



HAL
open science

Annotations et gestion des connaissances en environnement virtuel collaboratif

Stéphane Aubry

► **To cite this version:**

Stéphane Aubry. Annotations et gestion des connaissances en environnement virtuel collaboratif. Interface homme-machine [cs.HC]. Université de Technologie de Compiègne, 2007. Français. NNT : . tel-00160513

HAL Id: tel-00160513

<https://theses.hal.science/tel-00160513v1>

Submitted on 6 Jul 2007

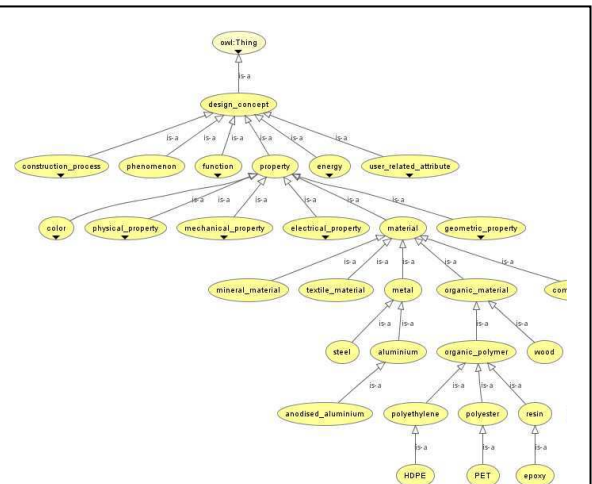
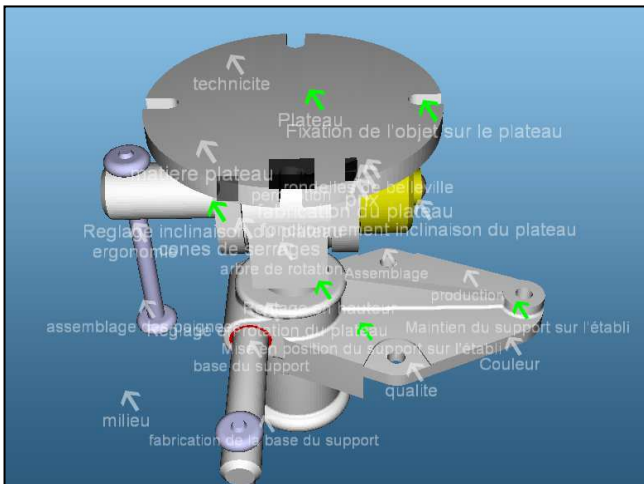
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Par Stéphane AUBRY

ANNOTATIONS ET GESTION DES CONNAISSANCES EN ENVIRONNEMENT VIRTUEL COLLABORATIF

Thèse présentée
 pour l'obtention du grade
 de Docteur de l'UTC



Soutenue le : 28 mai 2007
 Spécialité : Technologies de l'Information et des Systèmes

Stéphane Aubry
Annotations et gestion des connaissances en environnement virtuel collaboratif

**THESE DE DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE TECHNOLOGIE DE
COMPIEGNE**

Spécialité : Technologies de l'Information et des Systèmes (TIS)

**ANNOTATIONS ET GESTION DES CONNAISSANCES EN
ENVIRONNEMENT VIRTUEL COLLABORATIF**

Par **Stéphane Aubry**
Soutenue le 28/05/2007

Directeurs de thèse :	M ^r Dominique Lenne	- UTC (Compiègne)
	M ^{me} Indira Thouvenin	- UTC (Compiègne)
Rapporteurs :	M ^r Patrick Bourdot	- LIMSI (Orsay)
	M ^r Manuel Zacklad	- UTT (Troyes)
Examineurs :	M ^r Jean-Paul Barthès	- UTC (Compiègne)
	M ^r Jacques Tisseau	- ENIB (Brest)

Un grand merci à ...

Tout d'abord, merci à Indira Thouvenin et Dominique Lenne, qui m'ont suivi durant toute la durée de la thèse, pour tous leurs conseils, leurs idées, leur soutien aussi bien scientifique que moral, bref, merci pour tout.

Merci aussi à Manuel Zacklad et Patrick Bourdot pour avoir accepté d'être mes rapporteurs, ainsi qu'à Jacques Tisseau et Jean-Paul Barthès d'avoir accepté de faire partie de mon jury.

Merci à Anne Guénand pour son aide sur la conception orientée utilisateur, et pour m'avoir laissé utiliser les données ADEX pour mes recherches.

Merci à Shigeki Okawa pour m'avoir accueilli et encadré au cours de mon séjour au Chiba Institute of Technology.

Merci à Jérôme Olive et à Romain Lelong pour avoir contribué au développement de Matrics et avoir apporté leurs idées, tant d'un point de vue technique que d'un point de vue des concepts. Je voudrais aussi remercier Mathias Frenal et Sébastien Druge pour m'avoir aidé dans la préparation de l'expérimentation, ainsi que tous les étudiants qui y ont participé.

Merci à Claude Moulin pour m'avoir apporté son avis d'expert qui m'a permis d'avancer sur mes problématiques. Merci à Nicolas Salzmänn pour avoir contribué aux premiers tests sur l'environnement Matrics.

Merci à Mako pour avoir été à mes côtés, pour sa patience et m'avoir donné tous les jours l'énergie pour continuer. Merci à mes parents pour m'avoir toujours écouté et remonté le moral quand j'en avais besoin.

Merci aussi à Erik pour les discussions dans le parc, ou autour d'un café et un peu partout. A Benjamin, David, Medhi et toutes les personnes que j'ai côtoyé tous les jours à l'UTC.

Résumé

Ce mémoire traite de l'utilisation des annotations en environnement virtuel pour aider à l'activité de conception collaborative de produit. Au cours de tels projets, de nombreuses informations sont échangées entre les divers intervenants. La facilitation et la capitalisation de ces échanges sont des points importants pour la réussite du projet. L'utilisation de la réalité virtuelle dans la conception de produit offre de nombreuses possibilités, tant au niveau de l'évaluation de fonctionnalités du produit, notamment grâce à la maquette virtuelle, qu'au niveau de la collaboration entre les utilisateurs. Il reste cependant nécessaire de définir un artefact permettant de capitaliser les échanges directement dans l'environnement virtuel, ce que nous proposons avec les annotations 3D.

Nous présentons dans ce mémoire un modèle de l'annotation 3D. Celui-ci met en avant les spécificités de cette catégorie particulière d'annotations. Le modèle d'annotation comporte trois parties : la forme de l'annotation, sa spatialisation et les méta-données. Nous verrons en particulier des aspects concernant les supports spécifiques à l'annotation 3D, l'ancre de l'annotation et son point de vue géométrique.

Le grand nombre d'annotations pouvant être présentes sur le produit, ainsi que l'absence de sens de lecture canonique d'un objet 3D engendrent des difficultés concernant la manipulation des annotations sur le produit. Le deuxième volet de notre travail concerne l'introduction d'un modèle de connaissances, représentant les concepts utilisés au cours de la conception et permettant l'indexation des annotations. L'objectif de l'introduction de ce modèle de connaissances est de permettre aux utilisateurs d'accéder aux annotations pertinentes par rapport à un aspect donné de la conception du produit.

Nous avons implémenté ces propositions dans un prototype d'environnement virtuel d'annotation, et évalué grâce à cet environnement l'influence de l'utilisation du modèle de connaissances pour aider la lecture des annotations sur le produit. Cette expérimentation indique en particulier que les utilisateurs ayant à disposition le modèle de connaissances réalisent plus souvent correctement les tâches demandées et avec un meilleur niveau de certitude.

Mots-clés : annotations, réalité virtuelle, conception collaborative, ontologies.

Table des matières

Chapitre 1 : Introduction.....	19
1.1. Problématique.....	20
1.1.1. Problématique applicative.....	20
1.1.2. Problématique théorique.....	21
1.2. Cadre théorique.....	21
1.3. Thèse défendue.....	22
1.4. Démarche suivie.....	23
1.5. Structure de ce rapport.....	23
Chapitre 2 : Rôle de la réalité virtuelle en conception collaborative.....	25
2.1. Introduction.....	25
2.2. Conception collaborative.....	25
2.2.1. Situations de conception collaborative.....	25
2.2.2. Approches pour aider la collaboration.....	26
2.2.2.1. Méthodes de conception.....	27
2.2.2.2. TCAO pour la conception.....	28
2.2.2.3. Les SGDT.....	29
2.3. La réalité virtuelle comme outil pour collaborer.....	30
2.3.1. Collaboration présentielle en environnement virtuel.....	30
2.3.2. Environnements collaboratifs virtuels à distance.....	32
2.3.2.1. Monde virtuel vs. collaboration centrée sur l'objet.....	32
2.3.2.2. La sensation de co-présence.....	33
2.3.2.3. Le partage des informations dans le monde virtuel.....	34
2.3.3. La maquette virtuelle.....	35
2.4. Conclusion.....	37
Chapitre 3 : Annotations et collaboration.....	39
3.1. Introduction.....	39
3.2. Formalisation de l'annotation.....	39
3.2.1. Définition d'une annotation.....	39
3.2.2. L'ancre de l'annotation.....	41
3.2.3. Les supports de l'annotation.....	42
3.2.4. Annotations cognitivement/computationnellement sémantiques.....	43
3.3. L'utilisation de l'annotation.....	44
3.3.1. Les acteurs de l'annotation.....	44
3.3.2. Le cycle de vie d'une annotation.....	45
3.3.3. Fonctions des annotations.....	46
3.4. Environnements informatiques d'annotation.....	48
3.4.1. Environnements généralistes et spécialisés.....	48
3.4.2. Utilisation individuelle ou collaborative.....	51
3.4.3. Nature de l'objet annoté.....	53
3.5. Conclusion.....	55

Chapitre 4 : Ontologies : principes et application en conception 57

4.1.	Introduction.....	57
4.2.	La notion d'ontologie.....	57
4.2.1.	Definitions.....	57
4.2.2.	Qu'est-ce qu'une ontologie n'est pas ?.....	58
4.2.3.	Contenu d'une ontologie.....	59
4.2.4.	Classification des ontologies.....	60
4.3.	Création d'ontologies.....	64
4.3.1.	Principes a respecter pour la construction d'une ontologie.....	64
4.3.2.	Méthodes de conception d'ontologies.....	65
4.4.	Représentation de l'ontologie.....	67
4.4.1.	Langages et environnements.....	67
4.4.2.	OWL.....	68
4.4.2.1.	Fonctionnalités d'OWL.....	68
4.4.2.2.	OWL Lite, DL et Full.....	68
4.4.3.	Choix d'un formalisme.....	69
4.5.	Ontologies pour la conception collaborative.....	69
4.5.1.	Connaissances représentées.....	69
4.5.2.	Utilisation.....	71
4.6.	Conclusion.....	72

Chapitre 5 : Modèle d'annotations 3D..... 75

5.1.	Introduction.....	75
5.2.	Définition d'une annotation.....	75
5.2.1.	Dans un contexte général.....	75
5.2.2.	L'annotation 3D.....	77
5.3.	Pourquoi les annotations 3D ?.....	78
5.3.1.	Annotations 3D vs. annotations sur des rendus d'objets 3D.....	78
5.3.2.	Annotations 3D vs. annotations sur la globalité de l'objet 3D.....	79
5.4.	Notre modèle d'annotation 3D.....	80
5.4.1.	Forme de l'annotation.....	82
5.4.1.1.	Les éléments de la forme de l'annotation.....	82
5.4.1.2.	Les supports de l'annotation 3D.....	82
5.4.1.3.	Les annotations multi-supports.....	85
5.4.2.	Les méta-données.....	86
5.4.2.1.	Méta-données épisodiques.....	87
5.4.2.2.	Méta-données sémantiques.....	87
5.4.3.	Spatialisation de l'annotation.....	88
5.4.3.1.	L'ancre de l'annotation.....	89
5.4.3.2.	Le point de vue géométrique.....	91
5.4.3.3.	Conclusion sur la spatialisation.....	96
5.4.4.	Influence de la spatialisation sur la forme : intégration des informations abstraites dans l'environnement 3D.....	97
	• Cas α : Informations abstraites dans un espace 2D (HUD).....	97
	• Cas β : Informations abstraites affichées en tant que telles, positionnées en tant qu'objets 3D.....	99

• Cas γ : Informations abstraites affichées en tant que « sprites 3D » faisant face à la caméra.....	101
• Cas δ : Informations abstraites en tant qu'objets 3D à part entière (WWD).....	102
• Récapitulatif et choix réalisés dans l'environnement Matrics.....	103
5.5. Conclusion.....	105
Chapitre 6 : Modèle de connaissances dans l'environnement Matrics.....	107
6.1. Introduction.....	107
6.2. Pourquoi l'introduction d'un modèle de connaissances ?.....	108
6.3. Le modèle de connaissances.....	109
6.3.1. Choix ontologiques.....	110
6.3.2. Méthode de création de l'ontologie.....	111
6.3.3. Contenu et organisation de l'ontologie.....	111
6.3.3.1. Hiérarchie des concepts.....	111
6.3.3.2. Relations entre les concepts.....	114
6.4. Utilisation du modèle de connaissances : la mise en relation d'entités.....	115
6.4.1. Entités sur lesquelles on peut exploiter les connaissances.....	116
6.4.2. Combinaisons possibles d'entités.....	117
6.4.3. Calcul de la pertinence d'une annotation par rapport à un concept.....	120
6.4.4. Exploitation dans l'environnement 3D.....	122
6.4.4.1. Représentation des entités dans l'espace 3D.....	122
6.4.4.2. Mise en évidence des objets dans l'environnement 3D.....	125
6.5. Conclusion.....	130
Chapitre 7 : L'environnement Matrics.....	131
7.1. Introduction.....	131
7.2. Déroulement d'un projet Matrics.....	132
7.3. Fonctionnalités de l'environnement Matrics.....	133
7.3.1. Création d'annotations.....	133
7.3.2. Création de liens entre une annotation et des concepts de l'ontologie.....	133
7.3.3. Filtrage des annotations.....	135
7.4. Interactions mixtes 2D/3D.....	135
7.5. Architecture de l'application.....	137
7.5.1. Le Deck 2D.....	138
7.5.2. Le client 3D.....	142
7.6. Configurations d'utilisation de l'environnement.....	143
7.6.1. PC de bureau.....	143
7.6.2. PC de bureau – configuration bi-monitoring.....	144
7.6.3. Système stéréoscopique immersif + ordinateur portable.....	145
7.7. Conclusion.....	147
Chapitre 8 : Expérimentations.....	149
8.1. Introduction.....	149
8.2. Objectifs.....	149
8.3. Protocole expérimental.....	151
8.3.1. Conditions de réalisation.....	151
8.3.2. Collecte des résultats.....	155

8.4.	Résultats	156
8.4.1.	Indicateurs généraux	156
8.4.2.	Evaluation des questions posées	159
8.4.3.	Approches pour répondre aux questions posées	161
8.4.4.	Utilisation d'une interface mixte (environnement 3D/deck 2D).....	162
8.4.5.	Problème de la « créativité » des utilisateurs.....	163
8.4.6.	Compréhension du rôle de l'ontologie.....	164
8.5.	Suggestions pour l'environnement Matrics	165
8.5.1.	Concernant la présentation de l'ontologie.....	165
8.5.2.	Visualisation des annotations sur le produit.....	167
8.5.3.	Amélioration de l'interface 2D.	167
8.5.4.	Problème de cadrage du produit annoté.	168
8.6.	Propositions d'expériences complémentaires	170
8.6.1.	Tests sur le cycle de vie complet des annotations.....	170
8.6.2.	Affichage des annotations filtrées dans l'environnement 3D	171
8.7.	Conclusion	171
Chapitre 9 : Bilan et perspectives		173
9.1.	Bilan	173
9.2.	Apports aux problématiques abordées	174
9.2.1.	Problématique applicative.....	174
9.2.2.	Problématique théorique	175
9.3.	Perspectives.....	175
9.4.	Conclusion	176
Chapitre 10 : Bibliographie.....		179
Annexe 1 : Glossaire		193
Annexe 2 : Questionnaire utilisé pendant l'expérimentation.....		197
Annexe 3 : Résultats bruts de l'expérimentation sur l'utilisation du modèle de connaissances		203
Annexe 4 : Comparatif d'environnements d'annotations		211

Liste des figures

Figure 1 : conception distribuée et co-conception	26
Figure 2 : exemple de documents issu de la méthode ADEX [Guénand & Dandault 04].	28
Figure 3 : utilisation du CAVE.....	30
Figure 4 : le CAT [Hachet & al. 03b].....	31
Figure 5 : interaction collaborative et directe avec un mur d'images sous le système HoloWall [Matsushita & Rekimoto 97]. Sur l'image de gauche un utilisateur se sert de ses deux mains pour définir une courbe. L'image de droite présente plusieurs utilisateurs opérant en simultanée.....	32
Figure 6 : Spin-3D : les utilisateurs (avatar à gauche se l'écran) sont réunis autour d'une table et discutent sur le modèle (ici un appareil photo).....	33
Figure 7 : humains virtuels dans VLNET.....	34
Figure 8 : modèle C.A.O. (à gauche) et maquette virtuelle (à droite) du même bateau. Images Dassault Systèmes	36
Figure 9 : représentation en mémoire d'un même objet simple par B-REP (à gauche) et par historique de l'objet (à droite)	37
Figure 10 : les acteurs de l'annotation.....	45
Figure 11 : classification des fonctions des annotations [Azouaou & al. 03].....	47
Figure 12 : annotation d'une page web sous Amaya/Annotea.	49
Figure 13 : le modèle RDF d'annotation utilisé par Annotea. [Kahan & al. 01].....	50
Figure 14 : visualisation d'une annotation sous DocAnnot [Bringay 06]	51
Figure 15 : annotation de documents sous XLibris	52
Figure 16 : annotations sous Catia.....	52
Figure 17 : annotation sur une vidéo avec TK3 reader.....	54
Figure 18 : annotations à main levée sur des objets 3D [Jung & al. 02b].	54
Figure 19 : annotations sous Rhinocéros [Rhino 06].....	55
Figure 20 : taxonomie (à gauche) et ontologie (à droite) des véhicules (adapté de [Mizoguchi 03]).....	59
Figure 21 : l'ontologie de haut niveau définie par Sowa [Sowa 95]	61
Figure 22 : schéma de classification des ontologies.....	64
Figure 23 : exemple de définition de la notion « être humain » avec la méthode OntoSpec [Kassel 02].	66
Figure 24 : étapes de la conception d'une ontologie avec OntoSpec	67
Figure 25 : relation entre Unicode, XML, RDF, et OWL.	68
Figure 26 : extrait de l'ontologie des fonctions proposée par [Kitamura & al. 04].....	70
Figure 27 : racine d'une ontologie utilisée comme canevas pour une activité de conception [Garcia & al. 04] . Une alternative de projet (une solution pour le projet en cours) correspond à la définition du Produit, de l'Organisation et du Process associé au projet.	72
Figure 28 : processus d'annotation sur un rendu d'objet 3D.....	78

Figure 29 : annotations sous BSCW : les annotations ne sont pas contextualisées par rapport au produit.	79
Figure 30 : annotations 3D vs. annotations sur la globalité de l'objet 3D.	80
Figure 31 : notre modèle d'annotation 3D.	81
Figure 32: annotations 3D par surrogats [Latch Craig & Zimring 02]. L'objet 3D encerclé représente l'emplacement d'un écran pour projection.	83
Figure 33 : utilisation d'une marque 3D dans l'environnement SpacePen [Jung & al. 02a]. La marque a une fonction représentative (la fenêtre est dessinée) et une fonction symbolique (la flèche et le mot « move » indiquent l'idée de déplacer la fenêtre)	84
Figure 34 : exemple d'annotation gestuelle. L'utilisateur veut indiquer la posture nécessaire pour atteindre les tiroirs inférieurs.	85
Figure 35 : taxonomie des fonctions argumentatives de l'annotation en conception collaborative.	88
Figure 36 : exemples de description d'ancres spatiales et logiques.	89
Figure 37 : exemples d'ancres d'annotations utilisant une représentation mixte.	91
Figure 38 : Exemple d'annotation où le point de vue géométrique n'est pas correct.	92
Figure 39 : Exemple d'annotation où le point de vue géométrique est correct.	93
Figure 40 : environnement multi-utilisateurs avec tracking de la position des utilisateurs. L'utilisateur A et l'utilisateur B n'ont pas le même point de vue géométrique et ne voient pas la même chose.	94
Figure 41 : trois possibilités concernant la restauration du point de vue géométrique correct dans un environnement multi-utilisateurs avec tracking de leur position.	95
Figure 42 : relations entre les différents concepts liés à la notion de spatialisation et les entités du monde virtuel.	96
Figure 43 : cas α - le système IDT [Latch Craig & Zimring 02] : la partie textuelle des annotations (A) est affichée séparément de l'environnement 3D (B).	98
Figure 44 : cas α - annotation sur une selle de vélo. On note en particulier que l'affichage du label textuel ne dépend ni de la position de la caméra (B), ni de son orientation (C), ni de l'échelle de visualisation (D).	99
Figure 45 : cas β - exemple de l'affichage d'une annotation en utilisant le cas β (montage). L'annotation suit son ancre, mais n'est modifiée ni en rotation, ni en changement d'échelle. ...	100
Figure 46 : cas γ - annotations dans l'environnement Matrics. On peut remarquer ici en particulier que les annotations portant sur des objets proches apparaissent grossies, donnant des indications de perspective.	101
Figure 47 : cas δ - annotations sous Catia. Le texte des annotations fait partie intégrante de l'environnement 3D (image © Dassault Systèmes).	102
Figure 48 : cas δ dans l'environnement Matrics (essai). Il est nécessaire de déplacer la caméra virtuelle pour visualiser les annotations se trouvant à droite du produit.	103
Figure 49 : relation entre facilité de lecture et niveau d'intégration pour les informations abstraites.	104

Figure 50 : l'environnement Matrics : les informations abstraites sont à la fois représentées par une vue 2D détaillée distincte de l'environnement 3D (cas α) et une vue intégrée à l'environnement 3D (cas γ)	105
Figure 51 : configuration de test.....	108
Figure 52 : le cadre de vélo annoté en affichant le texte des annotations (à gauche) et en ne montrant que les ancrs (à droite).....	109
Figure 53 : extrait de la hiérarchie des concepts de l'ontologie Matrics, vue centrée sur le concept « material » (sous-concept de design_concept)	112
Figure 54 : modélisation de la méthode ADEX dans l'ontologie Matrics (hiérarchie is-a). Pour des raisons de lisibilité, seuls les concepts de premier niveau sont affichés.	114
Figure 55 : exemple de deux concepts liés à deux méthodes différentes partageant le même concept.	115
Figure 56 : exemples de profils d'utilisateurs vis-à-vis du modèle de connaissances.....	116
Figure 57 : les différentes entités liées directement ou indirectement au modèle de connaissances	117
Figure 58 : exemple de « carte de pertinence », calculée à partir du concept « matériau ».	121
Figure 59 : représentation des autres utilisateurs par un cône perception (ici, en vert à l'écran) dans l'environnement Matrics.	123
Figure 60 : les utilisateurs non connectés sont représentés par des icônes en surimpression (maquette).....	124
Figure 61 : utilisation de la couleur pour coder la pertinence des annotations par rapport à un concept.	126
Figure 62 : utilisation de la taille pour représenter la pertinence des annotations. Notez la confusion possible par exemple pour l'annotation se trouvant au niveau de la roue avant gauche (A) : celle-ci à le même niveau de pertinence que l'annotation (B). La différence de taille est due à un effet de perspective.	127
Figure 63 : utilisation de la couche alpha pour représenter la pertinence des annotations.....	128
Figure 64 : problème de l'utilisation de l'orientation pour la mise en évidence des annotations : deux interprétations sont possibles.	129
Figure 65 : les deux interfaces de l'environnement Matrics.....	131
Figure 66 : cycle de vie d'un produit annoté	132
Figure 67 : suggestion automatique de concepts dans l'éditeur d'annotations.	134
Figure 68 : la barre d'outils du concept browser. Le bouton « Link » permet de lier l'annotation courante au concept visualisé. L'utilisateur peut retourner à l'éditeur par l'option « Go back ».	134
Figure 69 : la même vue du produit annoté, sans filtrage (à gauche), avec filtrage sur la couleur (centre) et sur la transparence (à droite).	135
Figure 70 : résumé des interactions mixtes entre le client 3D et le Deck 2D.....	137
Figure 71: architecture de l'environnement Matrics	138
Figure 72 : Deck 2D – la console d'administration.	139
Figure 73 : Deck 2D – l'écran de sélection de projets.....	139

Figure 74 : Deck 2D – Visualisateur de projet : la partie du haut donne les détails du projet (nom, auteur, utilisateur connectés, description). La partie du milieu correspond à la liste des concepts liés au projet. La liste du bas correspond aux annotations posées sur le produit.	140
Figure 75 : Deck 2D – l’éditeur d’annotation	141
Figure 76 : Deck 2D – Le Concept Browser.....	142
Figure 77 : enchaînement des différents éléments de l’interface dans l’environnement 3D.	143
Figure 78 : les deux clients de l’environnement Matrics tournant sur un PC de bureau.	144
Figure 79 : l’environnement Matrics tournant sur un machine en bi-monitoring.....	145
Figure 80 : description de la configuration pour une utilisation de Matrics sur avec un ordinateur portable + système immersif.	146
Figure 81 : l’environnement Matrics sous système stéréoscopique immersif.	147
Figure 82 : l’éditeur d’annotation pour les utilisateurs du groupe K (à gauche) et -K (à droite), on note la disparition des outils de gestion des concepts liés à droite de l’écran.	152
Figure 83 : les deux produits utilisés pour les expérimentations.	153
Figure 84 : photo prise au cours d’une expérimentation. L’utilisateur (à l’arrière plan) manipule Matrics en configuration bi-monitoring. L’observateur (au premier plan) note le comportement et les remarques de l’utilisateur.	155
Figure 85 : temps total pour répondre aux questions pour chaque groupe (moyenne par utilisateur)	157
Figure 86 : résultats globaux concernant la qualité des réponses données.	158
Figure 87 : degré de certitude aux réponses données aux exercices.	158
Figure 88 : nombre d’annotations consultées avant de donner la réponse.....	159
Figure 89 : approches différentes, selon les groupes, pour répondre aux questions posées.	162
Figure 90 : les concepts liés au concept « Matériau ».....	164
Figure 91 : maquette de la barre latérale de l’ontologie intégrée à l’éditeur d’annotation.	166
Figure 92 : annotations affichées par pointage (les annotations sont affichées en rouge).	167
Figure 93 : illustration sur un cas concret du problème du point de vue géométrique annoté....	169
Figure 94 : temps nécessaire pour réaliser les exercices.....	203
Figure 95 : résultats globaux concernant la qualité des réponses données.	204
Figure 96 : degré de certitude aux réponses données aux exercices.	205
Figure 97 : nombre d’annotations consultées.....	206

Liste des tableaux

Table 1 : exemples d’ancres	42
Table 2 : les différentes combinaisons possibles pour une définition mixte des ancres de l’annotation.	91
Table 3 : tableau récapitulatif des niveaux d’intégration des informations abstraites dans l’espace 3D.	103
Table 4 : exploitation du modèle de connaissances : les différentes combinaisons existantes entre l’information que l’on cherche et l’information dont on part.	117
Table 5 : classification des réponses données au questionnaire (en pourcentage).	204
Table 6 : nombre d’annotations consultées.	205

Introduction

La conception collaborative de produit est un processus complexe qui fait intervenir de nombreux acteurs. Au cours d'un projet, ces différents acteurs s'échangent des informations sous diverses formes : documents papier, mails, conversations téléphoniques ... Cependant, bon nombre de ces informations sont perdues, ce qui constitue un problème majeur [Guénand & Dandault 04].

Cette perte d'informations peut être limitée d'au moins deux manières : d'une part en capitalisant les informations échangées lors des sessions de collaboration afin que celles-ci puissent être réutilisées et d'autre part en permettant aux concepteurs de communiquer de manière plus efficace autour du produit. Améliorer l'un ou l'autre de ces aspects est l'objet de deux domaines de recherches bien distincts.

Concernant le premier aspect, les systèmes de TCAO (travail collaboratif assisté par ordinateur, CSCW en anglais – Computer Supported Collaborative Work), tels que BSCW [BSCW 06] proposent une capitalisation des connaissances. Cependant, les membres du projet, en utilisant ce genre de systèmes, communiquent dans un environnement (l'environnement de collaboration) différent de celui utilisé pour visualiser le produit (l'outil de C.A.O.), créant une surcharge cognitive due aux nombreux allers-retours entre ces deux espaces [Verlinden & al. 93], et gênant une communication efficace autour du produit.

En ce qui concerne le deuxième aspect, l'intégration de la réalité virtuelle comme outil de la conception offre de nouvelles approches sur cette activité [Fuchs & Richir 06]. En particulier, l'utilisation d'environnements virtuels collaboratifs permet aux utilisateurs de se réunir dans l'environnement virtuel et de se concerter autour de l'objet. Spin-3D est un exemple d'un tel environnement [Dumas & al 99b]. De tels systèmes permettent de communiquer dans le même espace que celui dans lequel est représenté l'objet, et peuvent faciliter ainsi la communication autour de l'objet. La capitalisation des connaissances n'est cependant que très peu prise en compte dans ce type d'environnement.

Afin de combiner une capitalisation des échanges et une communication efficace dans l'environnement virtuel, nous proposons d'étudier l'utilisation d'annotations comme support des échanges réalisés dans un environnement virtuel.

L'annotation de documents est une pratique très répandue [Wolfe 02] dans de nombreux domaines de la vie courante (corrections de documents écrits, annotation lors de la lecture d'un article pour faciliter sa compréhension ultérieure, notes sur des plans ...), et cette pratique se retrouve adaptée aux documents numériques dans de nombreux domaines d'application, comme par exemple la collaboration autour de documents Web [Kahan & al. 01] ou encore la gestion du dossier patient dans le milieu médical [Bringay 06]. L'utilisation d'annotations dans l'environnement virtuel permet de lier directement au produit les échanges informels et laissent une trace des sessions de collaboration.

1.1. Problématique

1.1.1. Problématique applicative

D'un point de vue applicatif, notre objectif est double : le premier est la facilitation des échanges entre les membres du projet, et le deuxième concerne la capitalisation et la ré-exploitation de ces échanges.

Sur la facilitation des échanges entre les acteurs d'un projet de conception, nous cherchons en particulier en quoi une communication dans un environnement virtuel facilite cette communication. Plus précisément, nous nous demanderons si certains messages, qui ne peuvent pas être exprimés par des moyens de communication classiques (par exemple, mail, messagerie instantanée, téléphone ...), peuvent être exprimés en environnement virtuel. De plus, la communication peut être améliorée en supprimant des incompréhensions, nous devons identifier les moyens de limiter ces incompréhensions grâce à une collaboration dans l'environnement virtuel.

