligne], <http://www.strategis.ic.gc.ca> (Consulté le 12 février 2003).
- [2] Mark Davis, David O'Sullivan, (1999), *Systems Design Framework for the Extended Enterprise*, *Production Planning and Control*, 10 (1), pp.3-18.
- [3] St-Martin S, Chatelain J.F., Rivest L., Maranzana R., *L'évolution du modèle produit dans un contexte de SGDT : vers la maîtrise du changement dans les modèles CAO*, MICAD 2001, Paris, Mai 2001
- [4] Msaaf Omar, *Validation des caractéristiques d'usinage par des grammaires d'usinage attribuées une contribution à la prise en compte des contraintes d'usinage en cours de conception*, Comme exigence partielle à l'obtention du Doctorat en génie, École de Technologie Supérieure, décembre 2002.
- [5] Bryan M.G., Sackett P.J. (août 1997), *The Point of PDM*, *Manufacturing Engineer*, IEE Stevenage Engl, 76 (4), pp.161-164.
- [6] Eustache J., Maranzana R., Lanuel Y., Gardan Y. (2001), *Managing Complexity in a CAD Environment*, *Change Management and the New Industrial Revolution*, IEEE, pp.104-109.
- [7] Jacques A. de Guise (1997), *Conception Assistée par ordinateur*, Notes de cours, École de Technologie Supérieure, Département de Génie de la Production Automatisée.
- [8] David M., Mitchell P., Ali S., William C. Regli (2001), *Database Technique for Archival of Solid Models*, pp. 78-87
- [9] St-Martin S., *Maîtrise du changement dans les modèles CAO*, Projet d'application, Maîtrise en technologie de systèmes, École de Technologie Supérieure, janvier 2001.
- [10] Vincent A. Cicirello, William C. Regli (1999), *Resolving Non-Uniqueness in Design Feature Histories*, *Proceedings of the Symposium on Solid Modeling and Applications*, 1999, pp. 76-84.
- [11] Chep, A. Tricarico, L. (1999), *Object-Oriented Analysis and Design of a Manufacturing Feature Representation*, *International Journal of Production Research*, v 37, (10), 1999, pp. 2349-2376.

- [12] Leinen S., Jung J.-P., Gardan Y. (1997), *Comparaison de modèles de CAO par normalisation de graphes*, Revue de CFAO et d'informatique graphique, 12 (1-2), pp.153-167.
- [13] Ching-Yao Kao, Soundar R.T. Kumara, Rangachar Kasturi (1995), *Extraction of 3D Object Feature from CAD Boundary Representation Using the Super Relation Graph Method*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, v 17, (12), pp. 1228-1233.
- [14] Chatelain J.F., Maranzana R., ST-Martin S., *A Solid Model Comparison Approach Based on a Model Tree Analysis*, Advances in Systems Theory, Mathematical Methods and Applications, WSEAS Press (2002), pp. 239-244.
- [15] Mohamed El-Mehalawi, R. Allen Miller (2003), *A Database System of Mechanical Components Based on Geometric and Topological Similarity Part I: Representation*, Computer Aided Design, 35, pp. 95-105.
- [16] Mohamed El-Mehalawi, R. Allen Miller (2003), *A Database System of Mechanical Components Based on Geometric and Topological Similarity Part II: Indexing, Retrieval, Matching, and Similarity Assessment*, Computer Aided Design, 35, pp. 83-94.
- [17] Mukai Shinji, Furukawa Susumu, Kuroda Mitsuru (2002), *An Algorithm for Deciding Similarities of 3-D Objects*, Proceedings of the Symposium on Solid Modeling and Applications, 2002, Saarbrücken, pp. 367-375.
- [18] Lapadat Daniel, Sieger Leonard, Regli, William C. (2002), *Using Shape Distributions to Compare Solid Models*, Proceedings of the Symposium on Solid Modeling and Applications, 2002, Saarbrücken, pp. 273-280.
- [19] Alexei Elinson, Dana S. Nau, William C. Regli (1997), *Feature-Based Similarity Assessment of Solid Models*, Proceedings of the Symposium on Solid Modeling and Applications, 1997, pp. 297-310.
- [20] He Xiaozhao, Zhang Tiechang, Gao Guangtao (1999), *Construction and Modification of Flexible Feature-Based Models*, Chinese Journal of Mechanical Engineering, v 12, (1), pp. 11-17.
- [21] Dassault Systèmes. SolidWorks, *CAD Productivity Software for Design Comparison*, <http://www.solidworks.com/pages/products/solutions/utilities.html> (Consulté le 23 juin 2003).