Concernant la capitalisation et la ré-exploitation des échanges effectués au cours du projet, nous cherchons à mettre en place une approche permettant de conserver la trace des échanges informels sur le produit. Deux difficultés se présentent vis-à-vis de cet objectif.

D'une part, les échanges informels sur un produit se font au fil de la collaboration et il n'y a pas de logique de capitalisation des connaissances lors de leur réalisation. Ainsi, nous cherchons à définir un moyen de capitalisation de ces échanges permettant d'aborder ultérieurement l'accès à ces échanges capitalisés comme un ensemble cohérent.

D'autre part, les échanges sont réalisés sur le produit dans un certain contexte parfois nécessaire à la compréhension *a posteriori* de la collaboration. Ainsi, la partie du produit qu'observent les participants, leur position autour de la maquette ou encore leurs mouvements sont autant d'indices qui peuvent participer à la compréhension des échanges. Nous devons prendre en compte ces paramètres.

1.1.2. Problématique théorique

Bien que des formalismes existent pour les annotations « classiques » (sur document 2D), il n'existe pas à l'heure actuelle de formalisme de l'annotation 3D. La première question à laquelle nous souhaitons répondre est : qu'est ce qu'une annotation 3D et en quoi celle-ci diffère-t-elle d'une annotation sur un document 2D ? Nous nous attacherons donc à définir et à formaliser l'annotation 3D, et à mettre en avant les propriétés qui lui sont spécifiques.

De plus, nous nous demanderons en quoi l'utilisation d'un environnement virtuel influe sur la pratique d'annotation. En effet, passer d'un paradigme d'annotation sur document 2D à un paradigme d'annotation dans l'environnement virtuel change la manière dont les acteurs du projet vont interagir. Le fait de pouvoir échanger ses idées dans l'environnement virtuel facilitera la communication sur certains points, que nous tâcherons d'identifier.

De manière plus large, nous abordons la question de l'intégration des connaissances dans l'environnement virtuel. La représentation tridimensionnelle utilisée dans l'environnement virtuel répond à des règles différentes des supports documentaires 2D. Nous devons donc imaginer la forme des connaissances dans l'environnement virtuel, mais aussi les modalités d'interactions de l'utilisateur avec celles-ci et les outils qui peuvent être mis à sa disposition pour en faciliter l'accès.

1.2. *Cadre théorique*

Les travaux présentés ici ont une dimension pluridisciplinaire très marquée. Nous allons présenter les domaines qui ont servi de cadre théorique à nos recherches.

Nous nous sommes tout d'abord basés sur les travaux existants dans le domaine de la réalité virtuelle, et plus particulièrement de la **réalité virtuelle pour la conception** et la collaboration. L'idée d'utiliser la réalité virtuelle pour faciliter le processus de conception de produit est une idée qui a été étudiée, notamment par le biais de la maquette virtuelle [Père & Paillot 03]. Celle-ci offre aux différents acteurs du projet une représentation en temps réel et interactive du produit, qui peut être manipulée, visualisée selon divers points de vues, leur permettant ainsi en particulier de tester plusieurs aspects du produit sans avoir recours à la maquette physique [Fuchs & Richir 06].

L'autre approche est celle des **Environnements Virtuels Collaboratifs** (EVC). Ce type d'environnement permet aux utilisateurs de partager une représentation commune du monde virtuel et d'effectuer des échanges par le biais de celui-ci. Plusieurs métaphores de collaboration dans l'EVC existent, soit centrées sur le monde virtuel [Carlsson 93], soit sur l'objet de la collaboration [Dumas & al 99b]. Cette collaboration peut être réalisée de manière présenteielle [Matsushita & Rekimoto 97] ou à distance, les utilisateurs étant alors généralement représentés par des avatars [Benford & al. 95].

Nous nous baserons également sur la théorie des **IRVE** (Information-Rich Virtual Environment), présentée par Bowman [Bowman & al. 03]. Un IRVE désigne un environnement virtuel présentant simultanément un environnement réaliste et des données abstraites liées à celui-ci. Ce concept servira de cadre à l'intégration des contenus des annotations dans l'environnement virtuel.

Plusieurs études, à la fois théoriques et pratiques, existent dans le domaine de l'**annotation**. Nous nous baserons en particulier sur les modèles de l'annotation pour les documents de type « 2D » [Bringay 06], [Azouaou & Desmoulins 05], pour construire notre modèle. D'autre part, nous utiliserons un certain nombre de concepts se retrouvant dans l'annotation 2D, tels que le cycle de vie de l'annotation [Bringay & al. 03]. Dans des situations de conception collaborative, l'annotation est considérée comme un artefact central de la collaboration [Zacklad & al. 03], [Boujut 03a], [Lortal 05], nous nous baserons donc sur les idées développées dans ce courant de pensée.

Il existe enfin plusieurs travaux existants sur les **annotations en environnement virtuel** [Latch Craig & Zimring 02], [Jung & al. 02a], [Rissanen & al. 06], décrivant les possibilités qui sont offertes par ce type de communication. Il n'existe pas à notre connaissance de formalisation de la notion d'annotation 3D, ce que nous proposons dans ce mémoire de thèse.

Notre travail se base enfin sur les travaux existants dans le domaine de l'**ingénierie ontologique**. D'un point de vue de l'utilisation de l'ontologie, l'étude bibliographique montre que la mise en œuvre d'une ontologie pour supporter la conception collaborative est une approche répandue [Garcia & al. 04], [Yoshioka & al. 04], [Kitamura & Mizoguchi 03]. Nous nous placerons plus spécifiquement dans le cadre de l'utilisation d'une ontologie comme support de la capitalisation des échanges effectués. D'un point de vue de la conception de notre ontologie, nous nous inspirerons des différents principes et méthodes [Psyche 03] existants, en retenant notre attention plus spécifiquement sur OntoSpec [Kassel 02], du fait de sa simplicité de mise en œuvre et de sa polyvalence.

1.3. Thèse défendue

Nous souhaitons apporter plus particulièrement dans ce rapport deux contributions à la problématique des annotations en environnement 3D.

Notre première contribution concerne la formalisation de la notion d'annotation 3D. Cette formalisation est basée sur la création d'un modèle de l'annotation 3D, comportant trois composantes : la forme, la spatialisation et les méta-données. Nous nous sommes basés sur les travaux déjà existants dans le cadre de l'annotation de document pour dégager plus particulièrement les spécificités des annotations en environnement virtuel.

Notre deuxième contribution porte sur l'introduction d'un modèle de connaissances pour faciliter la manipulation des annotations dans l'environnement virtuel. Nous représentons dans ce

modèle les connaissances mises en jeu au cours de l'activité de conception du produit afin d'indexer les annotations pour faciliter leur capitalisation.

1.4. Démarche suivie

La première étape de notre démarche fut une analyse de plusieurs situations de conception de produit. Nous avons effectué cette analyse à partir d'entretiens de personnes impliquées dans des activités de conception. Nous nous sommes de plus basés sur un projet d'analyse de la conception de produit à distance dans un cadre universitaire, le projet AACC [Thouvenin & al. 03].

Nous nous sommes basés sur ces entretiens pour dégager deux problèmes rencontrés dans des situations de conception collaborative : le besoin d'un support permettant la facilitation des échanges entre les participants du projet et la perte d'informations au cours de la conception.

Après avoir identifié et étudié les domaines abordant cette problématique (réalité virtuelle pour la conception, CSCW, ingénierie des connaissances), notre démarche a consisté à faire converger ces domaines et à proposer un premier pas vers la convergence de ceux-ci, par le biais de la notion d'annotation 3D.

Une fois la conceptualisation de l'annotation 3D mise en place, nous avons testé nos propositions par le biais de l'évaluation d'un prototype d'environnement virtuel d'annotation. Ce dernier implémente les concepts que nous avons développés. Nous avons à partir de ce point adopté une approche incrémentale (formulation d'hypothèses, implémentation, puis évaluation) afin d'affiner nos propositions.

1.5. Structure de ce rapport

Ce rapport est composé de deux grandes parties distinctes : la première partie est un état de l'art des domaines sur lesquels nous nous basons (chapitres 2, 3 et 4), la deuxième partie présente les travaux réalisés au cours de cette thèse (chapitres 5 à 9).

Nous présenterons dans le chapitre deux les travaux réalisés en réalité virtuelle autour de deux problématiques : la conception et la collaboration en environnement virtuel. Ces deux problématiques étant en forte interaction, certaines des idées que nous présenterons dans ce chapitre se situeront à l'intersection de ceux-ci.

Le troisième chapitre est un état de l'art sur la question des annotations, et plus particulièrement des annotations pour la collaboration. Nous y présenterons les problématiques abordées autour de la notion de l'annotation, ainsi plusieurs environnements permettant cette activité.

Le quatrième chapitre sera consacré à l'étude de la représentation des connaissances, en particulier par le biais d'ontologies. Bien que le sujet de ce rapport ne soit pas l'étude des

ontologies, nous utilisons ces dernières comme un outil sur lequel nous allons nous baser pour permettre une indexation et une manipulation de nos annotations. Nous nous baserons donc sur des travaux déjà existants pour nous aider à la création de notre ontologie.

Le chapitre 5, présente nos travaux concernant l'étude détaillée de la notion d'annotation en environnement 3D, et en particulier des spécificités de ces dernières par rapport au cadre générique de l'annotation de documents. Cette réflexion sera centrée sur la construction d'un modèle de l'annotation 3D.

Une première évaluation nous a permis de mettre en avant la nécessité d'apporter une aide à la manipulation des annotations sur le produit. Nous proposons pour cela l'introduction d'une ontologie indexant le contenu des annotations. Le chapitre 6 présente cette ontologie, ainsi que les différentes possibilités d'exploitations de cette dernière dans l'environnement virtuel.

Les concepts développés dans les deux chapitres précédents ont été mis en place dans un environnement de test (l'environnement Matrics), qui sera présenté dans le chapitre 7. Ce chapitre, à vocation technique, présentera les points les plus importants de cet environnement.

Afin de valider nos hypothèses concernant l'introduction du modèle de connaissances, nous avons réalisé des expérimentations centrées sur l'influence de l'utilisation du modèle de connaissances sur l'activité de lecture du produit annoté. Le chapitre 8 présentera les expérimentations en question, ainsi que les résultats obtenus et les conclusions que l'on peut en tirer.

Enfin, le chapitre 9 présente les conclusions de notre travail. Nous soulignons les apports du travail que nous avons effectué au cours de cette thèse et présentons nos perspectives de recherche.

Rôle de la réalité virtuelle en conception collaborative

2.1. Introduction

Le processus de conception collaborative est très complexe et fait souvent intervenir un grand nombre de participants. L'apparition de situations de collaboration où les différents acteurs sont répartis sur différents sites amène à proposer des outils pour supporter la collaboration en conception.

L'utilisation de la réalité virtuelle constitue une approche innovante pour supporter la collaboration, non seulement de manière présentielle, mais aussi à distance. Ces nouveaux outils doivent cependant être intégrés avec les outils et processus existants. En particulier, en plus du paradigme actuel de CAO vient s'ajouter celui de la CARV (Conception Assistée par Réalité Virtuelle) [Bourdot & al. 06].

L'objectif de ce chapitre est de montrer en quoi l'utilisation de la réalité virtuelle facilite la conception collaborative. Nous présenterons tout d'abord des aspects de la conception collaborative et du Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur (T.C.A.O.) pour ensuite présenter différentes approches d'utilisation de la réalité virtuelle comme support de la conception collaborative.

2.2. Conception collaborative

2.2.1. Situations de conception collaborative

De plus en plus, la réalisation d'un projet de conception demande l'intervention de plusieurs corps de métier, devant agir de manière collective. On assiste donc à un décloisonnement des différents métiers intervenant dans le processus de conception et de fabrication du produit [Lonchamp 03]. De plus, du fait de la dispersion géographique des équipes et de l'appel à la sous-traitance, les différents acteurs se trouvent de plus en plus souvent répartis sur des lieux géographiques différents. La conception collaborative est donc une réalité industrielle. Nous allons décrire ici les concepts principaux impliqués dans le processus de conception collaborative.

Au cours d'un projet de conception collaborative, on peut distinguer deux phases de conception : des phases de conception distribuée (loosely coupled design), où chaque acteur travaille sur la partie du projet qui lui est propre, et des phases de co-conception (close coupled design), où tous les acteurs du projet travaillent en même temps sur la globalité du produit. [Kvan 00].

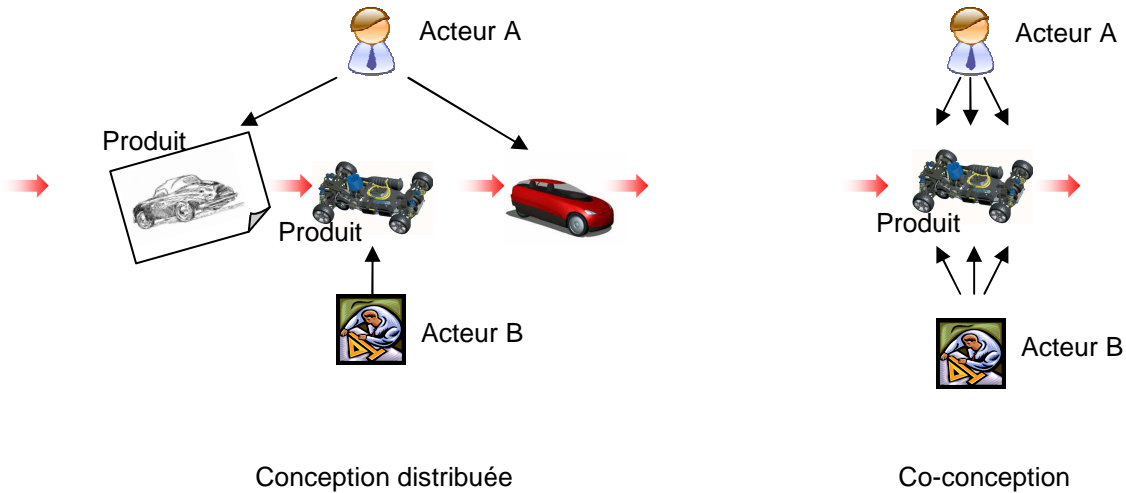


Figure 1 : conception distribuée et co-conception¹.

La synchronisation cognitive est l'action de vérifier et d'harmoniser la représentation commune des concepts, objectifs, difficultés et autres éléments du projet. Cette activité de synchronisation cognitive est prédominante dans une situation de conception collaborative [Détienne & al. 04], que celle-ci soit médiatisée ou non.

Le projet CADAU² analyse des projets de conception collaborative de projets innovants réalisés à distance par des étudiants [Thouvenin & al. 03]. Dans ce projet, on note en particulier que les échanges dans les phases amont de la coopération ne sont pas capitalisés.

D'autre part, cette analyse met en avant l'importance de la « perception de (co)-présence » de l'équipe distante, c'est-à-dire l'impression « qu'un ou plusieurs autres être humains travaillent sur le même projet ». Nous verrons que cette notion de présence se retrouvera avec l'utilisation d'environnements virtuels.

2.2.2. Approches pour aider la collaboration

Du fait de la complexité du processus de conception collaborative, de nombreuses solutions ont été pensées pour assister les acteurs du projet tout au long de ce dernier. Ces

¹ A des fins de simplification, le schéma ci-dessous montre un enchaînement linéaire des tâches pour la conception distribuée. Cependant, il est fréquent que l'enchaînement des tâches ne soit pas linéaire.

² CADAU : C.A.D. Across Universities

solutions peuvent être informatiques (on parle alors de T.C.A.O.³ – Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur) ou non informatiques (comme l'utilisation de méthodes de conception).

2.2.2.1. Méthodes de conception

Une première approche pour l'instrumentation de projets de conception collaborative est l'utilisation de méthodes de conception.

Les différents acteurs des projets de conception se basent alors sur des méthodes, par exemple d'analyse fonctionnelle [Bachelet 06] ou d'analyse de la valeur, pour formaliser les aspects du projet sur lesquels ils travaillent.

Nous pouvons citer comme exemple de ce type de méthode la méthode APTE [APTE 06], permettant à la fois une analyse de la valeur et une analyse fonctionnelle du produit. Cette méthode vise à aider à structurer cette partie de la conception du produit, en proposant un découpage de l'analyse en « volets » (par exemple la définition des buts du projet, la création du cahier des charges fonctionnel ...) Elle assiste aussi dans les démarches cognitives à l'intérieur de chaque étape par le biais d'outils (comme le diagramme d'environnement en « pieuvre »⁴).

Partant de la constatation que l'utilisation exclusive de l'analyse fonctionnelle et de l'analyse de la valeur ne permettait pas de formaliser la perception de l'utilisateur sur le produit, des méthodes dédiées à cet aspect ont été mises en place. Ainsi, la méthode ADEX est un « outil sémiologique permettant de 1/ expliciter le savoir implicite qui est important pour le reste du développement du produit et 2/ construire l'argumentation de toutes les propositions de conception en ce qui concerne les valeurs sémiologiques, et aider à une représentation commune durant la période d'évaluation » [Guénand & Dandault 04].

La méthode se présente en particulier sous la forme d'une hiérarchie de critères (ex : « statut de l'utilisateur »), selon lesquels le designer explicite les choix qu'il a fait par rapport à ce critère. Chaque argument est alors accompagné de mot-clés, d'images d'exemple, de contre-exemples, ainsi que de la retranscription sur le produit (voir la Figure 2 ci-dessous).

³ L'acronyme anglophone est aussi assez utilisé : CSCW (Computer Supported Collaborative Work).

⁴ Voir le glossaire pour la description d'un diagramme en pieuvre.

Critères	Mots clés	Images de références	Focus produit/Transcription	Ce qu'il ne faut pas faire.
Perception des valeurs de confort d'usage.	Flable simple non contraignant		 <p>L'ensemble donne une impression de simplicité et de fiabilité. La partie d'assise doit inviter à s'asseoir. Le textile doit venir en contraste avec le reste des matériaux utilisés dans produit >production d'une émotion tactile >confort >envie de tester.</p>	 <p>Siège rigide en composite ou rotomoulage.</p>

Figure 2 : exemple de documents issu de la méthode ADEX [Guénand & Dandault 04].

Ce type d'approche permet de créer un référentiel commun aux différents acteurs du projet, mais la question de leur intégration dans l'outil informatique, aujourd'hui au centre du processus de conception, reste ouverte.

2.2.2.2. TCAO pour la conception

Le TCAO regroupe plusieurs problématiques centrées sur l'utilisation de l'outil informatique pour assister la collaboration.

Le premier niveau du TCAO pour la conception est la télé-ingénierie opérative. Ce type d'approche, utilisé pour des situations de collaboration synchrone, concerne l'utilisation d'outils non spécifiques pour assister la conception collaborative [Lonchamp 03]. Ces outils sont de plusieurs types : logiciels de partage d'application, système d'audio/vidéo conférence, tableaux blanc partagés. Un certain nombre d'études se sont penchées sur l'utilisation de telles solutions [Blanco et al. 01], mais il est apparu que les outils génériques n'étaient pas adaptés à la tâche de conception. Nous nous sommes donc tournés vers des outils spécialisés.

Dans le cadre de notre travail, nous nous sommes plus particulièrement intéressés à deux points : en quoi ces outils facilitent-ils la capitalisation des connaissances d'une part, et en quoi l'utilisation d'outils spécifiques permet-elle de faciliter la communication entre les acteurs du projet d'autre part.

Au cours de la conception du produit, les différents acteurs du projet s'échangent différentes productions, servant à déterminer les spécifications du produit en cours, et constituent des supports de la connaissance sur le produit : ces objets sont définis comme des « objets intermédiaires » [Boujut & Blanco 03b] .

Afin de gérer la capitalisation des connaissances transmises avec ces objets intermédiaires, une première approche du support à la collaboration est la gestion de ces productions par le biais de systèmes informatiques appropriés. Un exemple de ce type de

système est BSCW⁵, dans lequel les acteurs de la conception peuvent partager les productions qu'ils ont réalisées, les indexer et communiquer par le biais de notes accompagnant ces objets. [BSCW 06]. Des environnements permettent une gestion de connaissances spécifiques à la conception collaborative, comme c'est le cas pour ACSP [Gomes & al. 03], qui propose une structuration des différentes productions de la conception autour de quatre pôles relatifs à la création d'un produit : conception de projet, conception de produit, conception de process et conception des activités [Gomes 05].

Faciliter la conscience de groupe (« awareness » en anglais) est l'un des objectifs à atteindre lors de la collaboration à distance. La conscience de groupe désigne la « compréhension des activités des autres, qui procure un cadre pour votre propre activité ». La mise en relation des acteurs du projet disposant de centres d'intérêts proches en calculant leur profil permet d'améliorer cette conscience de groupe. Ainsi, dans [Tacla & Enembreck 05], le calcul des profils des utilisateurs, ainsi que leur mise en relation se fait par le biais d'une société d'agents.

2.2.2.3. Les SGDT

Lors d'une situation de collaboration asynchrone, il est important que les différents membres du projet puissent se baser sur un « référentiel » commun [Lonchamp 03]. Afin de créer ce référentiel commun, on utilise les systèmes de gestion des données techniques (SGDT). Un SGDT permet non seulement de fédérer les diverses pièces composant le produit (maquette C.A.O.), mais permet aussi de [Bouchard & Tollenaere 97] :

- « Fédérer les informations relatives à un projet et faciliter leur accès.
- Sécuriser ces informations par le biais d'une gestion des droits d'accès des utilisateurs et les accès concurrents.
- Cette sécurisation passe par la définition de profils utilisateurs, spécifiant leurs droits, mais aussi leur fonction dans le projet.
- Gérer les versions des documents et leur historique (notion de *traçabilité*)
- Définir les différents modes de publication de ces informations par la gestion des « *wokflows* » (modélisation des procédures de publications).
- Gérer les liens existants entre ces informations et gérer les différents points de vue que les différents corps de métier d'une entreprise à sur le même projet.
- Gérer le temps et les points de prise de décision.
- Gérer les liens existants entre différents produits d'une même gamme partageant des pièces ou des sous-ensembles communs.

⁵ BSCW : Basic Support For Collaborative Work

- Gérer la répercussion d'une modification sur un élément de la base du produit.
- D'assurer la maîtrise complète de toutes ces informations au cours des étapes de cycle du vie du produit. »

2.3. La réalité virtuelle comme outil pour collaborer

L'introduction de la réalité virtuelle dans le cycle de conception présente de nombreux avantages (multiplication des choix possibles, mise en scène des produits dans différents environnements ...) [Fuchs & Richir 06], et trouve de plus en plus sa place dans le processus de conception. Nous allons voir ici en particulier en quoi la réalité virtuelle peut être utilisée pour la collaboration dans de telles situations.

2.3.1. Collaboration présentielle en environnement virtuel

Une première approche de l'utilisation de la réalité virtuelle pour l'aide à la collaboration est l'utilisation de dispositifs permettant la visualisation collective de données pour la collaboration présentielle [Hachet & al. 03a] en particulier pour des réunions impliquant un grand nombre de participants. L'utilisation de systèmes tels que des CAVE [Cruz Neira & al. 93] ou des murs d'images crée un espace commun de communication [Stewart & al. 99] permettant aux utilisateurs de disposer de la même perception du projet.



Figure 3 : utilisation du CAVE.

En plus du confort de vision et de ce partage du point de vue sur l'objet, l'utilisation de systèmes de visualisation collective permet de visualiser de manière simultanée sur le même espace une grande quantité d'informations, et aussi de travailler en réalisant simultanément des interactions sociales (entre les participants) et informatiques (avec le système) [Bourdot & al. 06].

Les modalités d'interaction avec le système doivent cependant être redéfinies. En effet, les caractéristiques de ces systèmes impliquent de penser de nouveaux moyens d'interagir [Guimbretière & al. 01] :

- Tout d'abord, les dimensions du dispositif d'affichage ne sont pas adaptées aux périphériques de pointage classiques : l'utilisation de périphériques isotoniques (comme par exemple une souris) force l'utilisateur à faire des mouvements de grande amplitude. L'utilisation de périphériques purement isométriques, engendrerait des temps de déplacement trop importants. Enfin, l'augmentation de la sensibilité de tels périphériques rendrait leur précision trop faible.
- D'autre part, les périphériques d'interaction classiques sont pensés dans un cadre mono-utilisateur, alors que l'utilisation de ces périphériques d'affichage se fait dans un cadre multi-utilisateur. Il faut donc penser directement les interactions dans un cadre multi-utilisateur.
- Enfin, ces systèmes s'utilisent généralement debout. Il est donc nécessaire d'avoir des systèmes d'interaction pensés pour une utilisation dans cette position.

Une première approche consiste à développer des interfaces propres à la collaboration sur systèmes de visualisation collectives. Le CAT, développé au LaBRI, est une interface créée spécialement pour une utilisation dans un système avec une grande surface d'affichage [Hachet & al. 03b]. Le système permet une manipulation isométrique en déplacement (adapté au problème de taille de l'affichage) et isotonique en rotation (afin de faciliter la manipulation).



Figure 4 : le CAT [Hachet & al. 03b]

Une autre approche consiste à supprimer les périphériques d'interaction avec le système et de proposer à l'utilisateur de manipuler les données directement avec son corps. Dans cet esprit, le HoloWall [Matsushita & Rekimoto 97] est un mur de visualisation collective sur lequel les utilisateurs interagissent en le touchant directement. Cette approche permet non seulement de nouvelles interactions, comme l'utilisation simultanée des deux mains (voir figure ci-dessous, à gauche), mais est aussi par essence multi-utilisateurs (voir figure ci-dessous, à droite)

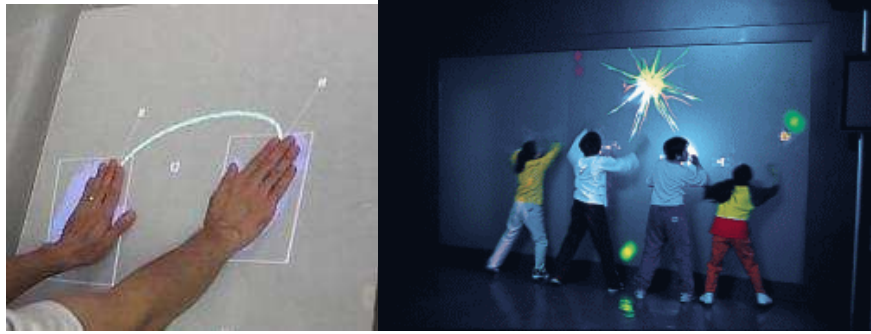


Figure 5 : interaction collaborative et directe avec un mur d'images sous le système HoloWall [Matsushita & Rekimoto 97]. Sur l'image de gauche un utilisateur se sert de ses deux mains pour définir une courbe. L'image de droite présente plusieurs utilisateurs opérant en simultané.

2.3.2. Environnements collaboratifs virtuels à distance

Comme nous l'avons vu plus haut, de plus en plus de projets de conception se réalisent à distance. De ce fait, une catégorie particulière d'environnements virtuels, mettant l'utilisateur au cœur de la conception a fait son apparition : les environnements virtuels collaboratifs à distance. On peut faire remonter l'historique des environnements collaboratifs virtuels à SIMNET (basé sur le protocole DIS), développé par la DARPA, et permettant aux militaires de mettre au point leurs tactiques pendant leur période d'entraînement.

2.3.2.1. Monde virtuel vs. collaboration centrée sur l'objet

Plusieurs métaphores sur le lieu de collaboration existent, le choix de cette métaphore étant défini par le type de collaboration souhaitée. L'approche la plus généraliste est de proposer aux utilisateurs de se retrouver dans un *monde virtuel*, dans lequel les différents acteurs du projet peuvent se déplacer librement. C'est par exemple l'approche choisie dans DIVE [Carlsson & Hagsand 93], ou encore dans les systèmes développés à des fins ludiques, tels que Second Life [Second Life 06].

Les mondes virtuels dans lesquels les utilisateurs collaborent peuvent être très grands, et la communication aux utilisateurs de tous les événements de ce monde peut rapidement entraîner une surcharge du réseau. Afin de limiter l'utilisation du réseau, NPSNET [Macedonia & al 95] utilise un partitionnement de l'espace. Massive [Greenhalgh & Benford 95] se base sur la notion d'aura (zone de proximité) des éléments de l'environnement pour déterminer avec quelles entités l'utilisateur peut interagir.

Une autre approche consiste à utiliser une métaphore centrée sur l'objet de la collaboration. Spin-3D propose une collaboration basée autour de la métaphore de la table de réunion. Sur cette table de réunion se trouve l'objet 3D sur lequel les acteurs de cette réunion doivent discuter [Dumas 99a] ce dernier se trouvant alors au centre de l'environnement de

collaboration (voir Figure 6 ci-dessous). Dans Spin-3D, le partage des données est basé sur un système de synchronisation.

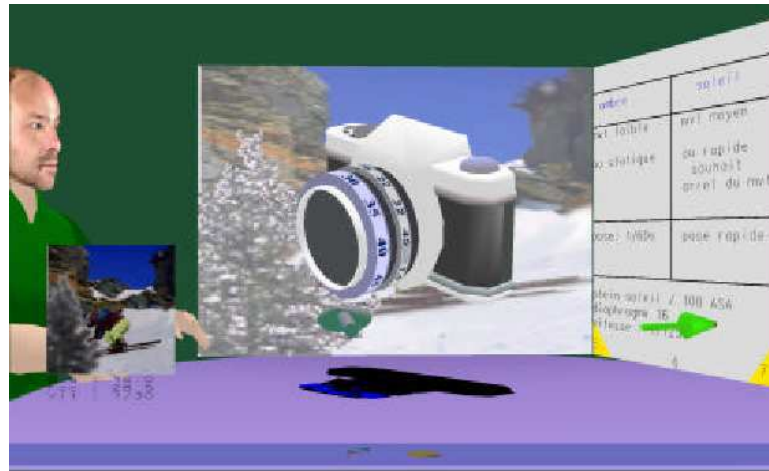


Figure 6 : Spin-3D : les utilisateurs (avatar à gauche se l'écran) sont réunis autour d'une table et discutent sur le modèle (ici un appareil photo).

2.3.2.2. La sensation de co-présence

La sensation de co-présence en environnement virtuel collaboratif est définie comme l'impression subjective que les utilisateurs ont d'« être ensemble » [Lelong 04] (« we are together » [Lombard & Ditton 97]).

Rendre la sensation de co-présence dans un projet de conception collaborative est, comme nous l'avons vu plus haut, un des facteurs de succès de ce dernier [Thouvenin & al. 03]. Par conséquent, rendre la sensation de co-présence de l'utilisateur distant dans l'environnement virtuel est une des problématiques principales des environnements virtuels collaboratifs à distance [Theoktisto & Fairén 05].

La sensation de co-présence est soutenue dans l'environnement virtuel par le biais d'incarnations (embodiment en anglais) des utilisateurs dans l'espace virtuel : les avatars. Benford propose 12 indicateurs devant être retranscrits par les avatars pour favoriser la sensation de présence des utilisateurs [Benford & al. 95] : position et orientation, identité, degré de présence, activité/point d'action, expressions faciales, historique de l'activité, contrôle de sa visualisation par les autres utilisateurs, représentation sur plusieurs média, multiples représentations autonomes, efficacité, et véracité.

VLNET [Capin & al. 97] introduit la notion d'humain virtuel comme support de l'incarnation des utilisateurs dans l'environnement virtuel. En particulier les utilisateurs peuvent communiquer dans l'environnement virtuel par le biais de gestes (voir Figure 7). Les expressions faciales des utilisateurs sont enregistrées par caméra et texturées sur le visage des personnages virtuels.

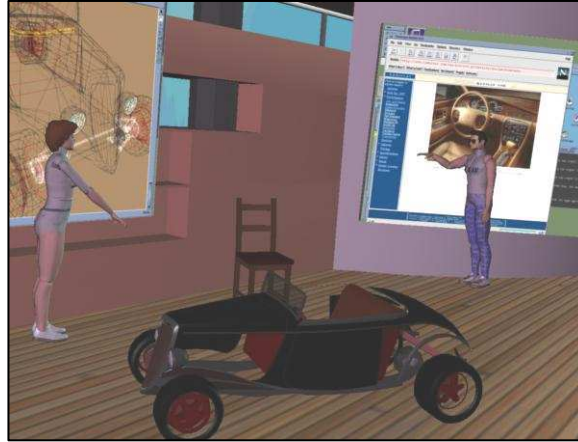


Figure 7 : humains virtuels dans VLNET

Enfin, le croisement perceptif est la perception que l'utilisateur a sur la perception des autres utilisateurs sur le monde (« je sais ce que tu vois »). Lenay propose le croisement perceptif comme un élément de la sensation de co-présence dans l'environnement virtuel [Lenay 04].

2.3.2.3. Le partage des informations dans le monde virtuel

Les environnements virtuels collaboratifs permettent de partager sur plusieurs postes le même monde virtuel et d'interagir avec celui-ci. Les actions réalisées par un utilisateur devront être alors dupliquées sur tous les postes. La question la manière dont ces données vont être partagées est alors centrale. Nous pouvons distinguer quatre approches différentes [Marsh 02] :

- Gestion non centralisée : chaque client dispose de sa propre représentation du monde virtuel, et les modifications réalisées sont d'abord calculées en local avant d'être propagées sur les autres postes clients. C'est par exemple la solution utilisée avec SIMNET ou Dive. Cette approche pose le problème de la manipulation simultanée du même objet par deux utilisateurs : les informations existantes sur chaque poste deviennent alors conflictuelles.
- Système de « tours » : lorsque l'utilisateur souhaite réaliser une modification sur le monde virtuel, le poste client demande un blocage sur le serveur de l'objet manipulé, les modifications sont calculées sur le poste client, puis propagées sur le réseau. Cette méthode permet de résoudre le problème de l'apparition de modifications conflictuelles, mais empêche une édition simultanée de chaque objet.
- Approche centralisée : le contrôle du comportement du monde virtuel est complètement géré par le serveur. Lorsqu'un utilisateur manipule un objet, le client envoie une requête de modification sur le poste serveur, qui détermine le comportement de l'objet, et renvoie le résultat au client. Dans cette approche, le temps de réaction, et notamment de transmission des données par le réseau, est

crucial. En effet, des temps de réponses trop importants, notamment si la collaboration se fait entre des sites distants, empêchent une manipulation efficace des objets.

- **Serveur flottant** : cette méthode a été proposée dans Divinet [Glencross & al 02] afin de limiter les délais de latence réseau. Un serveur local est mise en place pour chaque site. Lorsqu'un utilisateur effectue une manipulation, le serveur ayant le meilleur temps de réponse devient temporairement le « serveur actif » et coordonne la propagation des données.

Nous pouvons d'autre part noter que la gestion du partage des données réseau est aussi intégrée dans des plates-formes plus polyvalentes, telles qu'OpenMask⁶.

2.3.3. La maquette virtuelle

Les systèmes virtuels collaboratifs, qu'ils soient utilisés en présentiel ou à distance, ont dans le cadre de la conception un point commun : le produit. La représentation du produit se fait par une entité spécifique : la maquette virtuelle.

A l'origine de la maquette virtuelle se trouve la maquette numérique. La maquette numérique est un élément central de la collaboration en conception, basée sur les données de C.A.O. du produit. Cependant, la taille des bases de données 3D manipulées (de l'ordre de plusieurs téra-octets pour des gros projets) entrave la visualisation en temps réel du produit [Père & Paillot 03], notamment dans le cadre de revue de projet.

La maquette virtuelle se distingue en particulier de la maquette numérique par les spécificités suivantes :

- Un nombre de polygones réduit. Le but est de permettre une visualisation en temps réel du produit. Plusieurs méthodes existent pour diminuer le nombre de polygones et passer d'un environnement C.A.O à l'environnement virtuel [Drieux & al. 03]. On peut noter d'autre part que, bien que le nombre de polygones puisse être restreint, la qualité de rendu est, pour certains domaines (tels que le design), un critère important. Cette qualité de rendu peut être obtenue par le biais d'utilisation de matériaux et de textures.
- Une modélisation comportementale du produit : en plus de la modélisation géométrique du produit, une modélisation comportementale accompagne généralement les maquettes virtuelles [Fuchs & Richir 06]. La modélisation comportementale définit les diverses interactions possibles avec la maquette.

⁶ <http://www.irisa.fr/siames/OpenMASK/>

Cette plate-forme fait partie des différentes composantes mises en jeu dans RNTL Par@age, qui traite de la problématique de l'interaction en temps réel sur la maquette numérique.

- Eventuellement une modélisation de l'environnement du produit : l'un des avantages de la maquette virtuelle est de voir le produit dans son contexte d'utilisation.

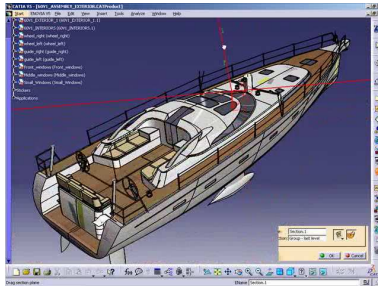


Figure 8 : modèle C.A.O. (à gauche) et maquette virtuelle (à droite) du même bateau. Images Dassault Systèmes

De plus Père & Paillot proposent de lier la maquette numérique au SGDT⁷ correspondant au produit [Père & Paillot 03]. Cette approche permet de créer des requêtes de visualisation de la maquette numérique concernant certains aspects spécifiques du produit, par exemple « partie centrale de l'appareil » ou alors « systèmes électriques ».

Obtenir une modélisation de tous les aspects vus ci-dessus en temps réel dans la maquette virtuelle constitue cependant à l'heure actuelle une réelle difficulté technologique [Fuchs & Richir 06]

De plus, un deuxième verrou technologique se pose à l'heure actuelle. En effet, les modèles 3D de produits utilisés en C.A.O. sont basés sur une double représentation :

- D'une part une représentation géométrique, de type B-Rep⁸ : une représentation B-Rep permet de représenter un objet tridimensionnel en décrivant la surface « frontière avec l'extérieur » du produit.
- D'autre part, tous les systèmes de C.A.O. actuels stockent aussi l'historique de construction de l'objet [Convard 05]. Cet historique de construction est lui aussi basé sur des primitives géométriques (volumes, polygones ...), mais décrit le processus qui, à partir des formes de base, a permis de construire l'objet. Dans cette optique, la modélisation par *features* [Mäntylä & al. 96] permet de représenter la géométrie de l'objet en termes d'opérations ayant un degré sémantique plus élevé que la pure description géométrique et permet en particulier de représenter le produit en termes d'opérations de fabrication à réaliser sur le produit (par exemple, chanfrein, rainure ...)

⁷ Système de Gestion de Données Techniques

⁸ B-Rep : vient de l'anglais « Boundary Représentation »

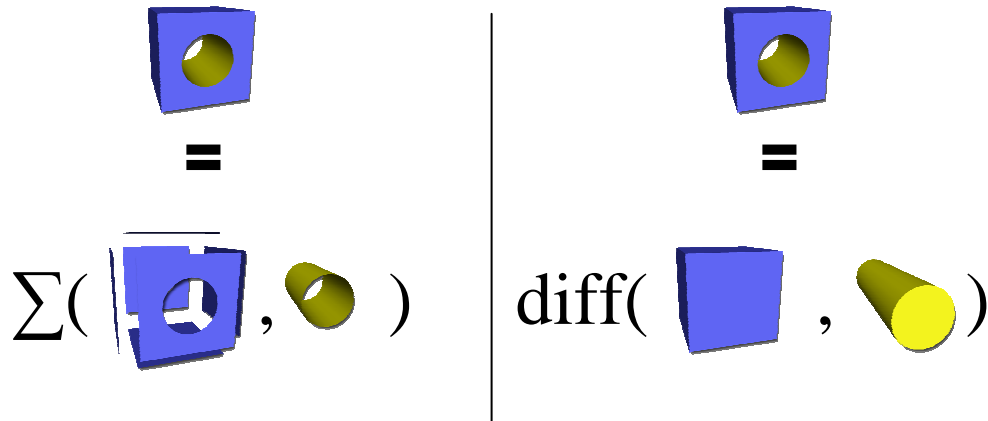


Figure 9 : représentation en mémoire d'un même objet simple par B-REP (à gauche) et par historique de l'objet (à droite)

Or, dans les environnements virtuels, la représentation des entités est purement géométrique, et ne contient pas l'historique de construction. La raison principale de cette situation est que les historiques de constructions sont dans des formats dépendant du logiciel de conception, et par conséquent il n'existe pas de format « neutre » stockant l'historique [Bourdot & al. 06].

Le problème qui se pose alors est : comment faire « remonter » vers le modèle C.A.O. les modifications qui ont été faites sur la maquette virtuelle [Fuchs & Richir 06]. Des solutions ont été proposées, en proposant d'intégrer ces données C.A.O. directement dans l'environnement virtuel, comme c'est par exemple le cas pour le prototype VRAD proposé par le LIMSI-CNRS [Convard & Bourdot 04], [Convard & Bourdot 05].

Une nouvelle approche de la conception se dessine alors : la conception assistée par réalité virtuelle (CARV) [Bourdot & al. 06]. Dans cette approche de la conception, la maquette numérique est partie intégrante du cycle de conception, et permet en particulier de court-circuiter le « cycle en v » en permettant de tester des fonctionnalités pour certaines étapes de la conception du produit [Fuchs & Richir 06].

2.4. Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre que l'activité de conception collaborative de produits est un processus complexe, et qu'une instrumentation de celle-ci est nécessaire. L'utilisation de méthodes de conception permet de donner un référentiel cognitif commun aux différents acteurs du projet. Nous pensons que ce référentiel cognitif est un élément clé de la collaboration, car il permet la définition d'un vocabulaire commun.

L'apparition d'outils informatiques supportant la collaboration pour la conception offre de nouvelles possibilités, d'une part au niveau de la communication entre les différents membres du projet, mais aussi du fait qu'ils permettent une capitalisation des échanges réalisés.

Parmi ces outils informatiques, l'utilisation de la réalité virtuelle offre de nombreux avantages, tant pour la collaboration présentielle (existence d'un espace commun de communication entre les participants) que pour la collaboration à distance (renforcement de la sensation de co-présence). D'autre part, l'expérience sensorielle directe du produit permet de faciliter certaines tâches de l'activité de conception, par exemple l'évaluation de l'usage du produit.

Il n'existe cependant pas de moyen de capitaliser les échanges effectués dans l'environnement virtuel. Nous nous attacherons donc à la définition d'un artéfact permettant de capitaliser ces échanges à l'intérieur même du monde virtuel. L'approche que nous proposons pour répondre à ce problème est basée sur une pratique que l'on retrouve dans de nombreuses activités humaines : l'annotation. En particulier l'activité d'annotation est un acte important en conception collaborative [Boujut 03a] et permet de laisser l'information dans le contexte de l'objet de la discussion.

Annotations et collaboration

3.1. Introduction

Annoter un document est une activité courante de notre vie de tous les jours et dont les origines remontent à il y a fort longtemps. Ainsi, il est assez souvent fait référence aux copistes du moyen-âge laissant des marques sur des livres manuscrits. L'exemplaire d'un même livre passant entre plusieurs mains, ces notes étaient partagées entre les différents lecteurs du livre, et participaient à construire une compréhension commune [Wolfe 02].

Les annotations sont désormais utilisées dans un grand nombre d'activités, allant du support de la lecture [Schilit & al. 98] à la collaboration dans le milieu médical [Bringay 06], en passant par l'éducation ([Smith & al. 00], [Azouaou & Desmoulins 05], [Rissanen & al. 06]) et la conception de produits ([Boujut 03a], [Lortal & al. 06a]). A cette variété des domaines d'applications de l'annotation s'ajoute une variété des formes qu'elles peut prendre : marques laissées sur un plan, textes dans les marges, ou encore « Post-it » sur un document.

L'apparition de documents électroniques a ouvert de nouvelles perspectives sur les pratiques liées à l'utilisation des annotations, tant au niveau de la collaboration (possibilité de partager les mêmes annotations pour des utilisateurs distants, par exemple, ou encore la possibilité d'annoter simultanément le même document) qu'au niveau de l'exploitation de celles-ci (possibilités d'indexation et de recherche, par exemple). L'annotation devient alors un artefact central du processus collaboratif [Boujut 03a].

Ce chapitre propose de faire le point sur la notion d'annotation en se centrant sur trois aspects : tout d'abord nous nous intéresserons à l'annotation en tant que telle, et nous verrons les différents aspects liés à cette notion. Dans un deuxième temps, nous placerons l'annotation dans son contexte d'utilisation (cycle de vie, rôle et acteurs de l'annotation). Enfin, dans une troisième partie, nous présenterons quelques systèmes implémentant la notion d'annotation.

3.2. Formalisation de l'annotation

3.2.1. Définition d'une annotation

Le terme « annotation » fait partie du langage commun. Il n'est donc pas étonnant de retrouver pour ce terme un certain nombre de définitions différentes, parfois contradictoires.

Ainsi, Azouaou et al. [Azouaou & al. 03] ont recensé une série de définitions de la notion d'annotation, dépendant de la discipline et du point de vue selon lequel on se place.

Dans le domaine des interfaces homme-machine, l'annotation est définie comme « *un commentaire sur un objet tel que le commentateur veut qu'il soit perceptiblement distinguable de l'objet lui-même et le lecteur l'interprète comme perceptiblement distinguable de l'objet lui-même* » [Baldonado & al. 00]. Nous retiendrons de cette définition le fait que l'annotation ne fait pas partie du document principal : il s'agit d'une entité distincte du document. Notons cependant que l'annotation n'a de sens que dans le contexte du document.

Pour les psycholinguistes et les cognitivistes, une annotation peut être définie comme « *une trace de l'état mental du lecteur et une trace de ses réactions vis-à-vis du document* » [Veron 97]. Cette définition met en particulier en avant la notion de trace, qui indique le fait que l'annotation est le résultat d'une activité, ce qui laisse à penser que l'annotation résulte d'un processus de lecture active [Azouaou & al. 03]. Notons que cette définition se place d'un point de vue de la perspective de l'auteur seul, ne prenant pas en compte le fait que l'annotation est aussi un objet lu.

Le processus de lecture active, dont nous avons parlé au paragraphe précédent se retrouve également dans une définition d'annotation proposée par des documentalistes [Huart 97]. L'annotation y est vue comme : « *l'activité du lecteur qui consiste à poser des marques graphiques ou textuelles sur un document papier, et ce suivant plusieurs objectifs* ». Cette définition met en avant la notion d'objectif (ou fonction) de l'annotation, sur laquelle nous reviendrons plus tard. Nous noterons dans cette définition une limitation d'un point de vue des supports utilisés non seulement en ce qui concerne la cible de l'annotation (uniquement papier) mais aussi en ce qui concerne l'annotation elle-même (graphique ou textuelle). L'annotation est extrêmement versatile, et peut par exemple être exclusivement 3D, telle que ce que l'on peut trouver dans [Latch Craig & Zimring 02].

D'autre part, la définition donnée dans [Huart 97] montre un deuxième sens au terme « annotation » : l'annotation en tant qu'action. Nous ferons dans ce mémoire la distinction entre deux concepts liés mais différents :

- L' « activité d'annotation » ou « action-annotation » : qui est l'action d'annoter.
- L' « objet-annotation » : il s'agit du résultat de cette action. Lorsque nous parlerons d' « annotation », il s'agira de l'objet annotation.

Dans [Bringay & al. 03], l'annotation est définie de manière formelle, c'est à dire selon les éléments les plus significatifs permettant de la caractériser. Ces éléments sont en particulier la notion de cible (le document de référence de l'annotation) liée à l'annotation par une ancre, le statut de document de l'annotation, ainsi que la notion de trace mentale, reprise de [Veron 97]. La notion d'ancre, mise en valeur par cette définition, sera étudiée au paragraphe suivant.

L'annotation 3D étant un type particulier d'annotation, les différentes définitions présentées ci-dessus apportent les bases pour notre définition d'annotation 3D. Nous en retirerons en particulier les points suivants : l'annotation est distincte du document principal, mais n'a de sens que dans le contexte de ce document. Elle résulte d'une activité et sert de support à cette activité.

3.2.2. L'ancre de l'annotation

L'ancre est définie comme « le point d'attache d'une annotation à l'objet annoté » [Bringay & al. 03]. On parle de cible de l'ancre pour désigner la partie de l'objet annoté que désigne l'ancre. A noter que la cible de l'ancre peut être un objet quelconque (document textuel, son, vidéo), mais aussi une collection d'objets, une partie d'un objet, ou encore une autre annotation. Nous ferons donc une distinction claire entre l'ancre de l'annotation, qui désigne le point d'attache entre l'annotation et l'objet annoté, et la cible de l'annotation qui désigne la partie annotée du document.

Azouaou s'intéresse aux documents Web, dans lesquels l'ancre est composée de l'URL du document, et de l'emplacement de l'annotation dans ce document [Azouaou & al. 03]

Bringay propose une classification de l'ancre de l'annotation selon trois critères [Bringay & al. 03] :

Tacite/Explicite : selon la forme de l'ancre de l'annotation, celle ci peut indiquer de manière claire (explicite) ou non (tacite) la partie du document qui est visée par l'annotation.

Exemple d'ancre explicite : un cercle entoure une image annotée

Exemple d'ancre tacite : un post-it collé sur un document peut porter sur tout le document ou juste sur la page sur laquelle se trouve le post-it

Ancre multi-cibles/uni-cible : l'annotation peut concerner une ou plusieurs parties du document. Dans ce dernier cas, l'ensemble des parties du document concernées peuvent être reliées par une ancre unique. On parle alors d'ancre multi-cibles.

Ancre et convention : en fonction du contexte d'utilisation du document annoté, il peut exister un certain nombre de conventions permettant d'identifier la cible de l'annotation, ainsi que de récupérer le contenu de l'annotation (par exemple, un utilisateur, s'il connaît cette convention, ira chercher en bas de page les notes correspondant aux numéros placés sur un texte).

Le tableau ci-dessous propose un ensemble d'exemples pour les combinaisons possibles selon ces trois critères :

(T)acite/(E)xplicite	(U)ni/(M)ulticiples	(C)onvention/(N)on	Exemple
T	U	N	Un post-it sur un document précise « vous devez relire la partie 5 »
T	M	N	Un post-it sur un document précise « évitez d'utiliser le terme 'connaissances' »
E	U	C	Les annotations sont signalées par des numéros qui rapportent aux notes au pied de page
E	U	N	Une figure est entourée sur un document
E	M	N	Plusieurs traits partent d'une même annotation pour pointer vers des portions du document différentes

Table 1 : exemples d'ancres

3.2.3. Les supports de l'annotation

De par son statut de document, l'annotation peut utiliser un ou plusieurs supports définis. La plupart des textes que l'on trouve dans la littérature parlent implicitement ou explicitement d'annotations textuelles tant d'un point de vue du document qui est annoté (voir par exemple la définition de [Veron 97], citée plus haut) que d'un point de vue de l'annotation elle-même.

Zacklad propose un panel de supports plus large pour les annotations ([Zacklad & al. 03], repris et enrichi dans [Bringay & al. 03]), et cite en particulier la possibilité d'avoir des annotations :

- Textuelles
- Graphiques
- Vocales
- Vidéo
- Typographiques (surlignage, mise en gras ...)
- Lien

Nous pouvons utiliser cet ensemble de supports de l'annotation dans le cas des annotations 3D. Nous travaillons cependant dans une situation d'annotation en environnement

virtuel. Ce nouveau mode de collaboration permet l'utilisation de supports spécifiques que nous verrons dans le chapitre 5.

3.2.4. Annotations cognitivement/computationnellement sémantiques

La distinction entre ces deux types d'annotations provient de concepts issus du Web sémantique. L'objectif initial du Web sémantique est de rendre le contenu Web exploitable par des agents logiciels, par l'enrichissement et la structuration de ce contenu par des acteurs humains.

Or, Caussanel remarque que, alors que le Web est originalement destiné à des lecteurs humains, il est dommage que le travail d'enrichissement du Web sémantique ne soit pas lui aussi exploitable par des humains. Il pose alors la distinction entre un pôle « computationnellement sémantique » et un pôle « cognitivement sémantique » [Caussanel & al. 02].

Le pôle computationnellement sémantique est défini comme étant « source de connaissances pour une machine, c'est-à-dire qui pourra être utilisé par la machine pour produire et retrouver de nouvelles informations, et notamment pour réaliser des inférences » alors que les informations cognitivement sémantiques désignent ce « qui est source de connaissances pour un esprit humain, grâce aux capacités et aux mécanismes de création et d'accession à la connaissance de notre esprit. » [Bringay & al. 03].

A partir de cette distinction, Zacklad souligne l'existence de ces deux pôles au niveau des annotations [Zacklad & al. 03]. D'une part, les annotations computationnellement sémantiques, qui sont destinées à être exploitées par des programmes informatiques, et d'autre part les annotations cognitivement sémantiques, qui sont destinées à des lecteurs humains. Les annotations computationnellement sémantiques doivent respecter un certain niveau de formalisation, notamment au niveau de leur contenu, on parle alors d'*annotations formelles* [Bringay 06] (à noter que les annotations formelles peuvent aussi être utilisées de manière cognitivement sémantique). A l'opposé, des annotations écrites dans un langage naturel seront considérées comme *informelles*.

Dans ce rapport, le terme « annotation » se rapporte à des annotations cognitivement sémantiques, et informelles, c'est-à-dire des marques que posent les utilisateurs en langage naturel (ou sur d'autres supports informels : images, sons, etc.) dans le but d'être exploité par d'autres utilisateurs, et non par la machine. Nous verrons cependant que l'ajout de méta-données de contenu, liées à un modèle de connaissances peut d'apparenter à des annotations computationnellement sémantiques.

3.3. L'utilisation de l'annotation

3.3.1. Les acteurs de l'annotation

Diverses personnes interviennent dans le processus de l'annotation, et remplissent des rôles différents. Dans [Bringay & al. 03], l'auteur définit trois rôles que peuvent remplir les différents acteurs de l'annotation :

L'annotateur (ou auteur de l'annotation) : il s'agit de la personne écrivant l'annotation.

Le consultant de l'annotation : il s'agit de la personne (ou du groupe de personnes) qui perçoit l'annotation.

Le gestionnaire de l'annotation : qui gère les annotations, par exemple pour les organiser, ou encore pour supprimer celles qui ne sont plus pertinentes. Le gestionnaire de l'annotation peut être humain ou informatique.

A noter que plusieurs de ces rôles peuvent être remplis par la même personne : par exemple, une même personne peut être à la fois l'auteur et le consultant de l'annotation. Chacun de ces rôles se retrouve dans les activités d'annotation pour la conception collaborative.

Concernant l'identité entre l'annotateur et le consultant de l'annotation, Zacklad, dans [Zacklad & al. 03], définit deux cas particuliers : d'une part le cas où l'ensemble des consultants de l'annotation se réduit à l'annotateur lui-même : on parle alors d'annotation relevant de la *sphère privée*. D'autre part, lorsque les consultants sont des personnes tierces, on parle alors de *sphère publique*. On peut noter que dans les consultants de la sphère publique, [Bringay & al. 03] définit deux types de consultants : les *consultants visés*, et les *consultants inopinés*, on dit que les consultants sont visés lorsque l'annotateur connaît de manière *explicite* (l'annotateur connaît individuellement tous les destinataires) ou *implicite* (un groupe de personnes défini par un attribut). A l'inverse, les consultants inopinés sont ceux qui ne sont pas prévus par l'annotateur.

Wolfe considère les relations possibles entre l'identité de l'auteur et de lecteur du document annoté d'une part et l'identité de l'auteur et du lecteur de l'annotation d'autre part [Wolfe 02]:

- Le lecteur du document rédige une annotation pour lui-même (comme les notes que des étudiants font sur un texte qu'ils analysent). Ce type d'annotation relève de la *sphère privée*.
- Le lecteur du document est auteur de l'annotation, et le *consultant visé explicite* est l'auteur du document, ce qui est le cas par exemple lorsqu'un enseignant corrige un rapport d'étudiant.

- Les annotations qu'un lecteur du document écrit pour partager avec les autres lecteurs, telles que les notes laissées sur certains ouvrages dans les bibliothèques. Les lecteurs deviennent alors des *consultants visés implicites* de l'annotation.
- L'auteur du document est l'auteur de l'annotation, et le lecteur du document est le consultant de l'annotation⁹. Le lecteur du document est alors *consultant visé implicite* de l'annotation.

La Figure 10 ci-dessous résume les différents points de vue sur les classifications des acteurs de l'annotation.

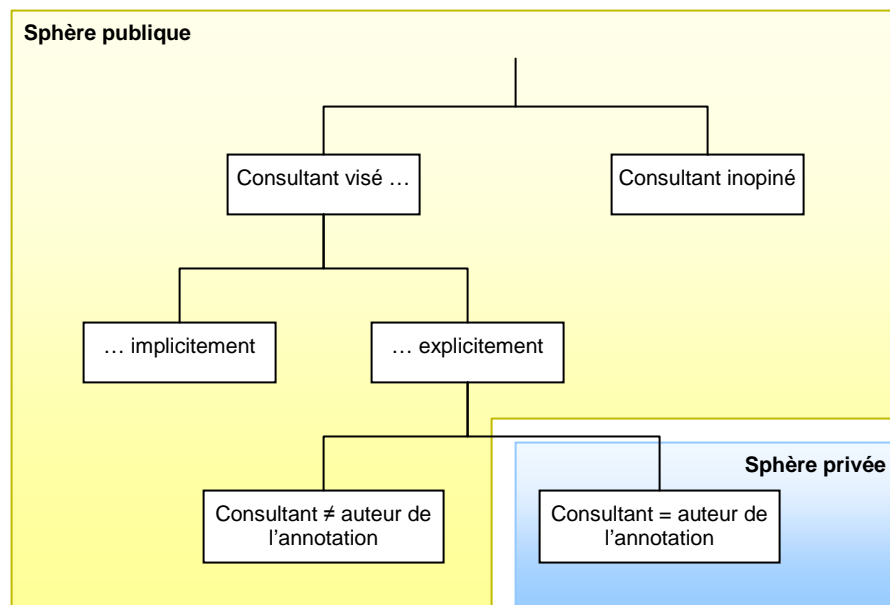


Figure 10 : les acteurs de l'annotation.

Du fait du caractère collaboratif des situations sur lesquelles nous travaillons (tâches de conception collaborative), nous nous intéresserons principalement aux annotations appartenant à la sphère publique.

3.3.2. Le cycle de vie d'une annotation

Bringay propose, en relation avec la classification des acteurs de l'annotation qui a été réalisée auparavant, de définir trois étapes du cycle de vie d'une annotation [Bringay & al. 03] :

1. La production de l'annotation : réalisée par l'annotateur, elle consiste à choisir une cible et une ancre, puis à inscrire l'information de l'annotation.

⁹ Cette note de pied de page est un exemple typique d'annotation rentrant dans cette catégorie.

2. Le stockage et l'indexation de l'annotation : cette étape, réalisée par le gestionnaire de l'annotation, consiste à organiser les annotations de manière à faciliter leur accès par le lecteur.
3. La consultation de l'annotation : la consultation de l'annotation consiste à localiser la cible de l'annotation (ou l'information de l'annotation si l'on part de sa cible), puis tirer du sens de l'information de l'annotation.

Pour l'étape de stockage et d'indexation de l'annotation, Zacklad propose plusieurs méthodes permettant de réaliser cette tâche [Zacklad & al. 03].

Indexation selon le point de vue des connaissances du domaine : il s'agit d'associer aux annotations des ontologies semi-formelles qui représentent les connaissances manipulées dans la spécialité pour laquelle la conception du produit se fait, et de se baser sur ces ontologies pour indexer les annotations. Ainsi, si l'on se place dans le cas de la réalisation d'une automobile, les concepts manipulés seront « moteur », ou encore « barre de direction ».

Indexation selon le point de vue de l'argumentation : il s'agit de se baser sur la « logique de l'argumentation » ou sur la « logique de conception » pour classer les différentes annotations, c'est-à-dire d'utiliser les différentes étapes ayant permis de mener à une décision pour effectuer l'indexation des annotations.

Indexation selon le point de vue de la micro organisation : on considère ici l'ensemble des personnes susceptibles de mettre des annotations sur le document comme une micro organisation. Dans cette organisation, chacun des annotateurs dispose d'un ou de plusieurs rôles. On peut alors indexer les annotations selon ces rôles.

3.3.3. Fonctions des annotations

Une annotation est placée sur un document selon un ou plusieurs buts précis [Huart 97], et une classification de ces buts permet de mieux comprendre les mécanismes de collaboration via les annotations.

Zacklad propose un premier classement des fonctions des annotations [Zacklad & al. 03] : d'une part certaines annotations peuvent avoir une fonction critique, c'est-à-dire qu'elles servent de commentaire sur le document annoté (par exemple : « il faut modifier le diamètre de cette partie »), d'autre part, elles peuvent avoir une fonction de planification, qui servent dans le cas où le document annoté est en cours de réalisation (exemple : « cette partie doit être retravaillée par X »). L'une des limitations principales de cette séparation est que certaines annotations peuvent appartenir aux deux catégories, par exemple : « cette partie ne doit pas être placée ici, il faudra la replacer correctement ».

Azouaou & al. proposent une classification des annotations plus fine selon leur fonction [Azouaou & al. 03], sous la forme d'une taxonomie des fonctions d'annotations (voir figure

ci-dessous). Cette taxonomie, adaptée aux documents écrits, ne peut pas être reprise directement dans le cas de la situation sur laquelle nous travaillons, en particulier du fait que certains noeuds de cette taxonomie n'ont pas de sens dans le cas où le document est un objet 3D (par exemple : « 1.4 Reformuler un passage »). A noter que les deux fonctions proposées dans [Zacklad & al. 03] se retrouvent dans cette taxonomie : « 2.1 Critiquer le document » (fonction critique) et « 4. Planifier une action » (fonction de planification).

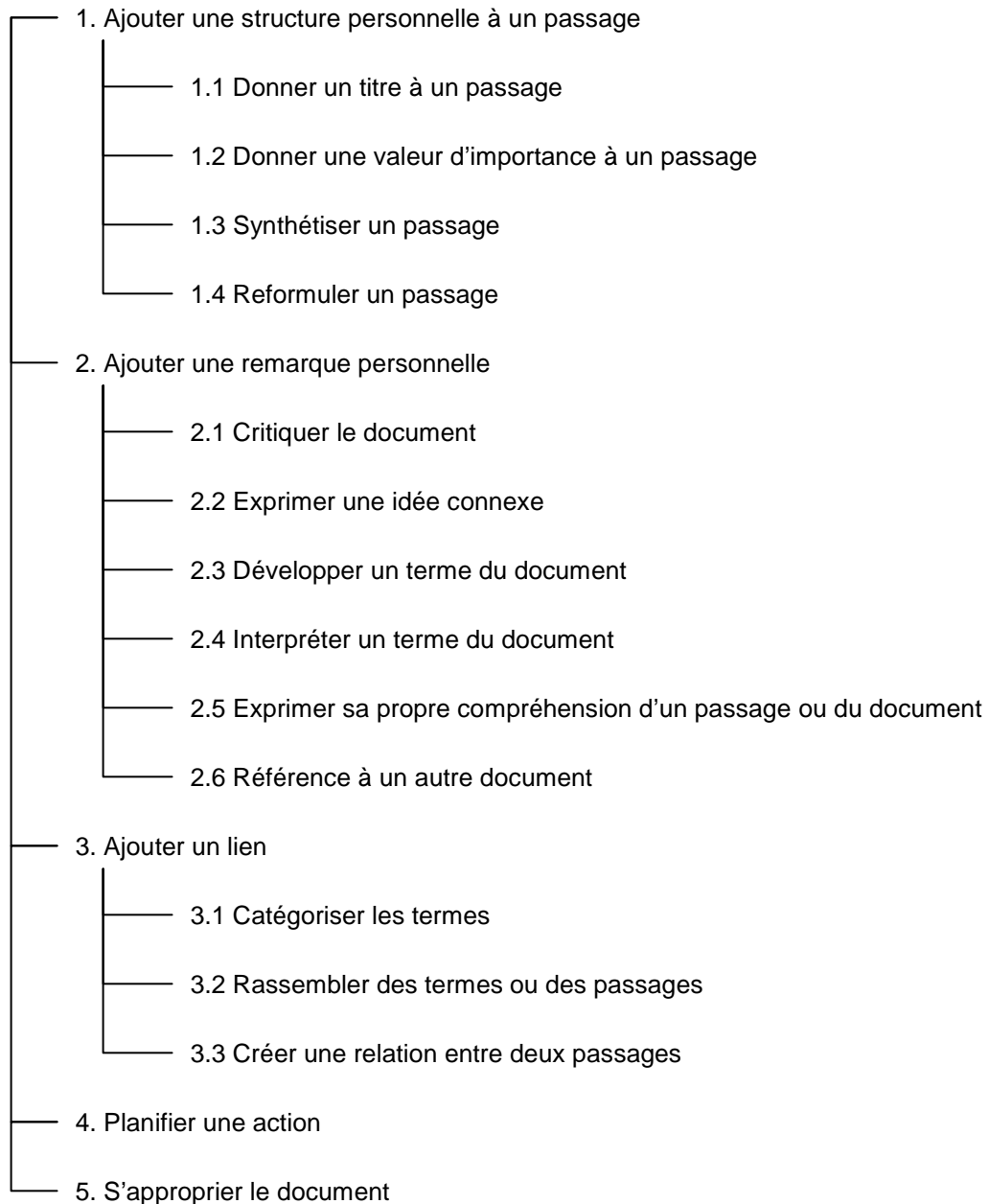


Figure 11 : classification des fonctions des annotations [Azouaou & al. 03]

Enfin, Bringay et al. [Bringay & al. 03] proposent une classification des fonctions basée sur deux grandes familles de fonctions : l'aide à la consultation (dans le cas de la lecture active du document), et les annotations de collaboration (qui servent pendant la création du document). Ces familles comprennent :

Aide à la consultation :

- Annotation intensive : l'annotation apporte de nouvelles informations au document.
- Annotation extensive : l'annotation aide à l'extraction d'informations du document.

Annotations de collaboration :

- Annotation d'aide rédactionnelle : elles servent de support pour la création du document.
- Annotation pour l'argumentation : ce sont les annotations qui permettent de débattre sur les modifications à effectuer sur le document.
- Annotation de planification : elles servent à la coordination des tâches.

Dans le chapitre 5, nous adapterons aux situations d'annotation 3D pour la conception collaborative les classifications décrites dans ce paragraphe.

3.4. Environnements informatiques d'annotation

Du fait du grand nombre de systèmes supportant l'activité d'annotation, il nous est impossible de dresser une liste exhaustive de ceux-ci. Nous proposons donc plutôt de présenter un ensemble de critères qui nous paraissent pertinents pour caractériser un environnement d'annotation, et nous illustrerons la variété de ces systèmes au travers d'exemples. Une liste plus complète d'environnements permettant l'activité d'annotation est disponible en annexe 4.

3.4.1. Environnements généralistes et spécialisés

Un premier axe selon lequel les systèmes d'annotations peuvent être traités sont leur caractère généraliste ou spécifique à un métier/une activité donnée.

Annotea [W3C 06a] constitue un exemple typique de système généraliste. Basé sur une structure RDF, Annotea permet l'annotation de « tout document HTML ou basé sur du XML » [Kahan & al. 01]. Du fait du grand nombre de types documents rentrant dans cette catégorie (jusqu'à des images – SVG, ou encore des interfaces – XUL), Annotea ne propose qu'un serveur sans client spécifique : le client doit être adapté à chaque type de média rencontré. Par exemple, Amaya [W3C 06b], le navigateur du W3C, propose d'annoter les pages Web naviguées en se basant sur Annotea.

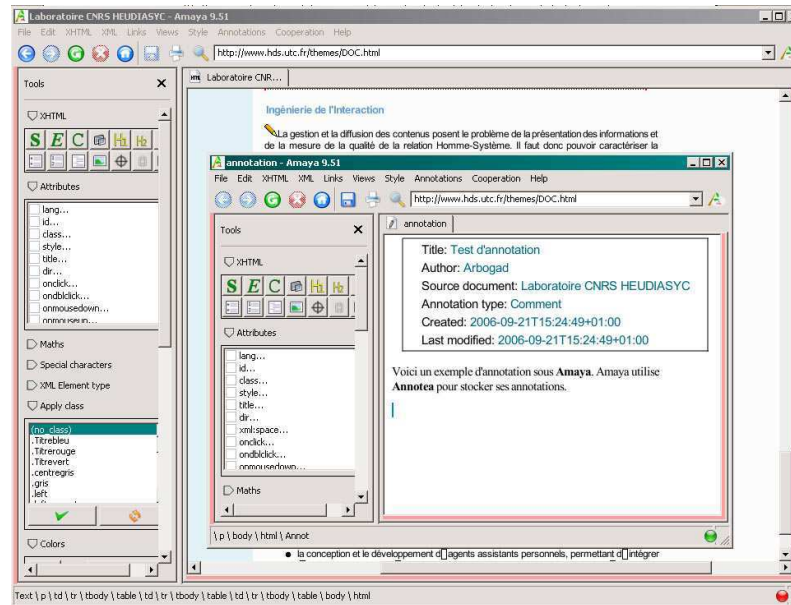


Figure 12 : annotation d'une page web sous Amaya/Annotea.

Au cours de la visualisation de pages Web, l'utilisateur a la possibilité de choisir une portion de la page en cours pour rajouter l'annotation. L'annotation en question est sous la forme d'un document HTML qui contient des méta-données permettant une indexation. Ces méta-données sont représentées par un modèle RDF d'annotation basé sur 7 composantes :

- *creator* : le nom de l'auteur de l'annotation.
- *created* et *date* : la date de création et de dernière modification de l'annotation.
- *annotates* et *context* : l'ancre, définie en deux parties : *annotates* définit d'une part l'URL du document annoté, et *context* identifie la position de l'ancre à l'intérieur du document, en se basant sur XPointer¹⁰.
- *body* : qui est un lien vers le contenu de l'annotation.
- *type* : la fonction de l'annotation. La fonction principale *Annotate* est spécialisée en 7 sous-fonctions : *Advice*, *Change*, *Comment*, *Example*, *Explanation*, *Question*, *SeeAlso*

¹⁰ <http://www.w3.org/TR/WD-xptr>

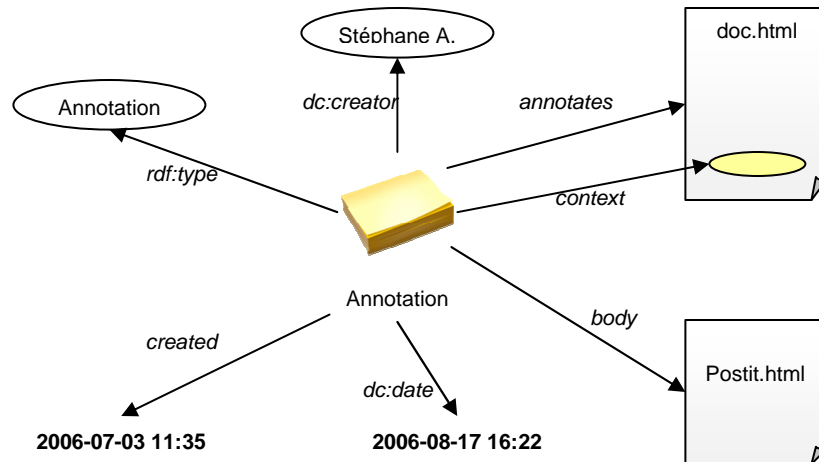


Figure 13 : le modèle RDF d'annotation utilisé par Annotea. [Kahan & al. 01]

Cependant, une utilisation dans un contexte particulier requiert assez souvent des outils adaptés. C'est pour cela que des systèmes d'annotation spécialisés, adaptés soit à un corps de métier particulier, ou à une activité particulière sont apparus.

Dans cette catégorie, on trouve DocAnnot [Bringay 06], qui est un système d'annotation du dossier patient destiné aux différents acteurs du milieu médical (médecins, internes, infirmières, personnels administratifs ...). Cet environnement se base sur un système déjà existant de gestion du dossier patient (DocPatient), et profite ainsi des fonctionnalités de ce dernier, comme la présence d'une structure de l'objet « dossier patient ». De plus, le fait de restreindre l'activité d'annotation à une catégorie professionnelle bien particulière permet de proposer des fonctionnalités adaptées à ce domaine au niveau de l'annotation elle-même. Ainsi, dans DocPatient, l'annotateur peut spécifier dans son annotation le « système » du corps humain (ex : système nerveux) concerné par l'annotation.

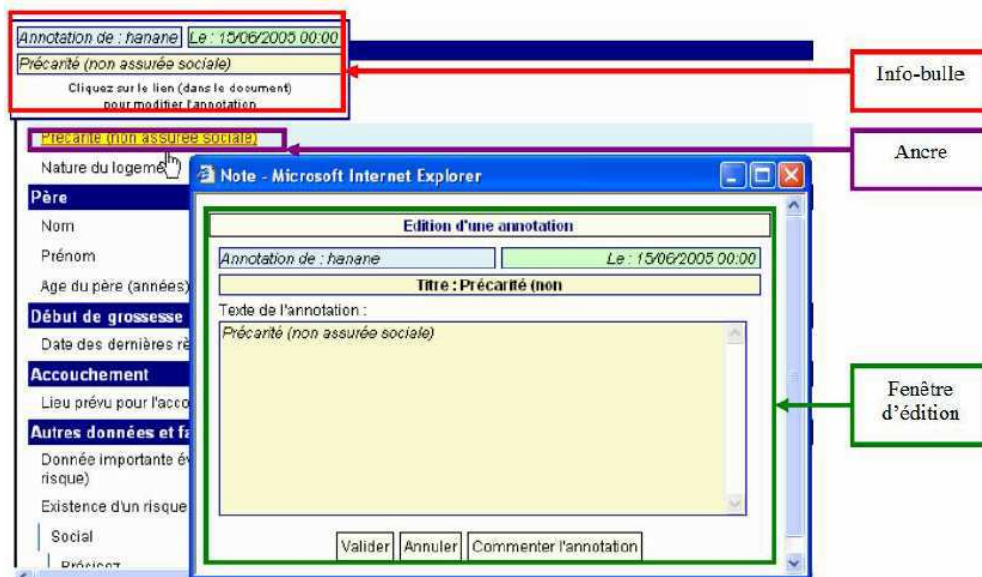


Figure 14 : visualisation d'une annotation sous DocAnnot [Bringay 06]

Nous pensons que, bien que leur utilisation soit restreinte à un domaine particulier, l'utilisation d'environnements spécialisés permettant l'activité d'annotation offre suffisamment d'avantages, notamment au niveau de la possibilité de créer des outils spécifiques au domaine concerné, pour pouvoir être préférés à des environnements généralistes.

3.4.2. Utilisation individuelle ou collaborative

Nous avons vu plus haut dans ce chapitre que l'annotation pouvait être utilisée soit dans le cadre d'une utilisation individuelle (*sphère privée*), soit comme instrument d'une activité collective (*sphère publique*), et l'on retrouve cette distinction au niveau des environnements informatiques.

L'une des activités individuelles impliquant l'utilisation d'annotations est la lecture active de documents. XLibris est un système permettant, afin de supporter ce processus de lecture active, l'annotation de documents numériques de manière intuitive via des outils « à main levée »¹¹ [Golovchinsky & al. 99]. Le système, utilisant une interface portable pour l'affichage (de type Tablet PC) et un stylet pour l'interaction, cherche à reproduire au maximum l'expérience qu'a un utilisateur de l'utilisation d'un document papier.

¹¹ « Freeform » en anglais.

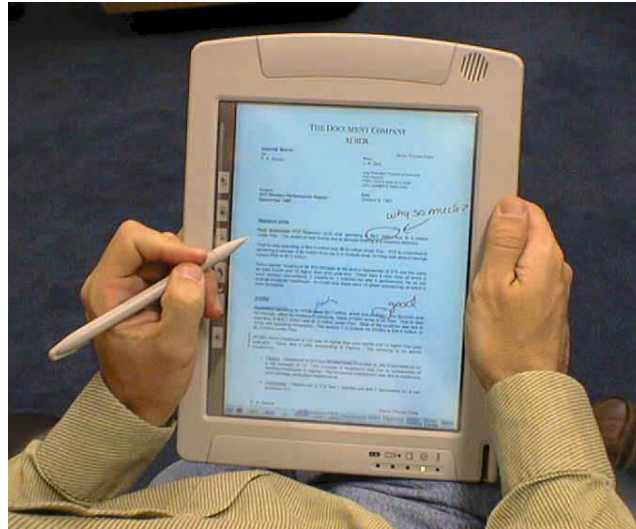


Figure 15 : annotation de documents sous XLibris

Cependant, la majorité des systèmes permettant l'activité d'annotation sont destinés à une utilisation collaborative. Un exemple de système permettant d'annoter dans un but de collaboration est l'atelier DMU de Catia.

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, la maquette numérique est l'un des artefacts supportant la conception collaborative de produits. L'atelier DMU (maquette numérique) de Catia [Dassault 06], de Dassault Systèmes, permet entre autres l'utilisation d'annotations sur la maquette numérique pour aider la collaboration. Les concepteurs peuvent ainsi, à partir de la vue sur le produit, échanger leurs opinions par le biais d'annotations, qui peuvent être textuelles, mais aussi graphiques (dessins à main levée, flèches ...), sous la forme de fichiers images ou encore de notes audio.

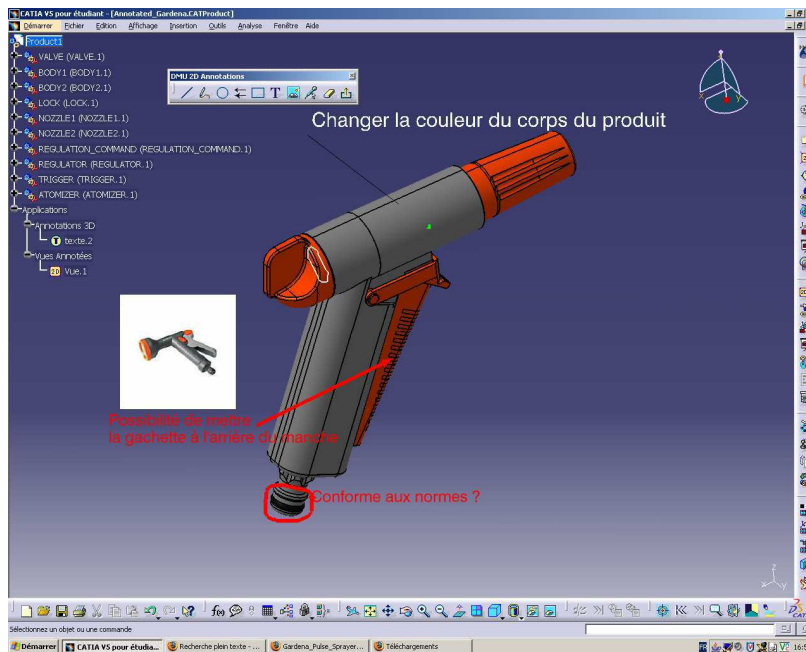


Figure 16 : annotations sous Catia

Concevoir un outil d'annotation dans une optique de support à la collaboration permet de développer des fonctionnalités pour cette activité. Ainsi, dans DocAnnot, les annotations peuvent être envoyées comme des messages aux autres utilisateurs du système : l'auteur de l'annotation, lorsqu'il la rédige, peut spécifier que l'annotation doit être gérée comme un message, ainsi que la liste des destinataires. Ces derniers recevront alors une notification du message, qui sera vu comme une annotation normale, c'est-à-dire dans le contexte de son document.

Nous travaillons dans le cadre de la conception collaborative de produits. Ainsi, les environnements d'annotation pour la collaboration retiendront plus particulièrement notre attention.

3.4.3. Nature de l'objet annoté.

Comme nous l'avons vu tout au long de ce chapitre, l'activité d'annotation est très souvent associée à des documents 2D, généralement textuels. Cependant, des systèmes permettent la création d'annotations sur d'autres types d'objets.

Par exemple, le format TK3 [NightKitchen 06] est un format de fichier permettant de réunir des textes, des images, des vidéos, et de les rendre interactifs (un peu à la manière des logiciels de Macromedia, Flash et Director). Le lecteur de Night Kitchen, TK3 Reader, permet l'annotation de ce type d'objets composites. Les annotations sont sous la forme de « post-its » se superposant au document. Chaque ensemble d'annotations est spécifique à un écran. Ainsi, une annotation insérée sur une vidéo disparaîtra une fois celle-ci terminée.

Le problème de l'ancrage, à la fois temporel et spatial, se pose sur ce genre de documents complexes. Par exemple, sur l'annotation de vidéos, comment gérer l'annotation d'un objet en mouvement (à supposer que l'on souhaite que l'annotation suive cet objet) ; ou comment annoter un objet qui n'apparaît que sur un intervalle de temps de la vidéo ?

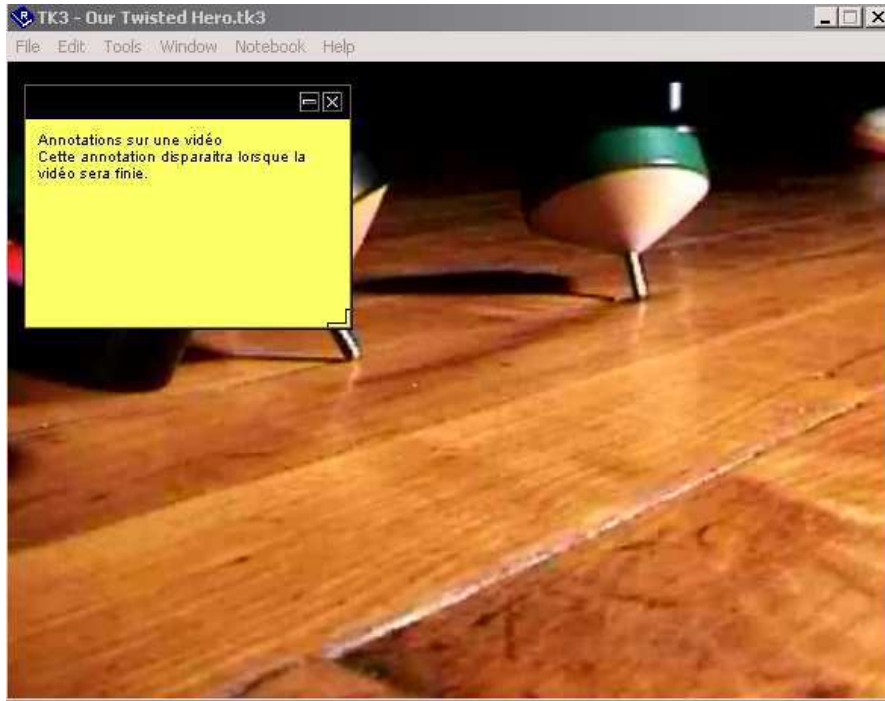


Figure 17 : annotation sur une vidéo avec TK3 reader.

Notre centre d'intérêt principal est l'annotation d'objets 3D, et l'on retrouve des environnements spécialisés dans l'annotation 3D, tels que SpacePen [Jung & al. 02b]. SpacePen est un outil permettant à l'utilisateur de se déplacer dans l'environnement 3D et de rajouter des notes et autres esquisses sur les objets qu'il rencontre, par un système de dessins type « dessin 3D à main levée ». (voir la Figure 18 ci-dessous)

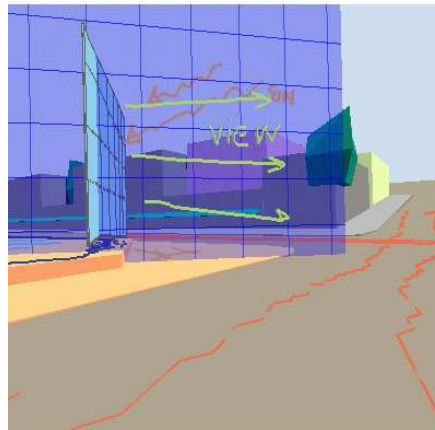


Figure 18 : annotations à main levée sur des objets 3D [Jung & al. 02b].

Des fonctions d'annotation sont parfois aussi directement intégrées à des logiciels de conception 3D, comme c'est le cas pour Rhinoceros [Rhino 06], un logiciel de modélisation 3D surfacique. Celui-ci propose des fonctions basiques d'annotation, telles que la possibilité

d'ajouter des pointeurs pour attirer l'attention, ou celle de rajouter sur le modèle des pastilles sur lesquelles sont écrits des textes courts. Cependant, la gestion de l'affichage de ces annotations (voir Figure 19) limite la taille du texte que l'on peut ajouter à quelques caractères, obligeant l'utilisateur à écrire le corps des annotations de manière séparée.

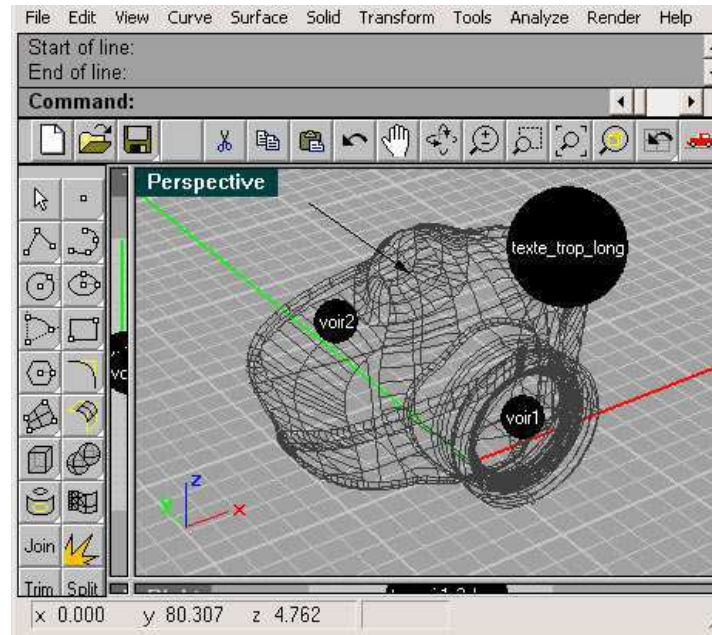


Figure 19 : annotations sous Rhinocéros [Rhino 06].

La gestion de l'ancrage de l'annotation sur des supports complexes (multimédia ou 3D), soulève de nombreuses questions : comment afficher les annotations en fonction du point de vue, comment gérer le déplacement des objets, etc. L'atelier DMU de Catia contourne ce problème en gérant les annotations sur des « vues 2D » du produit, c'est-à-dire en proposant à l'utilisateur de fixer un certain nombre de points de visualisation sur le produit, et en gérant les annotations comme des annotations sur des images 2D (voir Figure 16).

3.5. Conclusion

L'annotation est un objet complexe, s'intégrant à nombre d'activités humaines, et en particulier d'activités collaboratives. Cette polyvalence de l'annotation se retrouve au niveau des environnements informatiques supportant l'activité d'annotation, qui couvrent un large domaine d'applications.

Nous avons vu dans ce chapitre plusieurs aspects de l'annotation dans un cadre non spécifique aux environnements 3D, et nous pouvons en tirer plusieurs remarques.

Tout d'abord, l'annotation est très souvent vue dans le contexte d'un document textuel, alors qu'elle peut avoir pour cible n'importe quel type d'objet : image, son, ou encore objet 3D. Pour ce dernier point, nous avons remarqué que, bien que l'on trouve quelques environnements permettant d'annoter des objets 3D, on trouve très peu de travaux de formalisation de l'annotation dans ce cadre. C'est ce que nous proposerons dans le chapitre 5.

Les travaux de formalisation que nous avons vu dans ce chapitre offrent cependant un cadre pour notre modèle d'annotations 3D. Ainsi, les différents acteurs de l'annotation ou encore son cycle de vie restent sensiblement les mêmes en environnement virtuel. De même, la question de l'ancre ou encore les supports de l'annotation seront déclinées aux spécificités de l'annotation en environnement 3D.

Le grand nombre d'annotations pouvant parfois être associées au document (ou au produit) complique les tâches d'utilisation de cet ensemble. Il est donc nécessaire d'envisager des méthodes permettant un accès facilité aux annotations pertinentes. L'indexation de l'annotation selon les connaissances du domaine est une approche pour résoudre cette question.

L'utilisation d'un modèle de connaissances offre un référentiel commun aux utilisateurs pour supporter la recherche des annotations et leur indexation et selon les connaissances du domaine. L'utilisation d'ontologies constitue une manière répandue de modéliser les connaissances dans plusieurs domaines, et en particulier pour la conception de produit [Yoshioka & al. 04], [Garcia & al. 04] .

Le chapitre suivant présente donc un état de l'art sur la notion d'ontologie. Il dresse les grands principes de construction d'une ontologie et montre des exemples d'utilisation d'ontologies pour la conception de produit.

Ontologies : principes et application en conception

4.1. Introduction

Dans le domaine de la conception collaborative, la gestion des connaissances est une problématique centrale. La quantité d'informations échangée rend difficile la capitalisation des connaissances effectivement pertinentes, laissant les acteurs du projet « noyés sous les informations, mais en soif de connaissances » [Rezayat 00]. Une instrumentation de la gestion de ces connaissances est donc nécessaire. En conception collaborative, la gestion des connaissances échangées au cours d'un projet peut être facilitée par l'utilisation d'ontologies.

Les ontologies permettent une formalisation informatique des connaissances. Cette représentation peut être cognitivement sémantique (ontologies destinées à être exploitées par l'utilisateur), computationnellement sémantique (ontologies destinées à être exploitées par la machine), ou une combinaison des deux.

Nous considérons les ontologies comme un outil dans notre travail. Le but de ce chapitre est d'en montrer les concepts de base et les avantages dans le domaine de la conception.

Ce chapitre s'articulera autour de quatre parties : tout d'abord, nous préciserons la notion d'ontologie, puis nous présenterons ensuite des principes pour la création d'ontologies, ainsi que quelques formalismes existants. Enfin, nous verrons des exemples d'utilisation d'ontologies dans le domaine de la conception collaborative.

4.2. La notion d'ontologie

4.2.1. Définitions

La notion d'ontologie est tout d'abord apparue dans le domaine de la philosophie. Dans ce contexte une « Ontologie »¹² est une théorie de l'existence. On reporte les premiers travaux dans ce domaine à la philosophie antique, en particulier à Aristote, qui associait la notion d'Ontologie à la philosophie première, aussi appelée métaphysique. Actuellement, le terme

¹² Notez la présence de deux graphies : Ontologie (avec une majuscule, pour le concept philosophique) et ontologie (avec une minuscule, utilisé pour le terme informatique)

« ontologie » dans un contexte informatique désigne un moyen de représenter des connaissances sur support informatique, et c'est de cet aspect dont nous allons traiter ici.

La première mention du concept d'ontologie en intelligence artificielle a été faite par John McCarthy qui effectua un rapprochement entre le travail réalisé dans le domaine de l'Ontologie (au sens philosophique du terme) et l'activité de construire des théories logiques de systèmes d'intelligence artificielle. [Psyché & al. 03]

La notion d'ontologie se développa dans le domaine de l'intelligence artificielle au début des années 90. Neeches proposa alors la définition suivante : « *An ontology defines the basic terms and relations to define extensions of the vocabulary* » [Neeches & al. 91].

Gruber a proposé en 1993 une définition différente qui sert actuellement de référence : « *An ontology is an explicit specification of a conceptualization* » [Gruber 93]. Cette définition fut reprise et modifiée par Borst en 1997, qui déclara : « *An ontology is a shared specification of a shared conceptualization* » [Borst 97]. Cette dernière définition met en avant le caractère collaboratif d'une ontologie, qui prend son sens dans un contexte partagé.

Gomez-Perez propose une définition qui est davantage basée sur l'utilité d'une ontologie [Gomez-Perez 99] : « une ontologie apporte les moyens pour décrire explicitement la conceptualisation sous-jacente aux connaissances représentées dans une base de connaissances ».

4.2.2. Qu'est-ce qu'une ontologie n'est pas ?

Afin de préciser la notion d'ontologie, [Mizoguchi 03] propose une distinction entre cette notion et d'autres qui peuvent en être rapprochées.

- **Une ontologie est plus qu'une simple liste de termes**, et ceci pour deux raisons : d'une part, bien qu'une ontologie fournisse un vocabulaire commun pour une certaine activité, au même titre qu'une liste de termes, ce qui distingue ces deux concepts est la présence d'une structure (en particulier par des liens *is-a*) dans l'ontologie. D'autre part, il faut bien distinguer la notion de nom de concept dans une ontologie (un nom de variable informatique), du terme qui lui est associé (un mot du vocabulaire d'une langue).
- **Une ontologie est plus qu'une hiérarchie de concepts** : en effet, bien qu'une ontologie comporte une représentation arborescente des concepts (graphe *is-a*), toute hiérarchie de concepts n'est pas suffisante en tant qu'ontologie. Si l'on prend l'exemple ci-dessous (Figure 20), la classification proposée à gauche donne une hiérarchie de la notion de véhicule, mais ne nous permet pas de définir plusieurs aspects de ce qu'est un véhicule : ses fonctions, les parties qui le composent.

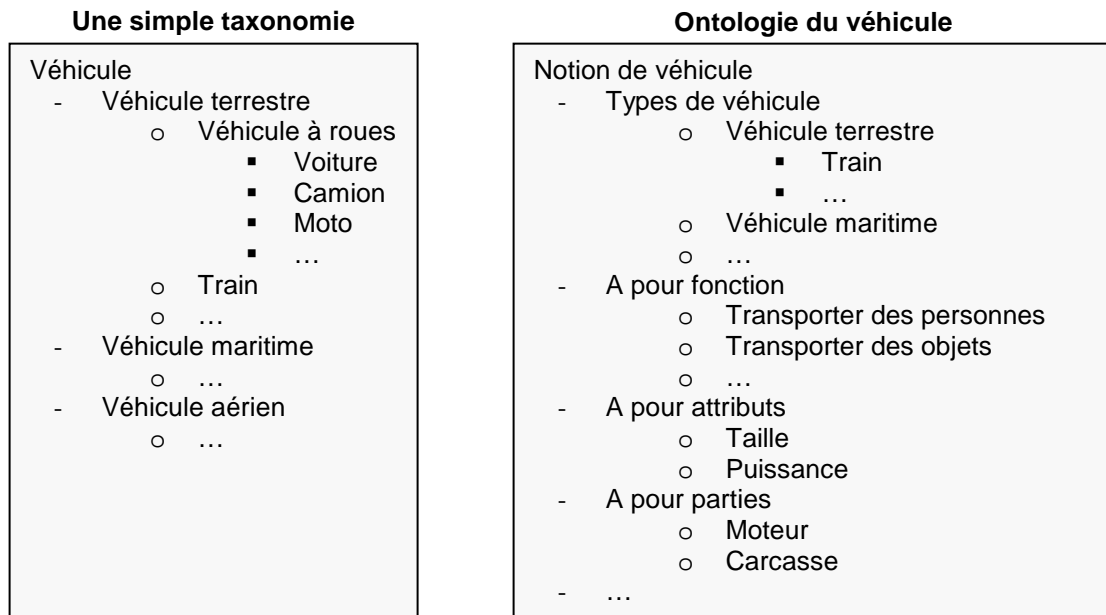


Figure 20 : taxonomie (à gauche) et ontologie (à droite) des véhicules (adapté de [Mizoguchi 03]).

- **Une ontologie n'est pas un formalisme de représentation des connaissances.** Contrairement à, par exemple, un réseau sémantique, une ontologie n'est pas un formalisme de représentation des connaissances. Ainsi, bien qu'une ontologie contienne par nature des liens « *is-a* », la manière dont sont représentés ces liens *is-a* n'a pas d'importance.

4.2.3. Contenu d'une ontologie

Une ontologie contient donc tous les éléments nécessaires pour décrire de manière formelle un ensemble de connaissances. Les éléments nécessaires pour effectuer cette description sont spécifiés dans [Gomez-Perez 99], basé sur [Gruber 93] :

- **Des concepts** (encore appelés classes), qui représentent la brique de base de la construction ontologique. Pour parler simplement, un concept désigne « n'importe quelle chose au sujet de laquelle on peut dire quelque chose, et peut ainsi aussi bien être la description d'une tâche, d'une fonction, d'une action, d'une stratégie, d'un raisonnement, etc. » [Gomez-Perez 99]. A noter que les concepts sont généralement organisés sous la forme d'une taxonomie, et que, parfois certains considèrent que des taxonomies peuvent être des ontologies [Studer & al. 98]. [Bachimont 04] propose une discussion sur les trois grandes approches du concept (concept comme essence, concept comme construction synthétique, et concept comme performatif), mais cette distinction dépasse le cadre de notre discussion. Nous utiliserons dans le cadre de nos

travaux, la notion de concept comme essence, c'est-à-dire d'un concept défini par les invariants des différents contextes.

- **Des relations :** les relations représentent un type d'interaction entre deux ou plusieurs concepts. Des exemples de relation sont *subclass-of* ou encore *connected-to*.
- **Des fonctions :** les fonctions sont un cas particulier de relation à n éléments où le dernier élément de la relation est unique pour les n-1 premiers éléments.
- **Des axiomes,** qui représentent des propositions définies comme toujours vraies.
- **Des instances** pour représenter les éléments.

4.2.4. Classification des ontologies

Les ontologies peuvent être de nature très diverse. Afin de mieux s'y retrouver, un certain nombre de classifications ont été proposées. Le but de cette partie est d'avoir un état de l'art sur ces classifications.

La plus courante des classifications d'ontologies est la classification selon l'objet de conceptualisation [Psyché & al. 03]. On peut ainsi distinguer sept catégories [Gomez-Perez 99] :

- **Les ontologies de représentation des connaissances :** les ontologies de représentations des connaissances sont utilisées pour formaliser un modèle de représentation des connaissances. On peut par exemple citer l'exemple de l'ontologie de *frame* [Gruber 93], qui définit les primitives de représentation des langages à base de frames (classes, instances, slots, facettes, etc.).
- **Les ontologies supérieures** (aussi appelées ontologies de haut niveau) : ces ontologies modélisent le travail réalisé par les philosophes depuis longtemps dans leur travail d'explication de ce que l'on trouvait dans le monde. En particulier, les ontologies de haut niveau modélisent les concepts les plus généraux que l'on puisse définir. On peut citer ici par exemple les dix catégories d'Aristote (matière, quantité, qualité, relation, position, temps, etc.) ou encore les notions de primalité (*firstness* en anglais – ce qui peut être défini sans condition : humain, forêt, etc.), secondarité (*secondness*, ce qui est défini dans un certain contexte : professeur, mère, etc.) et tertialité (*thirdness*, ce qui donne le contexte) de C.S. Pierce, intégrées dans l'ontologie supérieure de Sowa [Sowa 95] (Figure 20). On peut aussi noter l'existence d'efforts pour créer des ontologies standard de haut niveau [SUO 06].

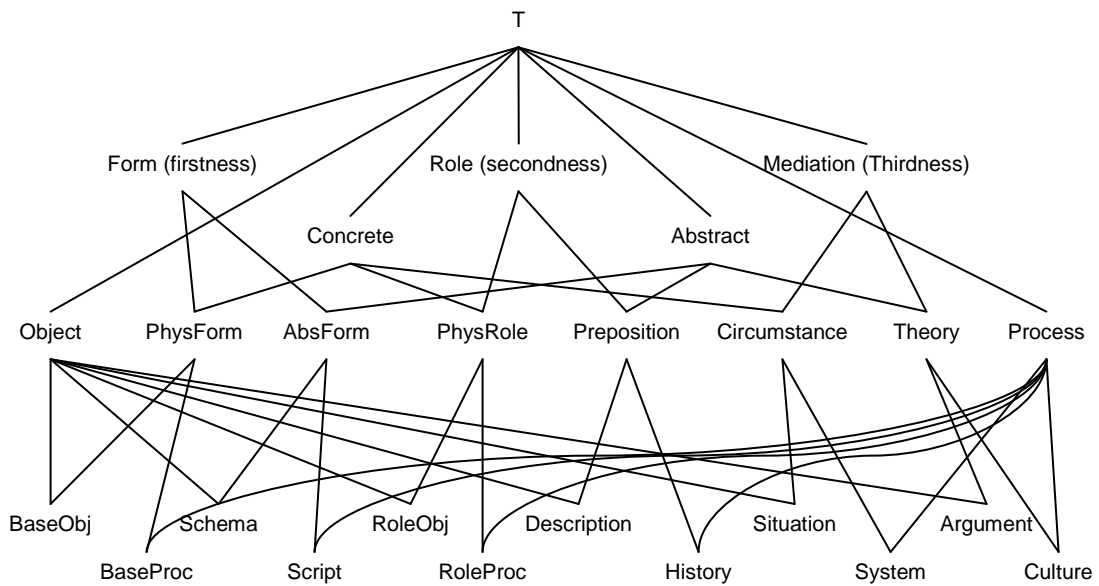


Figure 21 : l'ontologie de haut niveau définie par Sowa [Sowa 95]

- **Les ontologies génériques** : elles contiennent des concepts généralistes, mais moins abstraits que ceux contenus dans les ontologies de haut niveau. On pourra réutiliser dans plusieurs domaines les connaissances que l'on y trouve [Psyché & al. 03]. Un exemple d'une telle ontologie est Ontolingua [Ontolingua 06].
- **Les ontologies des tâches** [Mizoguchi 03] : ce type d'ontologie sert à modéliser les tâches d'un problème ou d'une activité donnée. Ce type d'ontologie est utile pour décrire la structure d'une tâche de résolution de problème de manière indépendante du domaine concerné.
- **Les ontologies de domaine** sont réutilisables à l'intérieur d'un domaine donné [Gomez-Perez 99] et modélisent le vocabulaire à l'intérieur de ce domaine. La plupart des ontologies existantes sont des ontologies de domaine [Psyché & al. 03].
- **Les ontologies de tâches-domaine** : ce sont des ontologies de tâches spécifiques à un certain domaine. Un exemple d'une telle ontologie est celui d'une ontologie des termes liés à la planification chirurgicale [Gomez-Perez 99]
- **Les ontologies d'application**. Il s'agit du type d'ontologie le plus spécifique [Psyché & al. 03]. Les concepts que l'on trouve dans ce genre d'ontologies modélisent les concepts d'un domaine particulier dans le cadre d'une application donnée.

Mizoguchi propose un autre axe de classification des ontologies en les classant en ontologies « *lightweight* » (« poids-léger ») et ontologies « *heavyweight* » (« poids-lourd »)

[Mizoguchi 03]. Les ontologies *lightweight* contiennent typiquement une simple hiérarchie de concepts ainsi que des relations entre ces concepts. D'un autre côté, les ontologies *heavyweight* sont définies de manière plus précise, en déterminant des propriétés avancées sur ces concepts permettant des inférences.

Les ontologies peuvent être classées selon leur niveau de granularité (fine ou large) [Psyché & al. 03]. Plus la granularité est fine, plus les concepts modélisés vont correspondre à des notions spécifiques. Typiquement, une ontologie de haut niveau propose un niveau de granularité très large.

Une autre propriété permettant de classer les ontologies est le niveau de complétude ([Mizoguchi 98] et [Bachimont 00]). Nous allons à titre d'exemple détailler la classification en trois niveaux proposée dans [Bachimont 00] :

- « **Niveau 1 - Sémantique** : Tous les concepts (caractérisés par un terme/libellé) doivent respecter les quatre principes différentiels : 1) Communauté avec l'ancêtre; 2) Différence (spécification) par rapport à l'ancêtre; 3) Communauté avec les concepts frères (situés au même niveau); 4) Différence par rapport aux concepts frères (sinon il n'y aurait pas lieu de le définir). Ces principes correspondent à l'engagement sémantique qui assure que chaque concept aura un sens univoque et non contextuel associé. Deux concepts sémantiques sont identiques si l'interprétation du terme/libellé à travers les quatre principes différentiels aboutit à un sens équivalent.
- **Niveau 2 - Référentiel** : Outre les caractéristiques énoncées au niveau précédent, les concepts référentiels (ou formels) se caractérisent par un terme/libellé dont la sémantique est définie par une extension d'objets. L'engagement ontologique spécifie les objets du domaine qui peuvent être associés au concept, conformément à sa signification formelle. Deux concepts formels seront identiques s'ils possèdent la même extension (ex : les concepts d'étoile du matin et d'étoile du soir associés à Vénus).
- **Niveau 3 - Opérationnel** : Outre les caractéristiques énoncées au niveau précédent, les concepts du niveau opérationnel ou computationnel sont caractérisés par les opérations qu'il est possible de leur appliquer pour générer des inférences (engagement computationnel). Deux concepts opérationnels sont identiques s'ils possèdent le même potentiel d'inférence. »

Pour résumer, on peut voir les trois niveaux de cette classification de la manière suivante : le niveau sémantique correspond à une ontologie dont les termes sont clairement distincts les uns des autres, le niveau référentiel, à des termes dont on connaît en plus l'extension, le niveau opérationnel correspond quant à lui, à des ontologies inférables.

On peut aussi classer les ontologies selon le niveau de formalisme du langage que l'on utilise pour les modéliser. Uschold et Gruninger proposent [Uschold & Gruninger 96] à ce niveau quatre types d'ontologies :

- Les ontologies informelles, exprimées en langage naturel.
- Les ontologies semi-informelles, écrites dans un langage naturel, mais sous une forme limitée et structurée, permettant d'augmenter la clarté et la lisibilité.
- Les ontologies semi-formelles, exprimées dans un langage artificiel défini de manière formelle.
- Les ontologies strictement formelles, définies elles aussi dans un langage artificiel, mais avec des théorèmes et des preuves sur des propriétés de l'ontologie, telles que la robustesse ou la complétude.

Nous pouvons faire un rapprochement à ce niveau entre les pôles ontologies formelles/informelles d'une part, et les pôles computationnellement/cognitivement sémantiques, proposés par [Caussanel & al. 02] d'autre part, en ce sens qu'une ontologie computationnellement sémantique est nécessairement formelle.

On peut résumer les dimensions de classification d'une ontologie par la Figure 22.

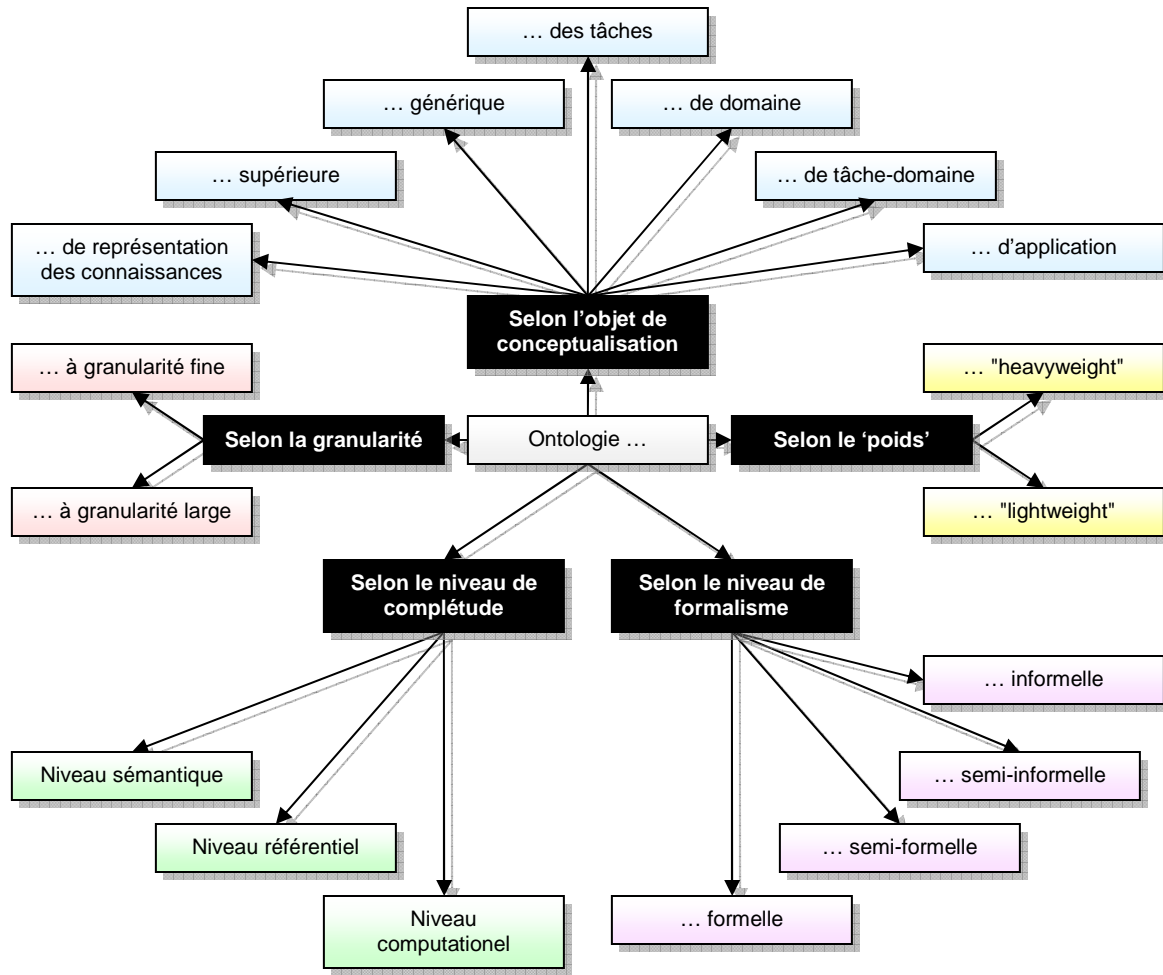


Figure 22 : schéma de classification des ontologies.

4.3. Création d'ontologies

4.3.1. Principes à respecter pour la construction d'une ontologie

Il existe un certain nombre de règles de base guidant au développement d'une ontologie [Psyché & al. 03], [Gomez-Perez 99]. Nous allons voir ici quels sont ces principes :

- Clarté et objectivité [Gruber 93] : ce principe préconise que les termes des ontologies soient définis à partir de définitions objectives, et disposent d'une documentation en langage naturel [Uschold & Gruninger 96], et d'exemples.
- Complétude [Gruber 93] : les définitions doivent définir de manière exacte le terme, par le biais de conditions nécessaires et suffisantes (en opposition avec des jeux de conditions trop strictes – i.e. suffisantes mais non nécessaires, ou trop lâches – i.e. nécessaires mais non suffisantes).

- Cohérence [Gruber 93] : il s'agit de permettre à l'ontologie de réaliser des inférences cohérentes aux définitions.
- Extensibilité monotone maximale [Gruber 93] : on doit pouvoir être en mesure, autant que possible d'ajouter de nouveaux termes sans avoir à réviser les anciens.
- Engagements ontologiques minimaux [Gruber 93] : ce principe vise à limiter au maximum les suppositions concernant le monde qui est modélisé, donnant ainsi aux utilisateurs de l'ontologie la liberté de spécifier et d'instancier l'ontologie en fonction de leurs besoins.
- Déviation minimale vis-à-vis de l'encodage : la conception de l'ontologie doit initialement se faire de manière indépendante de l'encodage qui en sera fait. On appelle déviation vis-à-vis de l'encodage les choix sur la conception de l'ontologie qui vont être réalisés afin de faciliter sa mise en place dans un encodage particulier.
- Principe de distinction ontologique [Borgo & al. 96] : toutes les classes d'une ontologie doivent être disjointes. Le critère qui permet de déterminer les propriétés essentielles définissant une classe s'appelle le critère d'identité.
- Diversification des hiérarchies [Arpirez & al. 98] : l'idée est de profiter au maximum des possibilités de l'héritage multiple. Il convient donc de créer une grande variété de critères de classification des concepts, afin de pouvoir créer facilement de nouveaux concepts à partir de ceux existants.
- Modularité : se baser sur une architecture modulaire de l'ontologie et limiter les interactions entre les différents modules [Bernaras & al. 96].
- Minimiser la distance sémantique entre des concepts frères [Arpirez & al. 98] : il faut regrouper les concepts similaires sous le même parent, et les définir à partir des mêmes primitives. A l'inverse, une distance sémantique élevée entre des concepts doit se traduire par des parents communs éloignés.
- Standardiser, autant que possible, les noms dans l'ontologie [Arpirez & al. 98].

Pour la construction de notre ontologie, nous nous concentrerons en particulier sur la clarté et l'objectivité (en particulier, en proposant, autant que possible, une documentation en langage naturel). De même, nous envisageons une ontologie pouvant être enrichie au fur et à mesure de son utilisation, impliquant une extensibilité monotone maximale, et une forte modularité.

4.3.2. Méthodes de conception d'ontologies

Les méthodes de conception d'ontologie permettent de donner un cadre à la spécification et au développement de l'ontologie. On trouve un grand nombre de méthodes [Mizoguchi 04a],

permettant soit de créer les ontologies à partir de zéro (collaborativement ou non), soit de créer une ontologie à partir d'ontologies existantes (par ré-ingénierie ou fusion) [Psyche 03]. Nous présentons ici une de ces méthodes : la méthode Ontospec [Kassel 02].

Cette méthode est basée sur deux étapes :

- Une première phase d'**ontologisation**, qui correspond à « l'acquisition et la modélisation des connaissances ontologiques ». Dans cette phase, on part d'un ensemble de sources (documents, interviews d'experts ...) et on définit en langage naturel chaque concept mis en place dans l'ontologie. Cette étape aboutit à une *ontologie conceptuelle*, indépendante de l'implémentation machine, pour laquelle la définition de chaque concept contient les éléments suivants [Kassel 05] (voir la Figure 23 ci dessous) :
 - Les propriétés essentielles, qui sont les conditions nécessaires pour qu'une entité appartienne à une classe donnée.
 - Les propriétés incidentes, qui sont les propriétés qui, bien que s'appliquant aux membres de la classe, n'en définissent pas les éléments.

<p>Concept : personne, être humain</p> <p>Propriétés essentielles</p> <p>LS : une personne est un animé</p> <p>LR : toute personne est constituée d'un corps</p> <p>Propriétés incidentes</p> <p>LR : toute personne a un numéro de sécurité sociale</p> <p>LR : toute personne a un patronyme</p> <p>(LS = Lien de Subsumption, LR = Lien Relationnel)</p>
--

Figure 23 : exemple de définition de la notion « être humain » avec la méthode OntoSpec [Kassel 02].

- Une deuxième phase d'**opérationnalisation**, permettant de passer de l'ontologie conceptuelle à l'*ontologie computationnelle*¹³. Cette étape correspond aux choix de représentation, ainsi qu'à la transposition des affirmations réalisées dans l'ontologie conceptuelle vers le formalisme informatique.

¹³ Ici, dans le sens ontologie sur support informatique.

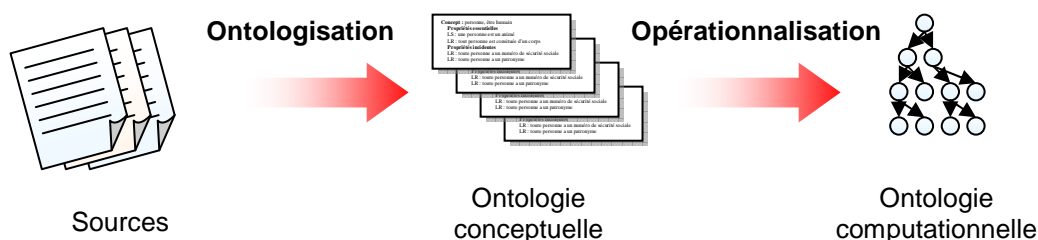


Figure 24 : étapes de la conception d'une ontologie avec OntoSpec

4.4. Représentation de l'ontologie

Plusieurs langages de représentation d'ontologies existent. Nous en donnons ici quelques exemples, puis nous présentons plus précisément OWL, et expliquerons pourquoi nous l'avons choisi pour notre implémentation.

4.4.1. Langages et environnements

Ontolingua [Ontolingua 06] désigne à la fois un langage de représentation d'ontologies, basé sur KIF, et un environnement de développement, hébergé par le KSL¹⁴ à l'université de Stanford. En tant qu'environnement, il est basé sur une architecture client-serveur Web et permet l'édition collaborative à distance d'ontologies à partir d'un simple navigateur [Farquhar & al. 97]. En tant que langage de représentation d'ontologies, il a été conçu pour servir de langage neutre lors de la création collaborative d'ontologies entre personnes utilisant des langages différents [Gruber 93].

RDF (Ressource Description Framework) [W3C 04c] est, comme son nom l'indique, un langage utilisé pour décrire des ressources, principalement Web. Le langage est basé sur une syntaxe XML, et chaque ressource se voit associer un identifiant unique (URI – Unique Resource Identifier). Ces ressources sont liées entre elles (ou à un littéral) par le biais de triplets « sujet, prédicat, objet », formant ainsi un graphe de relations entre les différentes ressources. RDF-S [W3C 04d] permet d'ajouter une dimension sémantique aux graphes RDF, notamment en permettant de définir des classes (*rdfs:class*) qui pourront être hiérarchisées (*rdfs:subClassOf*, équivalent d'un lien *is-a*), ainsi que la possibilité de limiter la portée ou le domaine d'application de certaines relations (*rdfs:range/rdfs:domain*).

¹⁴ Knowledge Systems, AI Laboratory, <http://ksl.stanford.edu/>

4.4.2. OWL

OWL [W3C 04a] (Web Ontology Language) est un langage de représentation des ontologies développé par le W3C, et constitue le standard *de facto* de représentation d'ontologies sur le Web. OWL est une sur-couche de RDF/RDFS, qui est lui-même une sur-couche de XML.

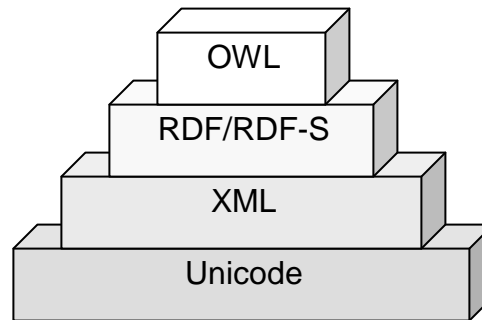


Figure 25 : relation entre Unicode, XML, RDF, et OWL.

4.4.2.1. Fonctionnalités d'OWL

Ce paragraphe décrit brièvement les fonctionnalités d'OWL. Pour une description plus détaillée, on pourra se référer à [W3C 04b].

OWL permet de définir :

- Une structure hiérarchique des classes, par le biais de relations de type *is-a*. Cette fonctionnalité, qui se retrouve dans la majorité des formalismes de représentation des connaissances, permet d'organiser les classes de manière arborescente.
- Des propriétés, qui peuvent s'appliquer aux classes. Celles-ci peuvent pointer sur d'autres classes OWL.
- Des contraintes concernant par exemple la cardinalité des relations.
- Des relations logiques entre des classes, comme par exemple la disjonction entre deux classes.
- Des méta-données, que l'on peut associer aux concepts. Il peut s'agir en particulier de labels (ce qui permet d'avoir le nom du concept en plusieurs langues) ou de commentaires (par exemple à des fins de documentation).

4.4.2.2. OWL Lite, DL et Full

Afin de répondre à la grande diversité de besoins en termes de représentations d'ontologies, OWL a été décliné en trois sous-langages, d'expressivité croissante :

- **OWL Lite** : est utilisé pour des besoins ontologiques basiques. Par exemple, dans OWL Lite, on ne peut exprimer des relations de cardinalité qu'avec des valeurs égales à 0 ou 1. L'avantage est qu'il est plus facile d'implémenter le support d'OWL Lite que de ses variantes, DL et Full.
- **OWL DL** : offre une expressivité largement plus importante que OWL Lite, tout en gardant des caractéristiques de complétude (toutes les conclusions peuvent être calculées) et de décidabilité (tous les calculs se terminent en un temps fini). Ce langage a cependant certaines restrictions (par exemple : une classe ne peut pas être une instance d'une autre classe).
- **OWL Full** : il s'agit de la version la plus complète d'OWL. Aucune restriction n'est imposée à l'utilisateur, mais en contrepartie, aucune garantie n'est fournie quant aux propriétés de calculabilité de l'ontologie ainsi créée.

A noter que toute ontologie OWL Lite valide est une ontologie OWL DL valide, et que toute ontologie OWL DL valide est une ontologie OWL Full valide.

4.4.3. Choix d'un formalisme

Une ontologie « lightweight » (au sens ontologie heavyweight/lightweight défini par Mizoguchi) suffit à notre application. Par conséquent, nous n'avons pas de besoins particuliers concernant le formalisme à adopter. Nous avons choisi le formalisme OWL – parce qu'il est maintenant le standard pour la représentation d'ontologies, ce qui fait qu'un grand nombre de ressources sont disponibles pour ce formalisme, qu'il s'agisse d'outils¹⁵, de documentation, ou encore d'exemples dont nous avons pu nous inspirer.

4.5. *Ontologies pour la conception collaborative.*

Les ontologies, en tant que moyen de formaliser des connaissances et de les rendre interprétables par machine, constituent un outil de gestion des connaissances en conception collaborative. Comme dans tout domaine, deux questions se posent dans l'utilisation d'ontologies pour la conception collaborative : que représenter dans l'ontologie, et comment l'exploiter ?

4.5.1. Connaissances représentées

Le processus de conception fait appel à un grand nombre de connaissances, très variées, et en permanente évolution. De ce fait, il est difficile d'envisager de modéliser toutes les connaissances mises en jeu au cours de la conception [Zacklad & al. 03], ce qui impose de faire un choix sur les connaissances à représenter.

¹⁵ Par exemple, Protégé [Protégé 06] permet d'exporter et d'importer des ontologies en OWL.

L'analyse fonctionnelle permet d'obtenir, à partir des spécifications des besoins, une formalisation détaillée des fonctions du produit. Ces données peuvent être modélisées dans des ontologies, comme le proposent Kitamura et Mizoguchi [Kitamura & Mizoguchi 03]. L'un des avantages de cette modélisation est la clarification, en particulier, entre les relations *is-a* existant entre les fonctions (désignant les manières de réaliser une tâche) et les relations *part-of*¹⁶, désignant les différentes étapes par lesquelles on doit passer pour réaliser une tâche.

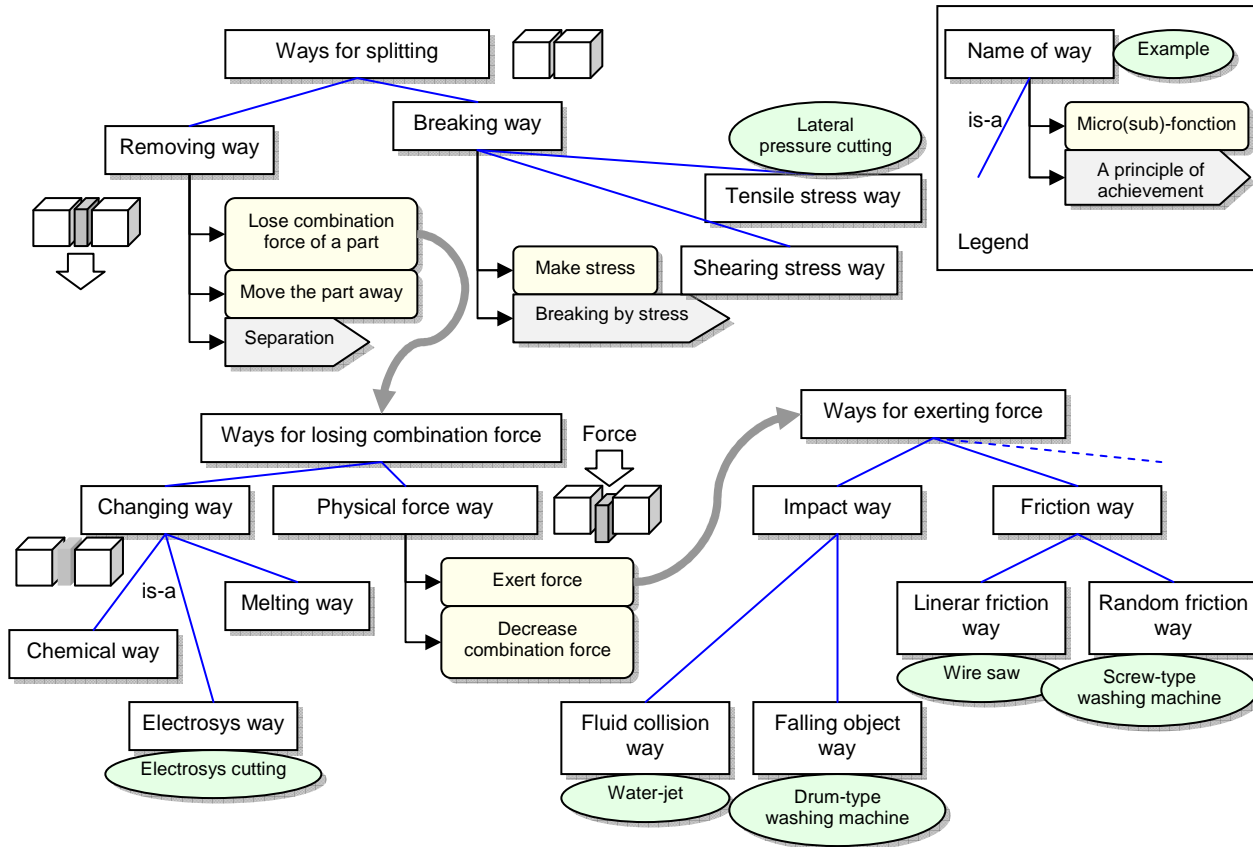


Figure 26 : extrait de l'ontologie des fonctions proposée par [Kitamura & al. 04].

Dans le projet AACC [Thouvenin & al. 03], les auteurs se sont basés sur des expériences de conception collaborative à distance pour réaliser une ontologie des tâches mises en jeu dans le processus de conception collaborative. Ainsi, les concepts de l'ontologie correspondent à des tâches de collaboration, et celles-ci sont organisées par :

- Des liens de subsomption (« *is-a* »), qui permettent de classifier les tâches.

¹⁶ L'auteur propose aussi d'appeler ces relations *is-achieved-by* dans le cas spécifique de la représentation fonctionnelle du produit.

- Des liens de composition (« *part-of* »), qui permettent de décomposer une tâche en plusieurs sous-tâches.
- Des liens de précédence, qui spécifient un ordre lorsqu'une tâche doit être réalisée avant une autre.

Cette ontologie sert de base à un agent assistant, qui, grâce à ces informations, dispose de la structure d'une activité de conception collaborative à distance, et peut ainsi donner de manière proactive des informations sur la tâche en cours (par exemple, conseiller la tâche à réaliser).

4.5.2. Utilisation

Les utilisations possibles des ontologies dans le cadre de la conception collaborative sont très nombreuses. Nous allons présenter ici trois exemples qui illustrent l'utilisation d'une ontologie comme support de la collaboration elle-même, l'exploitation de l'ontologie par des systèmes intelligents et l'utilisation de l'ontologie comme référentiel de communication entre les différentes composantes logicielles utilisées.

L'ontologie peut tout d'abord servir de référentiel commun entre les participants du projet, et ainsi faciliter la collaboration. Par exemple, dans [Garcia & al. 04], l'ontologie est utilisée dans une situation de Collaboration Extrême (Extreme Collaboration ou XC en anglais) [Mark 02]. Les concepteurs sont regroupés sur la période de leur tâche pour une session de collaboration présenteielle, assistée par des techniques avancées de visualisation collective. Dans cette situation, l'ontologie, basée sur un modèle Produit, Organisation, Processus (POP)¹⁷, sert de canevas pour organiser et formaliser les choix qui sont faits autour du produit à concevoir. Les acteurs du projet enrichissent eux-mêmes cette ontologie qui est au départ très simple et sert d'artéfact de la collaboration.

¹⁷ Les 3 éléments du modèle POP sont décrits de la manière suivante [Garcia 04] :

- La notion de « Produit » se rapporte à l'artéfact qui est construit, tant d'un point de vue physique que d'un point de vue conceptuel.
- L' « Organisation » désigne l'ensemble des agents s'occupant de la conception et de la construction de l'artéfact.
- Le « Processus » se rapporte aux activités nécessaires pour construire l'artéfact.

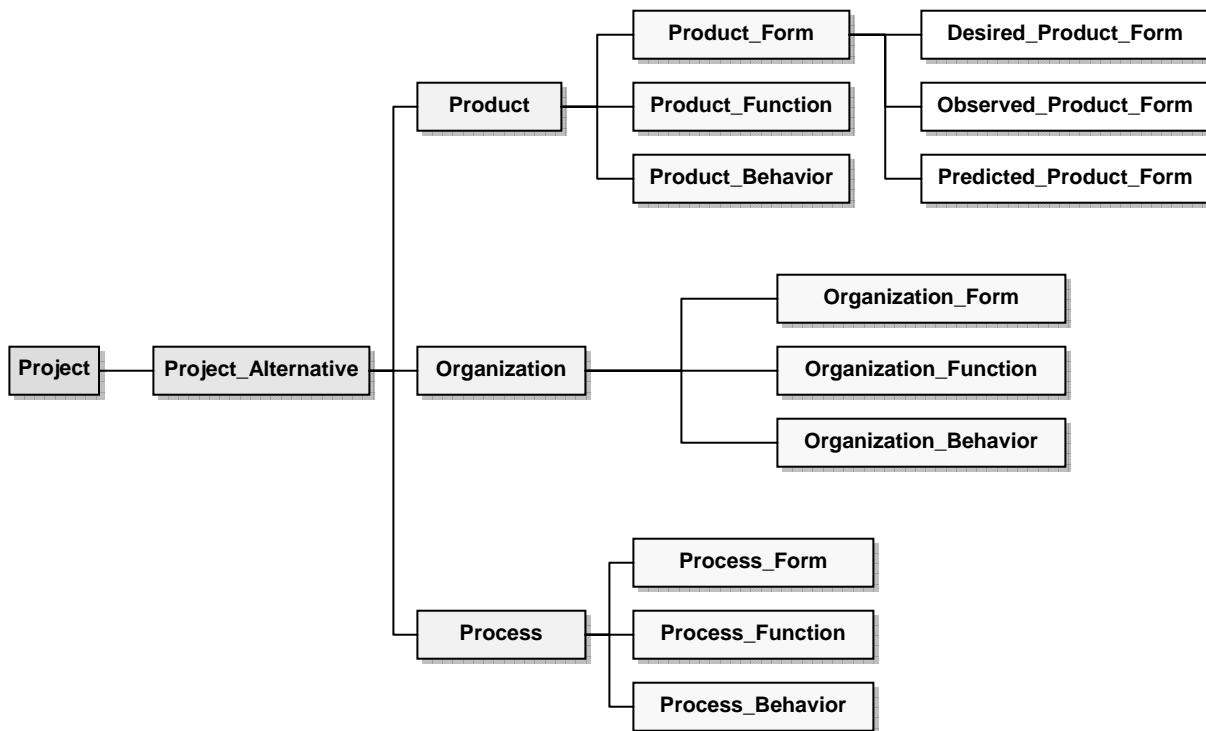


Figure 27 : racine d'une ontologie utilisée comme canevas pour une activité de conception [Garcia & al. 04] . Une alternative de projet (une solution pour le projet en cours) correspond à la définition du Produit, de l'Organisation et du Process associé au projet.

L'ontologie peut aussi être exploitée par un système intelligent, comme nous l'avons vu plus haut avec le projet AACC. Le système intelligent est dans ce cas un agent assistant qui utilisera les informations contenues dans l'ontologie afin d'assister les utilisateurs dans le processus de conception en leur proposant des documents et des actions évaluées comme pertinentes par rapport au contexte.

Enfin, une ontologie peut être utilisée comme plateforme d'intégration entre différents systèmes. Nous pouvons citer l'exemple de KIEF¹⁸ [Yoshioka & al. 04], dans lequel l'ontologie représente les concepts physiques de base sur lesquels sont construits les modèles physiques des applications utilisées en ingénierie (C.A.O., éléments finis...). Pour ce type d'application, une ontologie de type « *heavyweight* », avec une forte organisation entre les concepts, est nécessaire.

4.6. Conclusion

Les ontologies constituent un moyen très riche de représenter les connaissances, tant par leur nature générique, que par la richesse d'expression qu'elles permettent. Nous avons vu dans

¹⁸ Knowledge Intensive Engineering Framework

ce chapitre les différents principes de base liés à la construction et à l'utilisation d'ontologies. Ces principes serviront de cadre à la construction de notre ontologie. Dans le domaine de la conception collaborative, l'utilisation d'une ontologie permet d'offrir aux différents acteurs du projet, et au système un référentiel commun, qui pourra servir des buts aussi divers que l'aide à la collaboration, la cohérence entre plusieurs environnements, ou encore servir de canevas pour la conception. Dans notre cas, l'ontologie servira de moyen d'aider à l'accès aux informations pertinentes.

Notre objectif, pour les travaux que nous présentons dans ce mémoire, n'était pas de proposer de nouveaux concepts en termes d'ingénierie ontologique, mais d'utiliser les principes existants pour les adapter à notre situation.

En particulier, notre choix de formalisme de représentation de l'ontologie s'est porté sur OWL. Le langage OWL est actuellement le standard *de facto* pour la représentation d'ontologie, il permet de représenter des connaissances très variées, et de nombreux outils le supportent. Il convient donc parfaitement à nos besoins. D'autre part, pour ce qui est de la création de l'ontologie qui sera intégrée à notre environnement, nous utiliserons la méthode Ontospec [Kassel 02] du fait de sa simplicité de mise en œuvre.

Modèle d'annotations 3D

5.1. Introduction

Nous avons vu dans le chapitre 3 l'importance des annotations dans le processus de collaboration. Cependant, si l'on trouve dans la littérature de nombreux travaux relatifs aux annotations, peu sont spécifiques aux annotations 3D (par exemple [Jung & al. 02a] ou [Latch Craig & Zimring 02]). De plus il n'existe pas à l'heure actuelle de formalisation de la notion d'annotation 3D.

Nous proposons donc dans ce chapitre un modèle de l'annotation 3D. Nous nous sommes basés sur les concepts déjà existants dans un cadre non spécifique aux environnements virtuels pour dégager les éléments et questions spécifiques apparaissant dans le cas 3D.

La première partie de ce chapitre précisera notre définition de l'annotation au sens général, puis plus précisément de l'annotation 3D. Nous verrons ensuite en quoi l'utilisation d'annotations 3D se distingue d'autres pratiques proches.

Enfin, l'essentiel de ce chapitre présentera notre modèle d'annotation 3D, qui repose sur trois composantes principales : la forme de l'annotation, ses méta-données, et sa spatialisation. Chacune de ces composantes sera détaillée.

L'annotation 3D étant un type particulier d'annotation, nous allons tout d'abord poser une définition de l'annotation au sens général du terme avant définir plus spécifiquement la notion d'annotation 3D.

5.2. Définition d'une annotation

5.2.1. Dans un contexte général

Nous avons vu précédemment dans ce mémoire un ensemble de propositions pour définir la notion d'annotation [Baldonado & al. 00], [Veron 97], [Huart 97], [Bringay & al. 03]. En utilisant les principaux éléments de ces définitions nous posons la définition suivante de l'annotation :

Une annotation est une marque ou un document ayant les propriétés suivantes :

- Elle se rapporte à un autre document ou à une partie d'un autre document (la cible) et résulte d'une activité ou sert à une activité concernant ce document.
- Elle est non dissociable de sa cible.
- Elle est cependant distincte de sa cible.

Nous allons détailler ici les différents aspects de cette définition :

- « Une annotation est une marque ou un document » : cette partie de la définition met en avant le fait qu'une annotation est très versatile pouvant aller d'un simple coup de crayon à un document complexe, comportant plusieurs media. De plus, cette partie de la définition distingue la notion d'annotation de la notion de méta-donnée. En effet, selon notre point de vue, la méta-donnée, n'ayant pas de support (i.e. une forme) ne peut pas être considérée comme une marque, et elle n'a pas non plus les attributs lui permettant de prétendre au statut de document.
- « Elle se rapporte à un autre document ou à une partie d'un autre document (la cible) » : l'annotation parle nécessairement d'un autre document. Par exemple, selon notre définition, un objet attaché à un autre, mais ne le concernant pas (comme une liste des courses en bas de page d'un photocopié de cours) ne sont pas considérées comme des annotations.
- Nous voyons dans ces deux points que la définition d'annotation met en jeu la notion de document. De nombreuses définitions existent de la notion de document [Pédauque 03]. Dans notre cas, nous définissons un document comme une « connaissance inscrite sur un support ». Cette définition est volontairement très large pour inclure des entités très variées, physiques ou numériques. Par exemple, avec cette définition, un objet 3D (connaissance sur la forme de l'objet, inscrite sur un support 3D) est considéré comme un document.
- « et résulte d'une activité ou sert à une activité concernant ce document » : cette partie de notre définition met en avant la notion de fonction de l'annotation : le document annoté est l'objet d'une action, réalisée soit pendant (par exemple : collaboration autour d'un produit par des annotations) ou avant (par exemple : donner des impressions générales après une première consultation d'un document)

l'acte d'annotation (« résulte d'un activité »), soit après¹⁹ l'acte de l'annotation (« sert à une activité »).

- « Elle est non dissociable de sa cible » : l'annotation perd son sens lorsqu'elle est prise de manière séparée de sa cible. Ainsi, une annotation est nécessairement jointe au document auquel elle se rapporte. Cet élément élimine de l'ensemble des annotations des documents tels que des livres traitant de l'œuvre d'un écrivain, par exemple.
- « Elle est cependant distincte de sa cible » : ce lien est cependant à sens unique. En effet : l'annotation est une information sur le document, mais ne fait pas partie du document lui-même. Cette distinction est en particulier nécessaire dans le cadre des annotations 3D pour la conception collaborative : une marque 3D, représentant un élément à ajouter au produit, ne fait pas partie du produit si elle a un statut d'annotation. Inversement, une fois rajoutée au produit (par exemple lors de la création d'une nouvelle version du produit), cette marque 3D perd son statut d'annotation.

5.2.2. L'annotation 3D

A partir de cette définition, nous pouvons mettre en place la définition d'une annotation 3D :

Une annotation 3D est une annotation dont la cible est une entité 3D et qui est contextualisée par rapport à cette entité 3D²⁰.

En combinant cette définition avec la définition précédente, nous pouvons remarquer que nous prenons en compte toute la variété des formes de l'annotation. Ainsi, le support de l'annotation n'est pas nécessairement tridimensionnel, comme c'est le cas pour un label textuel posé sur un objet 3D. De même, une annotation tridimensionnelle peut être une simple marque 3D posée sur la cible.

Nous remarquerons de plus que cette définition met en jeu un concept important : la contextualisation de l'information dans l'espace 3D. Nous définissons la contextualisation d'une information en 3D comme étant le processus visant à enrichir cette information via des données propres au monde 3D. De manière plus simple, contextualiser une information dans le monde 3D, c'est lui ajouter des informations la liant à ce monde.

La contextualisation de l'information dans l'espace 3D comporte trois étapes : la définition de la forme de cette information (comment représenter l'information dans le monde

¹⁹ Par exemple : notes laissées par l'auteur pour faciliter la compréhension de son écrit. Cette note de bas de page en est elle-même un exemple, l'activité à laquelle sert cette note étant la lecture de ce document.

²⁰ A noter qu'une annotation 3D ne contient pas nécessairement des inscriptions 3D.

virtuel ?), sa spatialisation (où la placer ?) et la définition des interactions avec cette information dans le monde 3D.

5.3. Pourquoi les annotations 3D ?

Avant de présenter notre modèle d'annotation 3D, nous allons justifier ce choix par rapport à d'autres méthodes d'annotation. Il existe en effet des méthodes d'annotation alternatives à l'utilisation d'annotations 3D pour commenter un produit en situation de conception collaborative. Nous considérons ici deux de ces méthodes alternatives : d'une part l'annotation de prises de vues (rendus) du produit, qui sont alors annotés en tant qu'images, et d'autre part l'annotation du produit dans son ensemble, en tant que document indivisible. Nous expliquerons les avantages des annotations 3D, qui sont spatialisées dans l'environnement 3D, par rapport à chacune de ces deux approches.

5.3.1. Annotations 3D vs. annotations sur des rendus d'objets 3D.

D'un point de vue historique, l'activité d'annotation avait à l'origine pour support des objets bidimensionnels : livres, esquisses, plans, etc. Ainsi, lors de la conception d'objets tridimensionnels, une première approche consiste à effectuer un rendu de cet objet 3D, et d'annoter l'image résultant du rendu de l'objet.

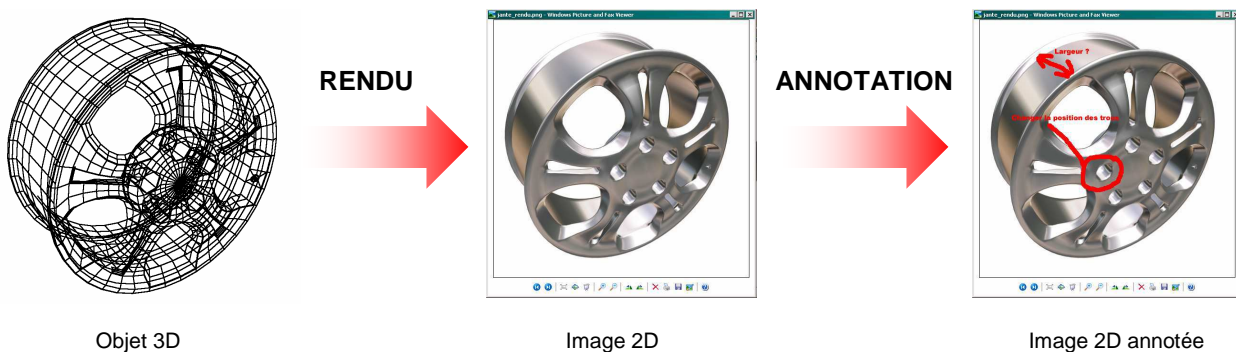


Figure 28 : processus d'annotation sur un rendu d'objet 3D.

Cette solution présente l'avantage se rapporter à une activité déjà existante : l'annotation d'images 2D, et permet donc de se baser sur des pratiques et des outils déjà existants. Il est possible de préciser l'ancre 2D de l'annotation, et ainsi indiquer la partie de l'objet concernée. De plus, la position de la caméra étant définie au moment du rendu, le lecteur de l'annotation connaît le point de vue géométrique pour la lecture des annotations.

Ce type d'annotation n'est cependant pas considéré comme relevant des annotations 3D : en effet, l'objet annoté (c'est-à-dire la cible des annotations) n'est pas un objet 3D, mais une image. Par exemple, il n'est pas possible de voir l'annotation sous plusieurs angles de vues

différents, chose possible dans le cas des annotations 3D. De plus il est impossible de visualiser sur la même vue des annotations ayant des points de visualisation différents (c'est à dire des annotations posées sur des rendus différents de l'objet 3D).

Enfin, la méthode décrite ci-dessus rajoute une étape dans le processus d'écriture de l'annotation : la création des rendus du modèle. Le processus dans son ensemble devient plus complexe, en particulier lorsque plusieurs points de vue sur le produit sont nécessaires : il faut alors créer plusieurs rendus et annoter plusieurs images différentes.

5.3.2. Annotations 3D vs. annotations sur la globalité de l'objet 3D

Une autre approche consiste à considérer l'objet 3D comme un document quelconque, sans tenir compte de ses spécificités, et à utiliser des outils de discussions autour d'un document, pour échanger des informations autour du produit via des annotations. L'objet 3D est alors considéré comme une « boîte noire », et les annotations n'ont pas d'ancre explicite sur une partie de l'objet en particulier. C'est par exemple le type d'approche qui est utilisé dans les situations de collaboration autour de notes dans l'environnement BSCW [BSCW 06].

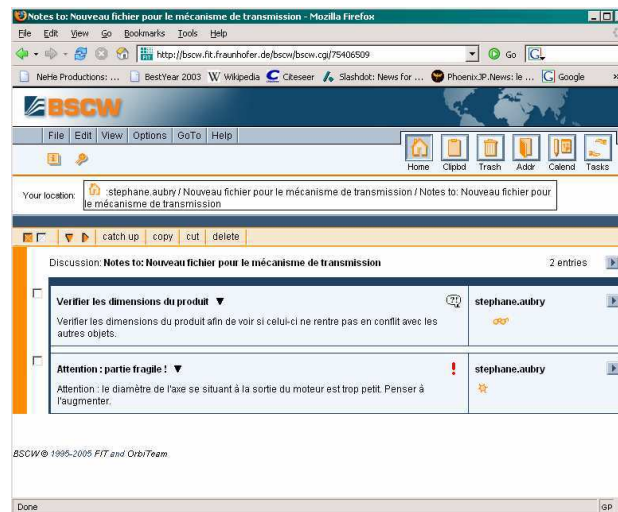


Figure 29 : annotations sous BSCW : les annotations ne sont pas contextualisées par rapport au produit.

Cette approche offre en particulier l'avantage, dans le cadre d'une collaboration sur un ensemble d'objets hétérogènes, de pouvoir annoter tous ces objets dans le même environnement²¹.

²¹ On peut par exemple envisager une situation de collaboration où le produit ne serait qu'un objet de la collaboration parmi d'autres, et où les membres du projet devraient aussi discuter autour de textes, d'images ...

Cependant, ce type d'environnement ne prend pas en compte des éléments de contextualisation de l'annotation. En effet, l'ancre de l'annotation, qui est le point d'attache de l'annotation à l'objet annoté, est dans ce cas l'objet considéré dans sa totalité, et il est impossible de définir une ancre dans un niveau de granularité plus fin, comme par exemple spécifier une ancre sur une zone de l'espace 3D, ou encore sur un élément de la description géométrique du produit. De même, il n'est pas possible d'associer aux annotations un point de vue géométrique.

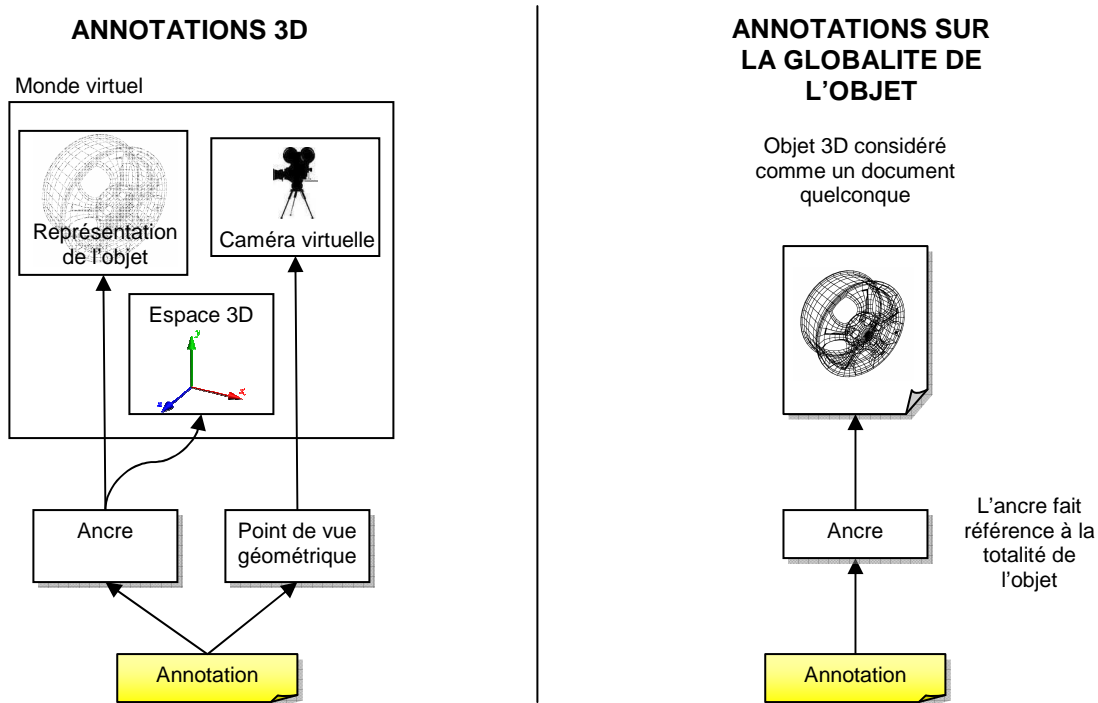


Figure 30 : annotations 3D vs. annotations sur la globalité de l'objet 3D.

5.4. Notre modèle d'annotation 3D

Nous proposons avec notre modèle d'annotation d'identifier les différentes composantes de l'objet annotation, et de déterminer les liens existant entre elles. Notre modèle d'annotation 3D a trois composantes :

- **La forme** (le contenu) de l'annotation est la partie « tangible » de cette dernière. La forme de l'annotation est déterminée par son ou ses supports.
- **Les méta-données** de l'annotation, sont réparties en deux catégories : d'une part les méta-données épisodiques, qui renseignent sur le contexte dans lequel l'annotation a été créée (ou le contexte des étapes de son cycle de vie) : auteur, date de création ... On trouve d'autre part les méta-données de contenu, qui renseignent sur l'annotation elle-même (intention de l'annotation, importance ...).

- **La spatialisation** de l'annotation désigne les modalités selon lesquelles l'annotation est placée dans l'environnement 3D. Les éléments de la spatialisation que nous avons identifiés sont l'ancre et le point de vue géométrique.

La figure ci-dessous montre les relations existant entre les différentes composantes de l'annotation 3D. Nous allons détailler les différents éléments qui y sont représentés.

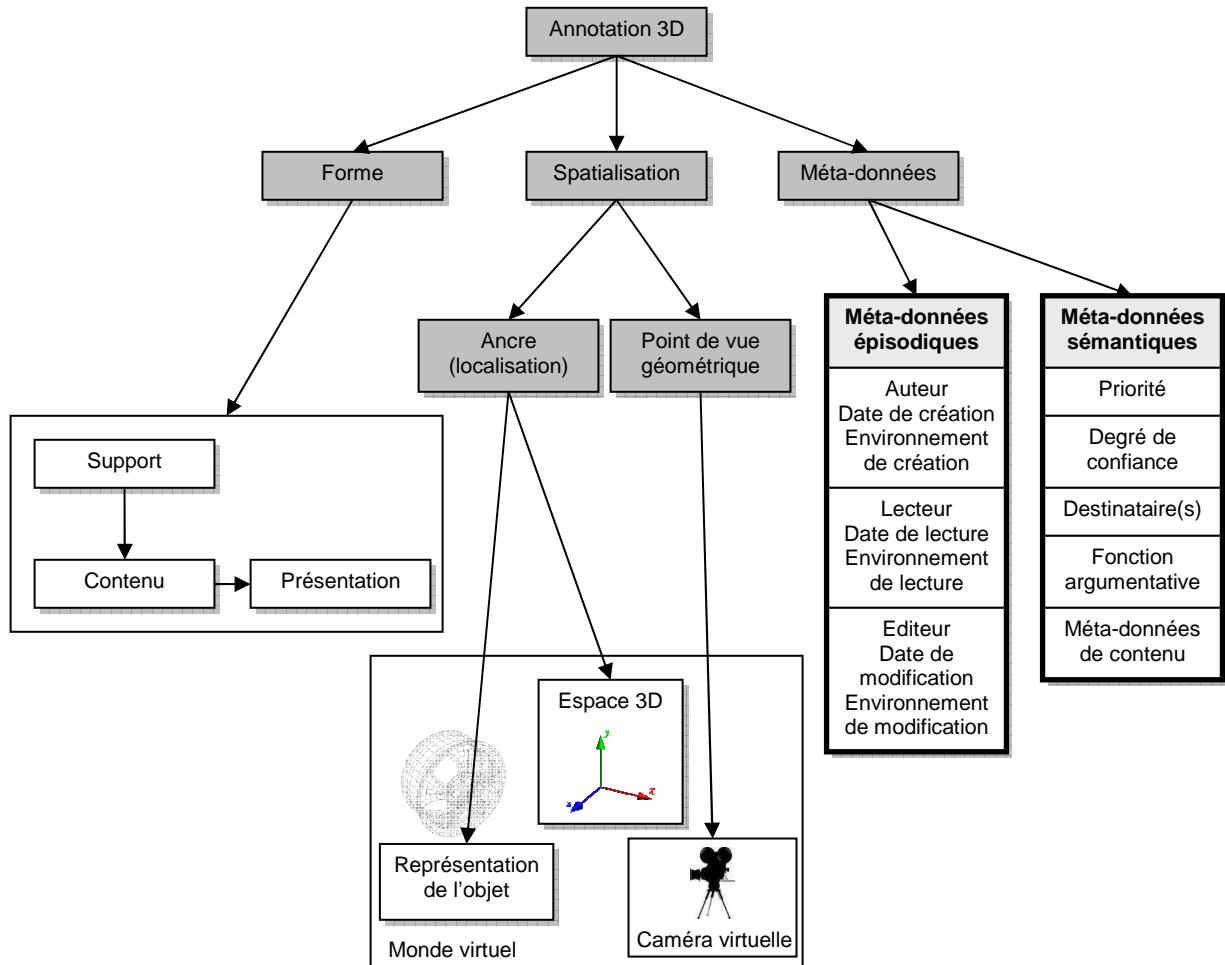


Figure 31 : notre modèle d'annotation 3D

5.4.1. Forme de l'annotation

5.4.1.1. Les éléments de la forme de l'annotation

La forme de l'annotation désigne le triplet :

{support, contenu, présentation}.

- **Le support** de l'annotation est l'objet, matériel ou électronique, qui sera utilisé pour inscrire une connaissance. Une annotation peut avoir plusieurs supports, par exemple, texte et image et son. Le terme « support » à été préféré au terme « média » pour inclure sans ambiguïté les supports spécifiques aux annotations 3D (marques 3D, données à retour sensoriel, gestes, comportements).
- L'auteur de l'annotation utilise alors ce support pour y inscrire la connaissance. Cette connaissance peut être de nature très diverse : un souhait de l'auteur de l'annotation, un remarque, un élément de gestion du projet, etc. La connaissance inscrite sur le support est le **contenu** de l'annotation.
- Enfin, **la présentation de l'annotation** désigne la manière dont ce contenu sera rendu.

Reprenons cette distinction à partir d'un exemple : un concepteur désire modifier les dimensions d'une pièce dans le produit. Il choisit de s'exprimer de manière textuelle. Le texte constitue alors le support de son annotation. Il inscrira alors dans son annotation « il faut changer les dimensions de cette partie », qui constitue le contenu de l'annotation. Le texte en question sera affiché d'une certaine manière, qui constitue la présentation de l'annotation.

Le choix du support a une influence sur le contenu qui peut être créé : par exemple, les connaissances qui peuvent être exprimées par des images ne sont pas les mêmes que celles qui peuvent être exprimées par de l'audio. De plus, la présentation de l'annotation est entièrement dépendante de son support. On voit donc que le support est un élément central de la forme de l'annotation.

5.4.1.2. Les supports de l'annotation 3D

- **Supports non spécifiques**

Il est possible pour une annotation 3D, d'utiliser les types de supports qui ont été recensés dans le chapitre 3 : texte, images, son, vidéo, ou encore liens. Nous appellerons ces supports « non spécifiques » aux environnements 3D. Cependant, il existe un certain nombre de supports spécifiques aux annotations 3D.

- **Marques 3D**

La première catégorie de supports spécifiques de l'annotation 3D est l'utilisation de marques 3D. Une marque 3D désigne un objet, visible dans le monde virtuel, utilisé pour annoter

le produit²². Il peut s'agir d'une ligne, d'une surface, d'un volume, ou même d'un dessin sur la texture d'un objet.

C'est le cas de ce que l'on trouve dans [Latch Craig & Zimring 02], où l'auteur propose l'utilisation de substituts (« surrogate » en anglais) comme annotations à placer dans l'environnement 3D. Un substitut est un objet de l'espace 3D, qui a un statut d'annotation, et qui symbolise un objet imaginaire faisant partie du document annoté, il donne une dimension figurative à l'annotation [Boujut & Dugdale 06]. Ce cas constitue un exemple d'utilisation de « marques 3D » comme support de l'annotation.

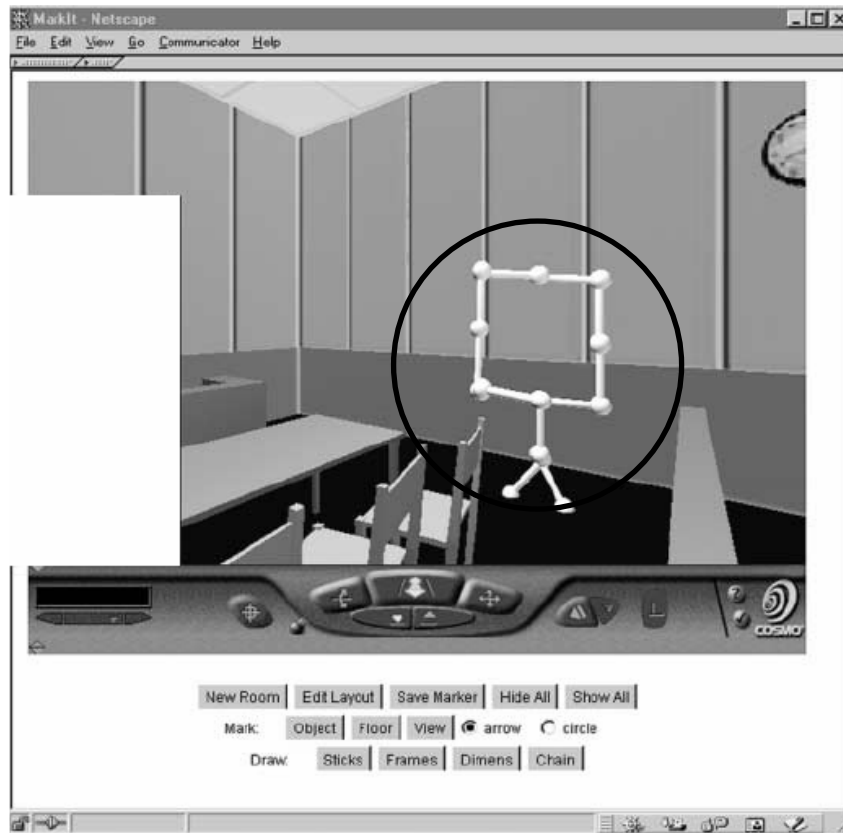


Figure 32: annotations 3D par surrogats [Latch Craig & Zimring 02]. L'objet 3D encerclé représente l'emplacement d'un écran pour projection.

Nous proposons de distinguer 3 fonctions que peut remplir une marque 3D :

- Une fonction représentative : les marques laissées dans l'espace 3D représentent un objet de la scène ou du produit. La Figure 32 est un exemple de marque 3D ayant une fonction représentative.

²² Nous avons n'avons pas utilisé le terme « forme 3D » pour éviter la confusion avec la forme de l'annotation.

- Une fonction structurante dans l'espace : une marque 3D a une fonction structurante dans l'espace lorsque elle met en avant certaines structures de la scène, tels que des alignements, des formes caractéristiques, etc.
- Une fonction symbolique : la marque laissée dans l'espace ne représente non pas un élément géométrique, mais est un symbole porteur de sens pour la communauté participant à la séance collaborative. Placer une flèche dans l'espace 3D pour indiquer un endroit où l'attention doit être retenue, ou encore poser une marque en forme de « x » dans la scène pour indiquer un objet à supprimer sont des exemples de marques à fonction symbolique.

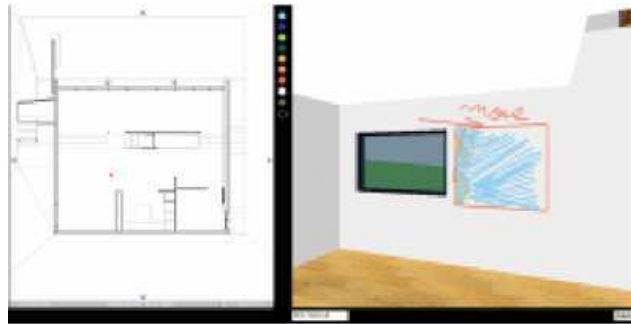


Figure 33 : utilisation d'une marque 3D dans l'environnement SpacePen [Jung & al. 02a]. La marque a une fonction représentative (la fenêtre est dessinée) et une fonction symbolique (la flèche et le mot « move » indiquent l'idée de déplacer la fenêtre)

- **Données à retour sensoriel**

Le deuxième type de support spécifique que nous proposons pour l'annotation 3D est l'utilisation de données à retour sensoriel. Ces données seront par exemple des informations de retour d'effort, ou encore des informations tactiles. Les données à retour sensoriel peuvent être par exemple utilisées pour transmettre à un autre membre du projet le niveau de résistance souhaité pour un bouton donné, ou encore le « moelleux » désiré pour un siège.

- **Gestes**

Il est possible de conserver les gestes de l'utilisateur comme support de l'annotation. Les gestes constituent un support d'annotation distinct des marques 3D pour deux raisons :

- Les gestes prennent en compte une dimension temporelle, qui n'est pas présente avec les marques 3D. Il est ainsi possible d'exprimer des choses telles que le mouvement, ou encore une succession d'évènements.
- D'autre part, les gestes, contrairement aux marques 3D, sont liés à la représentation que l'on donnera du corps de l'utilisateur dans l'environnement 3D. Ainsi, dans le cas d'un environnement virtuel représentant les utilisateurs sous une forme humaine, il sera possible d'exprimer des postures (par exemple, pour

indiquer que l'on ne peut pas atteindre un endroit particulier du produit). La Figure 34 ci-dessous montre un exemple d'annotation gestuelle mettant en scène le corps virtuel de l'individu.



Figure 34 : exemple d'annotation gestuelle. L'utilisateur veut indiquer la posture nécessaire pour atteindre les tiroirs inférieurs.

- **Comportements**

Nous travaillons dans le cadre d'une situation de manipulation de maquette virtuelle. Comme nous l'avons vu au chapitre 2, en plus des données 3D, une modélisation comportementale est attachée à la maquette virtuelle.

Nous pouvons envisager de lier l'annotation 3D à des comportements de la maquette virtuelle dans les deux sens : dans un sens, la mise en route de certains comportements déclenche l'affichage d'une annotation, et d'autre part la sélection de l'annotation déclenche des comportements sur la maquette virtuelle.

L'application principale de l'utilisation de comportements est dans le domaine de la formation : ainsi pour la formation à la maintenance d'un produit, l'apprenant peut voir, en même temps que le contenu de la formation (inscrit, par exemple sur un support textuel, vidéo ou sonore), une animation sur le produit illustrant la notion enseignée.

Le temps nous ayant manqué, nous n'avons malheureusement pas pu explorer plus en détail cette piste, mais elle constituerait un élément central de l'étude des annotations 3D pour la formation.

5.4.1.3. Les annotations multi-supports

Nous avons présenté les différents supports de l'annotation 3D. Il est clair que plusieurs supports peuvent être utilisés conjointement pour une même annotation. L'utilisation de supports multiples permet en particulier d'exploiter le caractère complémentaire de ces différents supports. Ainsi, l'auteur de l'annotation peut faire appel à l'utilisation conjointe du support sonore pour exprimer ce qu'il n'a pas pu exprimer avec une marque 3D.

Il faudra dans ce cas prendre en compte une synchronisation des différents supports constitutifs de l'annotation, en particulier lorsque l'annotation met en jeu des supports ayant une composante temporelle (sons, vidéos, gestes, comportements).

5.4.1.4. Interfaces de création des supports de l'annotation

Nous avons présenté ici les supports de l'annotation, et vu qu'une annotation pouvait avoir simultanément plusieurs supports. Une question centrale concerne alors les interfaces que l'on va utiliser pour créer ces supports, et notamment lorsque l'on souhaite réaliser un environnement permettant de créer des annotations multi-supports.

Par exemple, l'interface « naturelle » pour les marques 3D et les gestes consiste en l'utilisation de périphériques immersifs (capteurs 3D + gants de données), alors que l'interface la plus répandue pour la saisie de texte est le clavier. Pour des raisons évidentes de praticité, nous ne pouvons pas utiliser simultanément ces deux types d'interfaces. Par rapport à ce problème, nous pouvons proposer deux solutions : soit l'utilisation exclusive d'une interface « classique » (souris + clavier) avec création des marques 3D et des gestes par des méthodes similaires à celles que l'on trouve dans les modeleurs 3D, soit l'utilisation exclusive de périphériques immersifs, la saisie du texte se faisant alors par le biais de métaphores telles que le « Pinch Keyboard », proposé par Bowman [Bowman & al. 01].

Nous sommes restés dans le cadre de notre travail sur un paradigme « clavier + souris » pour la manipulation des données 2D et 3D dans notre environnement, mais l'utilisation d'interfaces immersives pour la saisies d'annotations est clairement une question importante qui constituerait l'un des développements possibles de cette thèse.

5.4.2. Les méta-données

Les méta-données sont, par définition, les données sur l'annotation, nous reprendrons la distinction faite dans le modèle d'annotation de Azouaou et Desmoulins [Azouaou & Desmoulins 05] entre la « partie épisodique de l'annotation » et la « partie sémantique de l'annotation » pour distinguer deux types de méta-données : les méta-données épisodiques et les méta-données sémantiques.

5.4.2.1. Méta-données épisodiques

Les méta-données épisodiques concernent, plus que l'annotation elle-même, le contexte dans lequel cette annotation a été créée, ou dans lequel elle a passé les différentes étapes de son cycle de vie. Nous distinguons les annotations épisodiques suivantes :

- Contexte de création : date de création, identité de l'auteur, environnement de création (logiciel utilisé, adresse Internet de la machine utilisée).
- Contexte de modification (dans le cas où l'on autorise la modification de l'annotation) : date de modification, identité de l'éditeur, environnement de modification.
- Contexte de lecture : date de consultation, identité du lecteur, environnement de lecture.

5.4.2.2. Méta-données sémantiques

Les méta-données sémantiques renseignent sur le sens que l'on donne à l'annotation. Les méta-données sémantiques sont généralement posées par l'auteur de l'annotation ou, pour la plupart d'entre elles, par les autres lecteurs de l'annotation, soit à destination des autres utilisateurs afin de clarifier les informations présentes dans l'annotation, soit à destination de la machine afin de faciliter le processus d'indexation des annotations. En nous inspirant des travaux de Azouaou et Desmoulins [Azouaou & Desmoulins 05], nous proposons les méta-données sémantiques de l'annotation suivantes :

- **Le degré de priorité** de l'annotation indique l'importance à donner à l'annotation. Ainsi, une annotation ne nécessitant pas de réaction de la part des autres utilisateurs et portant sur un aspect mineur du produit aura un niveau de priorité faible, alors qu'une annotation majeure ayant des implications importantes pour tous les membres du projet aura un degré de priorité élevé. Le degré de priorité peut être déterminé, soit *a priori* par l'auteur de l'annotation, soit *a posteriori* par ses lecteurs.
- **Le degré de confiance** que l'on accorde à l'annotation désigne à quel point l'information incluse dans l'annotation est considérée comme fiable. Tout comme le degré de priorité de l'annotation, le degré de confiance peut être déterminé *a priori* par l'auteur de l'annotation, ou *a posteriori* par ses lecteurs.
- **La fonction argumentative de l'annotation** : il s'agit du rôle de l'annotation dans le processus argumentatif de la collaboration. Plusieurs classifications des fonctions argumentatives de l'annotation existent [Boujut & Dugdale 06], [Azouaou & Desmoulins 05], et celles-ci varient, en particulier, en fonction du domaine d'application. Nous nous sommes basés sur ces classifications, ainsi que

5.4.3.1. L'ancre de l'annotation

Comme nous l'avons vu auparavant, l'ancre d'une annotation est définie comme étant « le point d'attache d'une annotation à l'objet annoté » [Bringay & al. 03]. De par la nature des objets que nous cherchons à annoter (objets 3D), l'ancre d'une annotation 3D a des propriétés différentes des ancres que l'on trouve sur les documents classiques.

L'ancre de l'annotation définit la localisation de l'annotation dans le monde virtuel. Cette localisation passe par la définition d'un sous-ensemble du monde 3D. Nous pouvons dans un premier temps distinguer deux approches pour représenter l'ancre de l'annotation :

- Soit une description basée sur l'espace 3D dans lequel se trouve le produit. Nous avons alors une description **spatiale** de l'ancre, par exemple en spécifiant les coordonnées $[x, y, z]$ du point auquel est attaché l'annotation, ou encore en déterminant un volume de l'espace par des coordonnées géométriques.
- Soit une description basée sur le produit annoté, et sa représentation dans l'environnement 3D, ce qui correspond à une description **logique** de l'ancre : en effet, l'objet 3D est stocké sous la forme d'entités élémentaires (celles-ci pouvant varier en fonction du formalisme utilisé : polygones, NURBS, surfaces de subdivisions ...), et généralement elles-mêmes regroupées en unités logiques (groupes, CSG ...). On peut alors définir l'ancre de l'annotation, soit par rapport aux entités élémentaires, soit par rapport aux unités logiques.

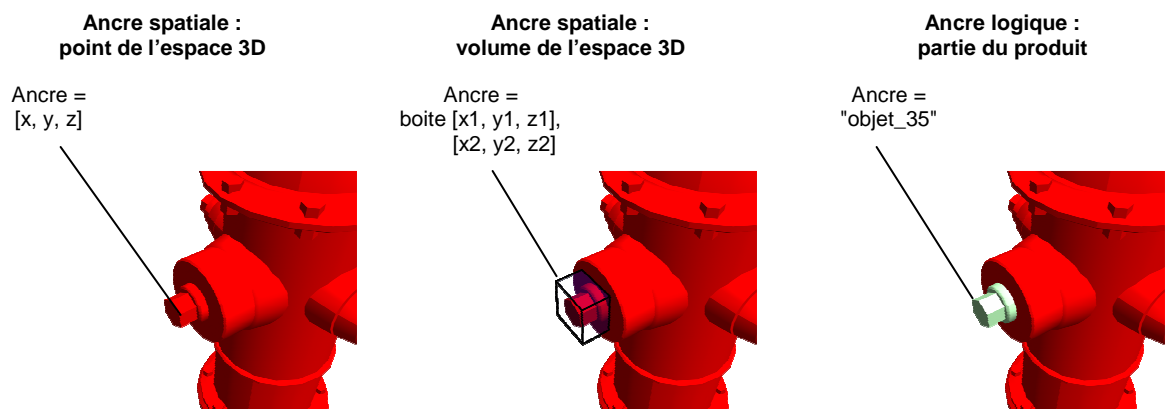


Figure 36 : exemples de description d'ancres spatiales et logiques.

Chacun de ces choix présente des avantages et des inconvénients :

- L'utilisation d'une ancre logique fait que, si l'environnement d'annotation permet de déplacer les objets ou de changer leur forme, les annotations ne perdent pas leur pertinence lorsque les objets sont déplacés. Cette remarque est par exemple particulièrement valide dans le cas d'annotations sur une maquette virtuelle : le modèle comportemental peut provoquer le déplacement d'objets, et il faut par conséquent pouvoir déplacer les annotations en conséquence.
- De plus, l'utilisation de l'ancre logique permet de définir simplement et sans ambiguïté la partie de l'objet qui est annotée, en particulier lorsque les objets sont entrelacés les uns avec les autres (penser par exemple aux éléments d'un circuit électrique parcourant une voiture).
- Cependant, l'utilisation d'une ancre logique dans de bonnes conditions (possibilité d'utiliser la structure logique de l'objet) présuppose que l'objet dispose de cette structure logique, ce qui n'est pas nécessairement le cas (représentation en « soupe de polygones »). Dans ce genre de situation, l'utilisation d'une description spatiale de l'ancre s'avère être plus avantageuse.
- D'autre part, l'utilisation d'une description spatiale de l'ancre permet d'ancrer l'annotation sur une zone du produit qui n'existe pas (ex : « il faut placer une poignée ici »), ou qui n'est pas représentée par un objet 3D (ex : annoter un trou, ou un espace entre deux objets), ce qui n'est pas toujours possible avec une description logique de l'ancre.

Pour combiner les avantages de chacune de ces méthodes, nous proposons une troisième représentation, mixte, contenant une partie logique et une partie spatiale.

La partie logique de l'ancre définit l'objet de la scène que l'on va utiliser comme référence pour placer l'ancre. Dans le cas où l'on souhaite définir une ancre basée sur un objet qui n'existe pas, la partie logique de l'ancre ne sera pas définie et l'ancre sera placée par rapport au point origine²³ du monde virtuel.

Dans le cas où la partie logique est définie, la partie spatiale ne définit donc plus la position de l'ancre par rapport au point origine du monde virtuel, mais par rapport au référentiel local de la partie d'objet annotée. D'autre part, si l'on souhaite annoter l'intégralité de la partie désignée dans la partie logique de l'ancre, on peut utiliser une partie spatiale vide pour l'ancre.

Cette représentation permet de combiner les avantages de la description spatiale et de la description logique. En effet, il est possible d'annoter des objets qui n'existent pas, et l'on peut définir l'ancre d'une annotation même avec une représentation de type « soupe de polygones ». D'autre part, lorsque la partie logique de l'ancre est définie, l'annotation va suivre la partie de l'objet qui est annotée.

²³ Le point de coordonnées [0, 0, 0]

Notons d'autre part la possibilité, avec ce formalisme, de ne définir ni la partie spatiale, ni la partie logique de l'ancre. Ce cas correspond à une ancre tacite sur le produit (cf. 3.2.2).

Le tableau ci-dessous résume les différents cas possibles pour ce type de représentation :

Partie spatiale		Partie logique		Description
Définie	Non définie	Définie	Non définie	
X		X		L'ancre est définie spatialement (exemple un point, une zone) placée par rapport à une partie de l'objet annoté
X			X	Description spatiale de l'ancre.
	X	X		Description logique de l'ancre.
	X		X	L'ancre est tacite.

Table 2 : les différentes combinaisons possibles pour une définition mixte des ancres de l'annotation.



Figure 37 : exemples d'ancres d'annotations utilisant une représentation mixte.

Le cas des ancres multiples : il est de plus possible d'envisager une représentation d'ancres multiples pour les annotations qui portent sur plusieurs endroits du produit. L'ancre sera alors définie comme une liste de plusieurs ancres simples.

5.4.3.2. Le point de vue géométrique

Le terme « point de vue » fait référence à deux concepts qu'il faut bien distinguer :

- Au sens spatial du terme, le point de vue désigne la position de la caméra dans la scène. On se réfère implicitement à cette notion lorsque l'on travaille dans un espace 3D [Sokolov & Plemenos 05].
- D'autre part, on parle aussi du point de vue dans un sens métaphorique du terme. Dans ce sens, le point de vue désigne une manière d'aborder une situation donnée (ex : un point de vue métier »).

Dans le cadre de ce mémoire de thèse, nous ferons la distinction entre ces deux concepts de la manière suivante : lorsque nous parlerons de la position de la caméra dans une scène 3D, nous parlerons de « point de vue géométrique ». Le terme « point de vue » sera utilisé pour son acception dans le sens métaphorique (ex : « point de vue métier »).

Un produit peut être vu sous plusieurs angles. Le point de vue géométrique détermine l'interprétation que l'on peut avoir de celui-ci : certains objets disparaissent ou deviennent apparents, l'alignement des objets devient visible, on dispose d'une vue d'ensemble sur le produit ou au contraire on peut en voir les détails ... L'ancrage de l'annotation ne nous aide pas pour déterminer un bon point de vue géométrique, elle nous indique seulement à quelle partie de l'objet se réfère l'annotation.

Des travaux ont été réalisés pour déterminer le point de vue géométrique optimal selon lequel on pouvait visualiser un objet [Sokolov & al. 06]. Cependant, les résultats obtenus par ce type de méthodes sont indépendants des annotations qui sont posées sur le produit. Or, la compréhension d'une annotation dépend du point de vue géométrique selon lequel on l'observe. Par exemple, dans la Figure 38, le point de vue géométrique a été volontairement placé de manière erronée :

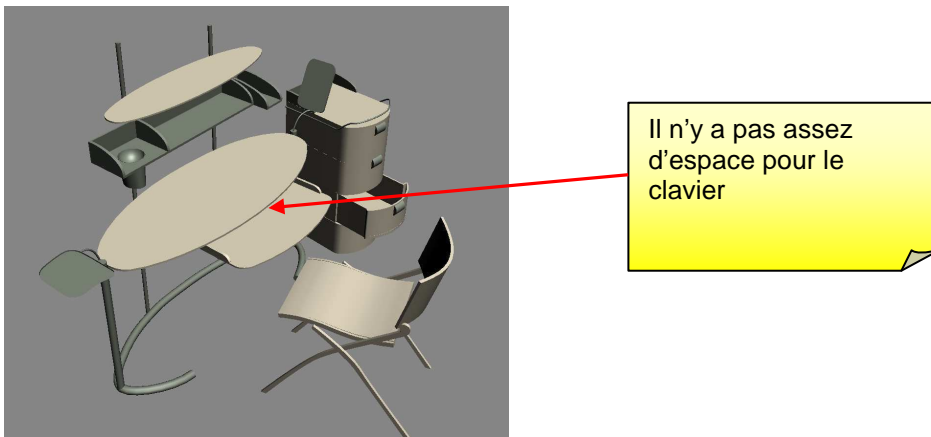


Figure 38 : Exemple d'annotation où le point de vue géométrique n'est pas correct.

Le texte de l'annotation spécifie qu'il n'y a pas assez d'espace pour le clavier. Or, depuis l'endroit où se trouve la caméra sur la Figure 38, on peut supposer que l'auteur de l'annotation suggère que la surface de la tablette pour le clavier est insuffisante. Une restauration du point de vue géométrique selon lequel l'auteur a créé l'annotation donne le résultat suivant :

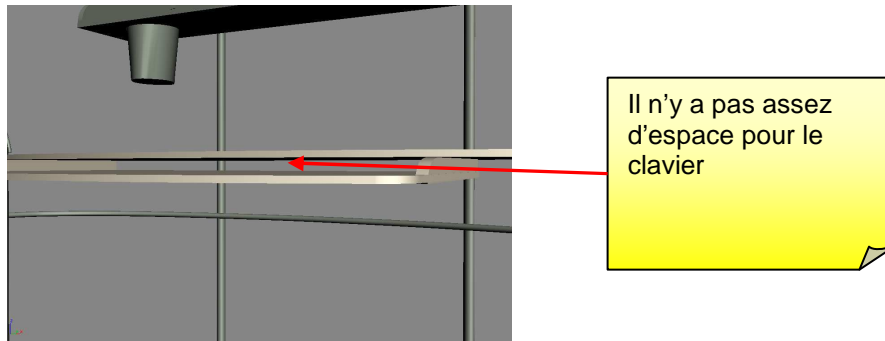


Figure 39 : Exemple d'annotation où le point de vue géométrique est correct.

Avec ce point de vue géométrique corrigé, on peut voir que l'auteur de l'annotation visualisait la hauteur de la zone se trouvant entre le bureau et la tablette pour le clavier, ce qui permet de comprendre que l'auteur de l'annotation suggère de descendre la tablette.

Nous pouvons donc définir le concept de *point de vue géométrique d'une annotation* qui correspond au point de vue géométrique qu'avait l'auteur de l'annotation lorsqu'il l'a créée. Comme nous l'avons vu avec l'exemple précédent, donner à l'utilisateur la possibilité de restaurer le point de vue géométrique de l'auteur d'une annotation donne des informations sur le contexte géométrique dans lequel une annotation a été écrite, ainsi que sur la perception que l'auteur de l'annotation avait du produit au moment où il a rédigé l'annotation.

L'utilité de la restauration du point de vue géométrique d'une annotation 3D se ressent dès que l'annotation se réfère à une propriété géométrique du produit (positionnement ou alignement des objets) ou à un objet dont l'échelle nécessite un placement particulier (par exemple lorsque l'annotation porte sur un détail de l'objet, ou encore, lorsque certains objets/éléments sont cachés par d'autres en fonction de la position de la caméra virtuelle).

- **Point de vue géométrique et interfaces de visualisation.**

L'environnement d'annotation est accessible depuis divers systèmes de visualisation : écrans d'ordinateur, murs d'images, CAVE, etc. La manière dont le monde 3D est affiché varie en fonction du système de visualisation utilisé. Ainsi, le passage d'un écran d'ordinateur à un mur d'images permettra de voir les objets à l'échelle 1:1, et une visualisation dans un CAVE permettra un angle de visualisation plus grand.

Nous avons défini le point de vue géométrique de l'annotation comme étant la position de la caméra dans l'espace 3D lors de la création de l'annotation. Cependant, nous voyons qu'il est nécessaire, pour garantir une reproduction complète de la perception de l'auteur de l'annotation sur le produit, de visualiser l'annotation dans le même type d'environnement.

Il n'est pas envisageable de changer de périphérique de visualisation pour chaque annotation. Cependant, pour éviter les problèmes de mauvaises interprétations, nous proposons

de stocker, en plus du point de vue géométrique, le type d'interface qui a été utilisé pour visualiser le produit lorsque l'annotation a été créée. Ainsi, lorsque l'interface de visualisation utilisée pour la lecture de l'annotation est différente de celle utilisée pour la création de l'annotation, on avertira le lecteur de cette situation.

- **Point de vue géométrique et environnements multi-utilisateurs.**

L'activité d'annotation peut être réalisée par plusieurs utilisateurs partageant le système de visualisation (ex : bureau immersif, murs d'images ...), de manière collaborative présentielle. Certains de ces systèmes de visualisation proposent alors un système de tracking²⁴ du point de vue géométrique de l'utilisateur. Les deux utilisateurs ayant un point de vue géométrique différent sur l'objet, la question de la gestion du point de vue géométrique de l'annotation dans ce type de configuration se pose alors.

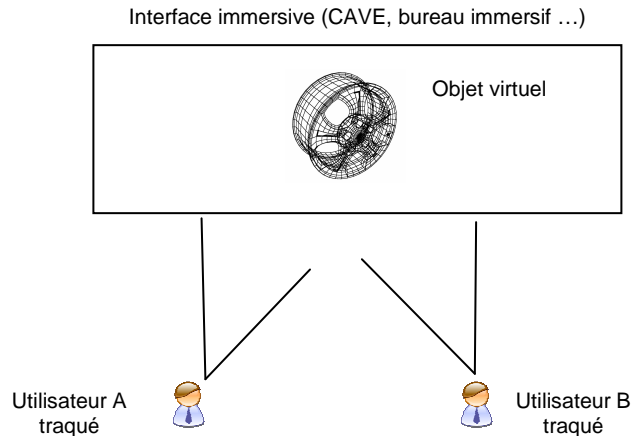


Figure 40 : environnement multi-utilisateurs avec tracking de la position des utilisateurs. L'utilisateur A et l'utilisateur B n'ont pas le même point de vue géométrique et ne voient pas la même chose.

Lors de la création de l'annotation, le point de vue géométrique qui doit être associé à l'annotation est, de manière immédiate, celui de l'auteur de l'annotation. Le point problématique concerne la restitution du point de vue géométrique lors de la lecture du produit annoté. Trois possibilités sont offertes :

- Nous pouvons restituer le point de vue géométrique en plaçant ce dernier au milieu des utilisateurs (voir Figure 41, A). Cette approche a cependant pour inconvénient de ne donner le point de vue géométrique correct à aucun des utilisateurs, et la gestion du point de vue géométrique perd de son intérêt pour les annotations demandant un placement précis (par exemple une annotation demandant de voir un alésage exactement dans son axe).

²⁴ Tracking : suivi, par le biais de capteurs, de la position des utilisateurs par rapport au système de visualisation.

- Une autre approche consiste à ignorer la différence de position des utilisateurs dans l'espace réel et à placer les deux utilisateurs selon le point de vue géométrique correct de l'annotation (Figure 41, B). Les utilisateurs voient alors l'objet selon le même point de vue géométrique. Cependant, la perte de la cohérence au niveau du tracking fait que cette approche n'est pas valide.
- Enfin, on peut choisir d'aligner le point de vue géométrique de l'annotation sur celui de l'utilisateur qui a demandé sa restauration (Figure 41, C). L'inconvénient de cette solution est qu'elle privilégie un utilisateur par rapport aux autres. Cependant, la collaboration étant présentielle, l'utilisateur ayant le point de vue géométrique correct dispose des moyens d'aider les autres utilisateurs à se placer correctement pour visualiser l'annotation. Nous retiendrons cette solution comme étant la solution optimale parmi celles proposées.

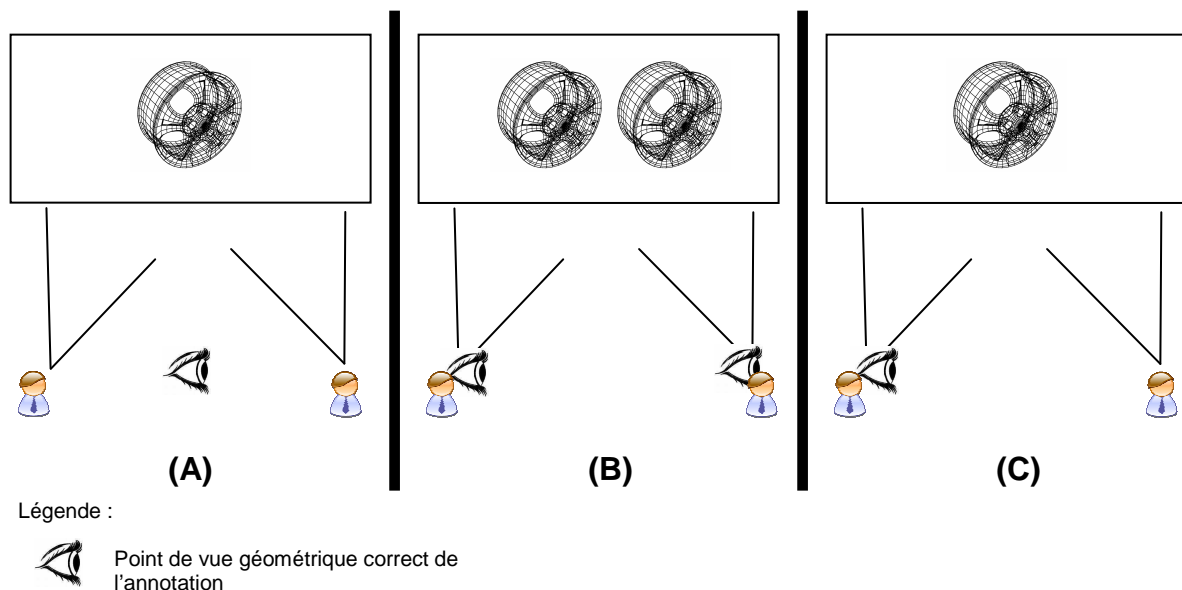


Figure 41 : trois possibilités concernant la restauration du point de vue géométrique correct dans un environnement multi-utilisateurs avec tracking de leur position.

- **Point de vue géométrique et mal du simulateur.**

Le mal du simulateur (cybersickness, en anglais) désigne un ensemble de symptômes, tels que la nausée ou des pertes d'équilibre, apparaissant durant l'utilisation d'un système immersif. Ces symptômes sont dus à un décalage entre la perception visuelle (généralement en mouvement) et la sensation de mouvement du corps (généralement fixe).

Bien que le problème ne se pose pas dans une situation non immersive, on peut prévoir que l'utilisation fréquente des fonctions de restauration du point de vue géométrique dans un

environnement fortement immersif (comme un CAVE) puisse engendrer un mal du simulateur pour les utilisateurs. Il est alors nécessaire de prévoir un moyen d'éviter ce problème.

La solution que nous proposons consiste, dans le cas des environnements fortement immersifs, à ne pas automatiser le déplacement de l'utilisateur vers le point de vue de l'annotation, mais de lui indiquer où se trouve le point de vue de l'annotation par un artefact 3D indiquant la position et l'orientation de la caméra lors de la création de l'annotation. L'utilisateur se déplaçant alors lui-même vers ce point de vue.

5.4.3.3. Conclusion sur la spatialisation

Dans notre modèle d'annotation, deux composantes définissent la spatialisation de l'annotation : l'ancre, qui permet la localisation de l'annotation dans l'environnement 3D, et le point de vue géométrique, indiquant où placer la caméra virtuelle pour restaurer le contexte spatial dans lequel l'annotation a été créée.

L'ancre de l'annotation peut avoir, soit une description liée à la représentation de l'objet dans le monde virtuel (description logique), soit une description liée à l'espace 3D dans son ensemble (description spatiale). Le point de vue géométrique est quant à lui lié à la position de la caméra dans le monde virtuel. Les relations entre ces concepts peuvent être résumées par la Figure 42 ci-dessous.

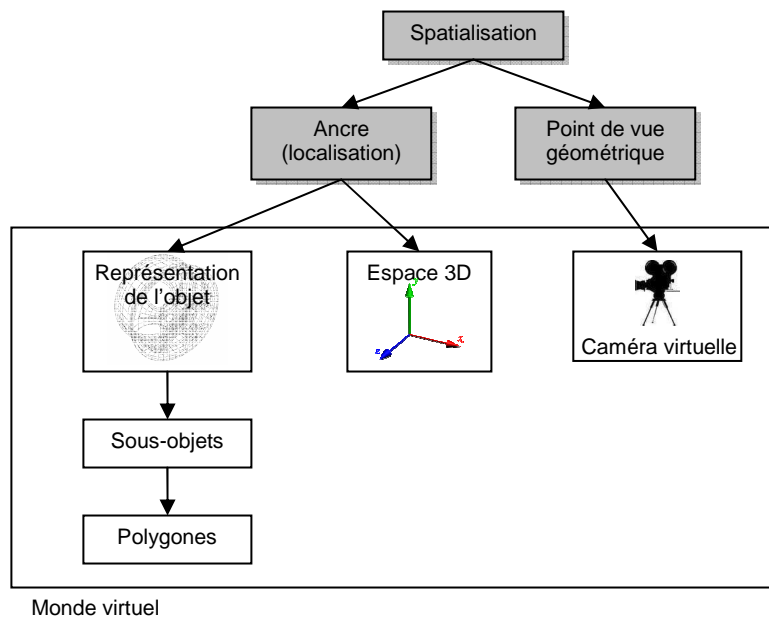


Figure 42 : relations entre les différents concepts liés à la notion de spatialisation et les entités du monde virtuel.

5.4.4. Influence de la spatialisation sur la forme : intégration des informations abstraites dans l'environnement 3D.

Lors du rendu de l'annotation 3D à l'écran, un problème se pose pour les informations abstraites des annotations. On appelle informations abstraites « les informations qui ne sont pas normalement perceptibles dans le monde réel » [Bowman & al. 03]. C'est par exemple le cas du texte, des images, ou encore des vidéos.

Chen propose deux pôles pour classer les niveaux d'intégration de ces informations [Chen & al. 04] : l'affichage tête haute (HUD – Head-Up display) et l'affichage intégré dans le monde (WWD – Within the World Display). Nous allons présenter ici un panel de solutions entre ces deux pôles par ordre croissant d'intégration des informations abstraites dans l'environnement 3D.

- **Cas α : Informations abstraites dans un espace 2D (HUD²⁵).**

Le premier niveau est d'afficher ces informations de manière complètement séparée de l'environnement 3D (dans un environnement complètement différent). Cette solution a comme avantage principal de permettre d'afficher les informations abstraites dans leur contexte « naturel », et en particulier de permettre une visualisation optimale de l'information quelque soit le contexte (position de la caméra, niveau de zoom) de visualisation de l'objet 3D. D'un point de vue technique, l'avantage est aussi de disposer de tous les outils existants (toolkits graphiques 2D, tels que GTK+ [GTK 06] ou Swing [Sun – JFC 06]) pour l'interfaçage de ces données 2D. En contrepartie, l'intégration dans l'espace 3D est très mauvaise, et les marques 2D ne donnent aucune information géométrique sur l'annotation.

C'est la solution qui a par exemple été retenue pour le système IDT (Immersive Discussion Tool) [Latch Craig & Zimring 02]. Sous IDT, l'utilisateur peut poser ses annotations, soit sous la forme d'objets 3D, qui sont alors directement intégrés à la scène, soit sous la forme de texte (voir Figure 43 ci-dessous). La représentation du texte de l'annotation se fait alors dans une fenêtre différente de celle de l'environnement 3D.

²⁵ Head-Up Display

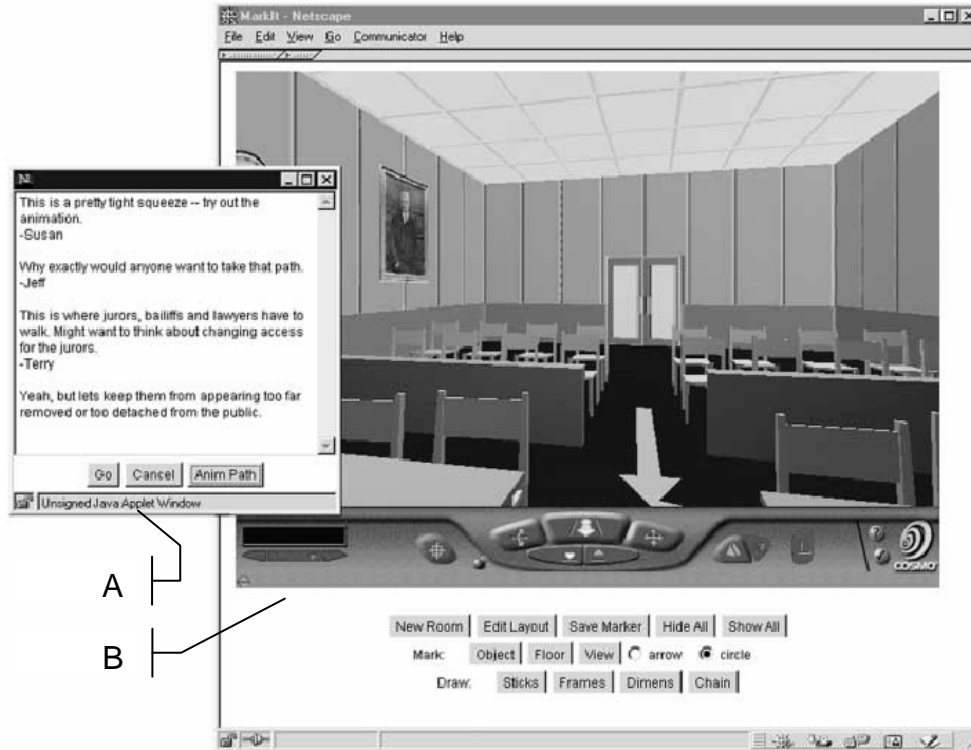


Figure 43 : cas a - le système IDT [Latch Craig & Zimring 02] : la partie textuelle des annotations (A) est affichée séparément de l'environnement 3D (B).

Une approche alternative est d'afficher les informations dans l'environnement 3D, mais en tant qu'informations 2D indépendantes. Cette technique permet une intégration des données 2D légèrement meilleure (elle supprime en particulier les allers-retours entre l'environnement 2D et 3D).

Cette approche avait été retenue dans une première version du prototype de Matrics. La version actuelle utilise une approche différente que nous détaillerons plus loin dans ce chapitre. La Figure 44 ci-dessous montre comment se comporte le texte de l'annotation (dans le cadre gris) par rapport à l'ancrage de l'annotation (pointée par la flèche verte) et à l'ensemble de l'objet annoté. Nous voyons, que la présentation de l'annotation n'est influencée, ni par un changement en position (images A et B), ni par une rotation (images A et C) ni par un changement d'échelle (images A et D).

Avec cette solution, la présentation de l'annotation ne donne aucune information, ni sur la localisation de l'annotation (en particulier, le texte de l'annotation peut être affiché à l'écran alors que l'ancrage est hors-champ), ni sur le point de vue géométrique (les annotations sont visibles de n'importe quel angle), ni sur les notions d'échelle et de distance.

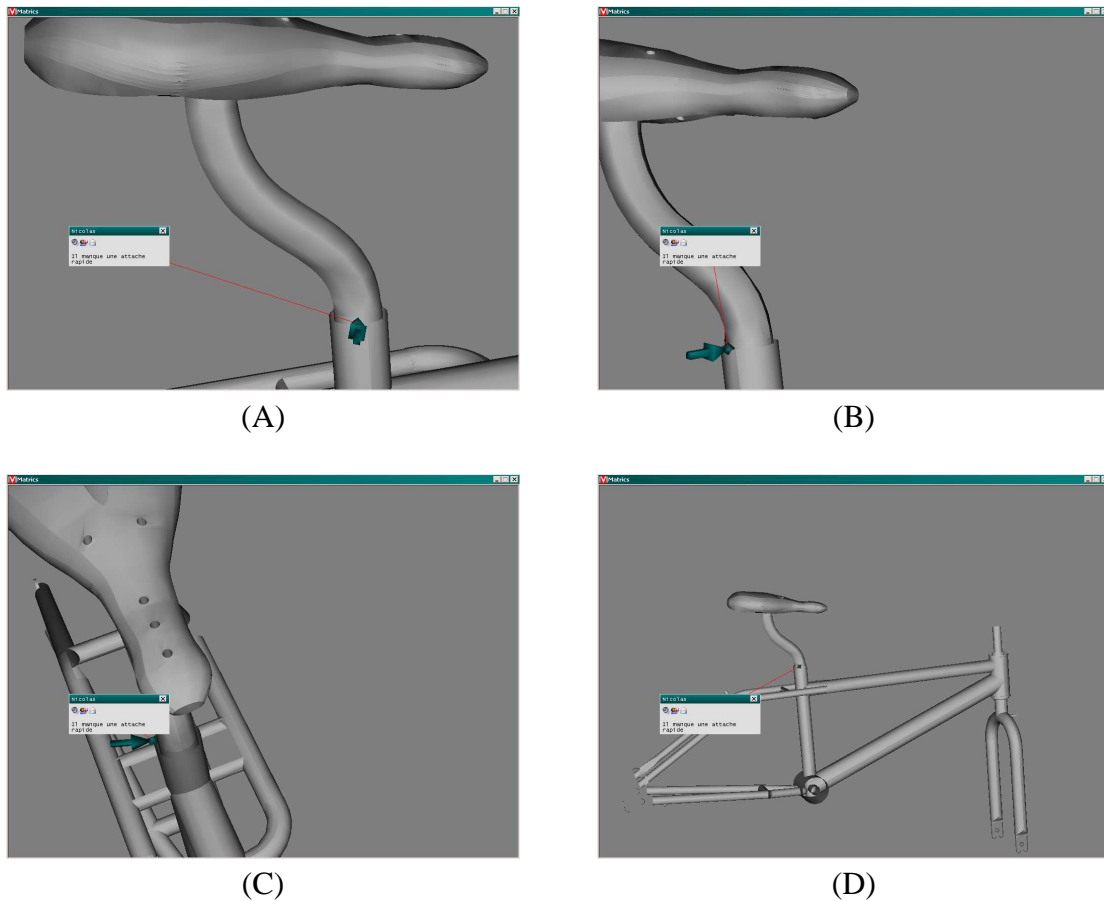


Figure 44 : cas α - annotation sur une selle de vélo. On note en particulier que l’affichage du label textuel ne dépend ni de la position de la caméra (B), ni de son orientation (C), ni de l’échelle de visualisation (D).

- **Cas β : Informations abstraites affichées en tant que telles, positionnées en tant qu’objets 3D.**

L’un des problèmes principaux posés par les solutions précédentes est l’absence de lien entre l’emplacement où sont affichées les informations abstraites et la position de l’annotation dans l’espace 3D. En particulier, il est possible d’avoir les informations abstraites d’une annotation à l’écran sans pour autant que l’ancre de l’annotation y apparaisse.

Afin de résoudre ce problème, le niveau supérieur d’intégration des informations abstraites consiste à positionner automatiquement ces dernières en les faisant correspondre à un point dans l’espace 3D (par exemple l’ancre de l’annotation). Ainsi, les informations abstraites sont positionnées sur la surface d’affichage au même niveau que les annotations, mais sont affichées dans le plan de l’écran (en particulier elles ne subissent ni de rotation ni de changement d’échelle).

La Figure 45 montre un exemple d’affichage d’annotations selon cette modalité. Nous y voyons que l’annotation suit son ancre en déplacement (comparez par exemple l’image B et

l'image C), par contre, le changement d'échelle n'influence pas la présentation de l'annotation (images A et B), et la rotation autour du produit non plus (images C et D).

L'avantage principal par rapport à la solution précédente est le fait que l'on dispose, grâce à ce type d'affichage, d'indications sur la position de l'annotation sans avoir besoin d'afficher l'ancre dans le monde 3D. Cependant, on perd ainsi la liberté de placer ces informations librement, ce qui peut entraîner quelques difficultés à la lecture (impossibilité d'avoir deux annotations en même temps sur l'écran selon le point de vue géométrique, annotations « entassées » sur l'écran ...).

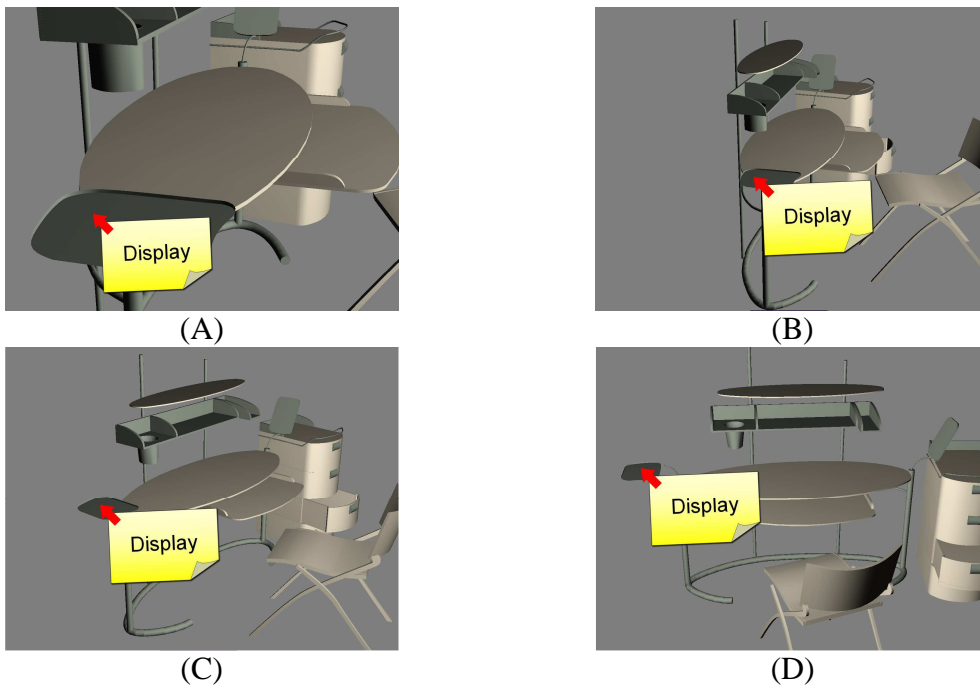


Figure 45 : cas β - exemple de l'affichage d'une annotation en utilisant le cas β (montage). L'annotation suit son ancre, mais n'est modifiée ni en rotation, ni en changement d'échelle.

- **Cas γ : Informations abstraites affichées en tant que « sprites 3D » faisant face à la caméra**

L'utilisation de sprites 3D est une manière de représenter des informations abstraites dans l'environnement virtuel. Les sprites 3D sont des images 2D plaquées sur des plans faisant face à la caméra dans le monde 3D. Cette technique est en particulier utilisée pour représenter en peu de polygones un objet complexe (par exemple un arbre).

En utilisant des sprites 3D faisant face à la caméra pour représenter les informations, nous avons les mêmes propriétés que celles décrites dans le cas β , mais avec en plus un respect de la perspective sur l'image. Sur la Figure 46, qui est une copie d'écran de l'environnement *Matrics*, nous voyons que les annotations, en fonction de leur distance à la caméra, apparaissent plus ou moins grandes.

Cette solution présente l'avantage de fortement contextualiser l'information abstraite dans l'environnement 3D : en effet, on dispose, en visualisant les informations abstraites dans ces conditions d'informations sur la position de l'annotation (comme dans le cas β) mais aussi des indications d'échelle et de perspective : les annotations les plus proches de la caméra apparaissent grossies. D'autre part, le fait de garder les annotations dans le plan de la caméra permet de conserver une bonne lisibilité.

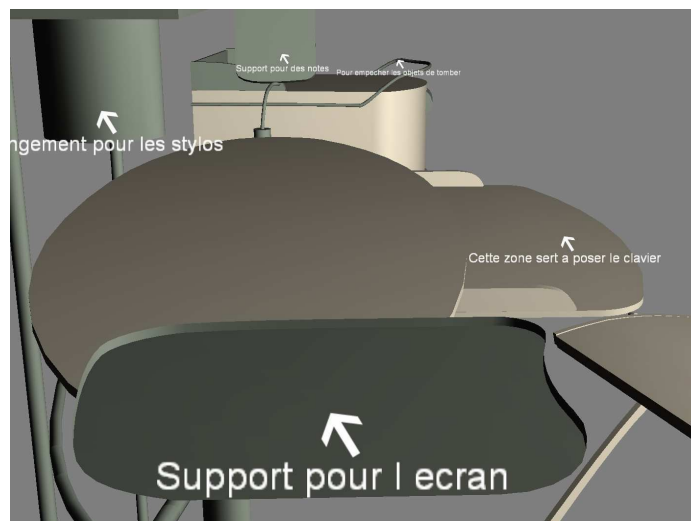


Figure 46 : cas γ - annotations dans l'environnement *Matrics*. On peut remarquer ici en particulier que les annotations portant sur des objets proches apparaissent grossies, donnant des indications de perspective.

- **Cas δ : Informations abstraites en tant qu'objets 3D à part entière (WWD²⁶)**

Il s'agit du degré le plus poussé d'intégration d'informations abstraites dans l'environnement 3D. Dans ce cas, les informations abstraites sont représentées par le biais d'objets 3D (panneaux, par exemple) sur lesquels elles sont affichées. Contrairement au cas γ , les plans contenant les informations abstraites ne sont pas contraintes à conserver l'orientation de la caméra. L'objet résultant a alors toutes les propriétés d'un objet 3D à part entière, et il est alors possible, à partir du placement des informations abstraites, d'avoir des informations de position, d'orientation, ainsi que d'échelle de visualisation.. Cette solution est par exemple celle utilisée dans Catia [Dassault 06].

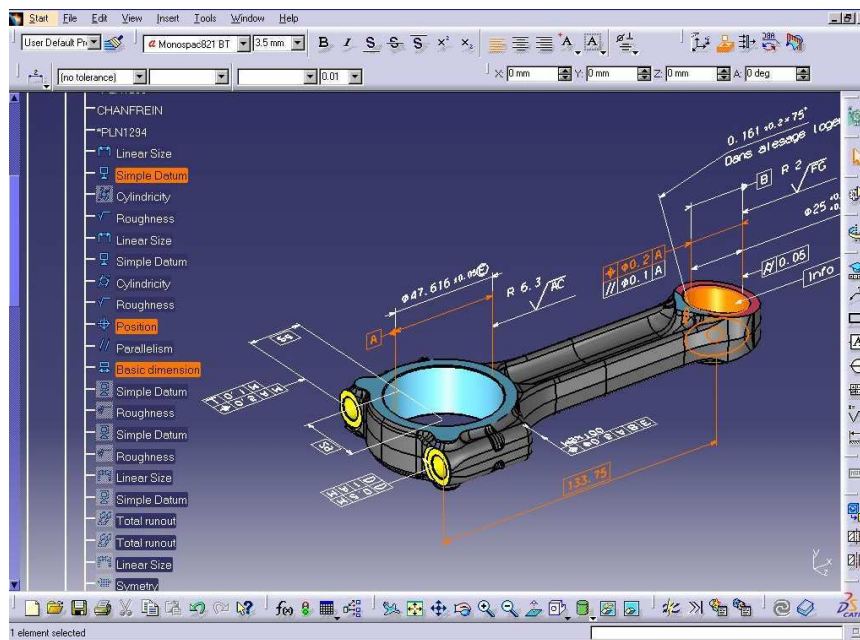


Figure 47 : cas δ - annotations sous Catia. Le texte des annotations fait partie intégrante de l'environnement 3D (image © Dassault Systèmes).

Cependant, ce type de visualisation contraint l'utilisateur à voir les annotations selon le point de vue géométrique selon lequel elles ont été prises. En effet, nous avons, dans une version précédente de l'environnement Matrics, évalué cette méthode d'affichage. Les annotations n'étant visibles que selon un certain point de vue (voir Figure 48), il est nécessaire de constamment se déplacer autour de l'objet afin de rendre les diverses annotations visibles, ce qui compliquait la tâche de lecture du produit annoté. Cette approche fut donc abandonnée au profit d'un affichage basé sur le cas γ .

²⁶ Within the world display [Chen 04]

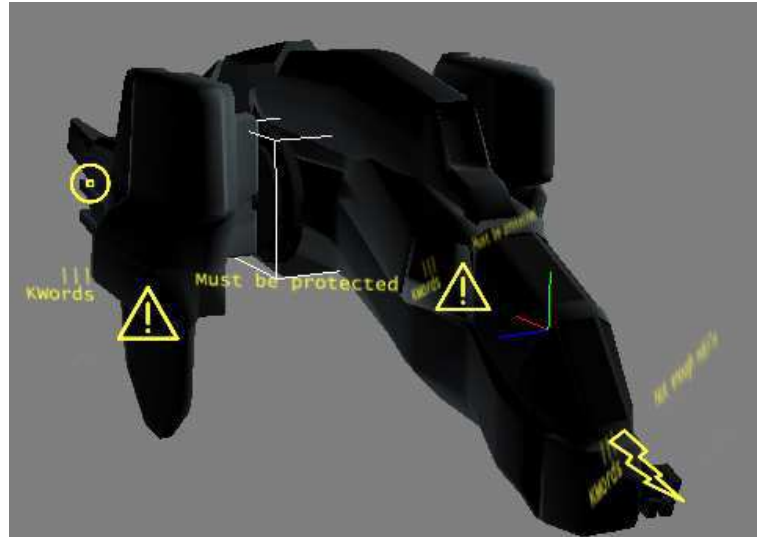


Figure 48 : cas δ dans l'environnement Matrics (essai). Il est nécessaire de déplacer la caméra virtuelle pour visualiser les annotations se trouvant à droite du produit.

- **Récapitulatif et choix réalisés dans l'environnement Matrics**

Les quatre cas décrits précédemment correspondent en fait à quatre niveaux se situant sur un même axe : celui de l'intégration des informations abstraites dans l'espace 3D.

Il existe trois paramètres permettant de placer un objet dans un environnement 3D : la position, l'échelle et la rotation. Chacun de ces cas correspond donc à une variation de ces paramètres : le cas α ne prend en compte aucun de ces paramètres (manière de visualiser les informations abstraites indépendante du point de vue géométrique), alors que le cas δ les prend tous en compte (position, échelle et orientation de l'information 2D dépendent de la position de la caméra dans l'environnement 3D).

Cas	Cas α	Cas β	Cas γ	Cas δ
Position	✗	✓	✓	✓
Echelle	✗	✗	✓	✓
Rotation	✗	✗	✗	✓

Table 3 : tableau récapitulatif des niveaux d'intégration des informations abstraites dans l'espace 3D.

La variation du type de présentation de l'annotation dans l'environnement 3D influe sur deux paramètres, qui varient de manière inverse :

- **Le niveau d'intégration** des informations abstraites dans l'environnement 3D : il permet, quand il est important, d'obtenir des indications géométriques sur l'annotation par simple observation de ces informations abstraites : position de

l'annotation dans l'espace, point de vue géométrique selon lequel elle a été prise ...

- **La facilité de lecture** : en contrepartie, augmenter le niveau d'intégration complique de plus en plus la visualisation et la manipulation de ces informations 3D : les contraintes pour voir l'annotation dans de bonnes conditions sont de plus en plus strictes, certaines configurations empêchent de voir plusieurs annotations simultanément, et on ne peut pas disposer des outils techniques développés pour les interfaces 2D (toolkits).

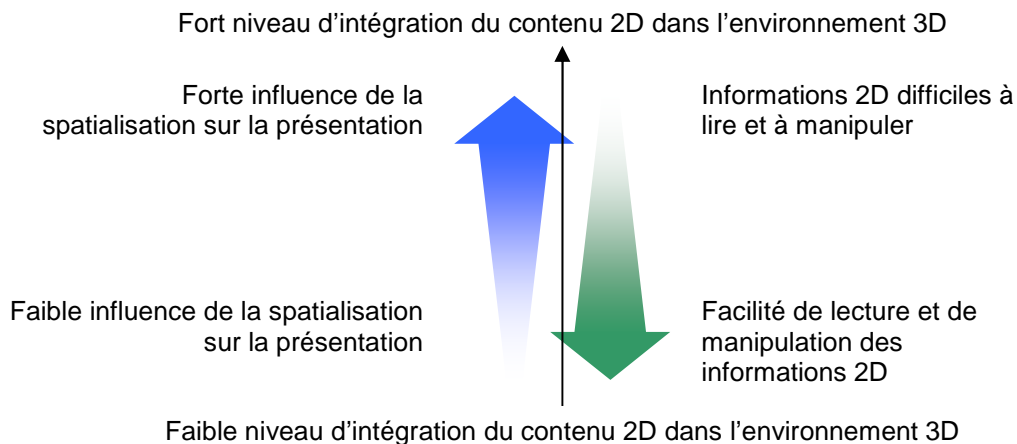


Figure 49 : relation entre facilité de lecture et niveau d'intégration pour les informations abstraites.

Ces deux pôles sont importants, et par conséquent nous avons choisi pour l'environnement Matrics une solution combinant les avantages des solutions à faible niveau d'intégration et à fort niveau d'intégration : d'une part une vue intégrée à l'environnement 3D, mais sommaire (ne contenant que le titre de l'annotation), qui permet à l'utilisateur de saisir la teneur de l'annotation dans son contexte 3D et d'autre part une vue détaillée du contenu de l'annotation, mais dans un environnement séparé, permettant une visualisation et une édition confortable de l'ensemble des informations abstraites (basée sur le cas α). Pour la première partie de la visualisation, nous avons opté pour une visualisation des informations abstraites en utilisant le cas γ (c'est-à-dire en gardant les annotations dans l'axe de la caméra) afin de garder un niveau de contextualisation élevé tout en permettant une lecture et une manipulation des informations abstraites relativement confortables.

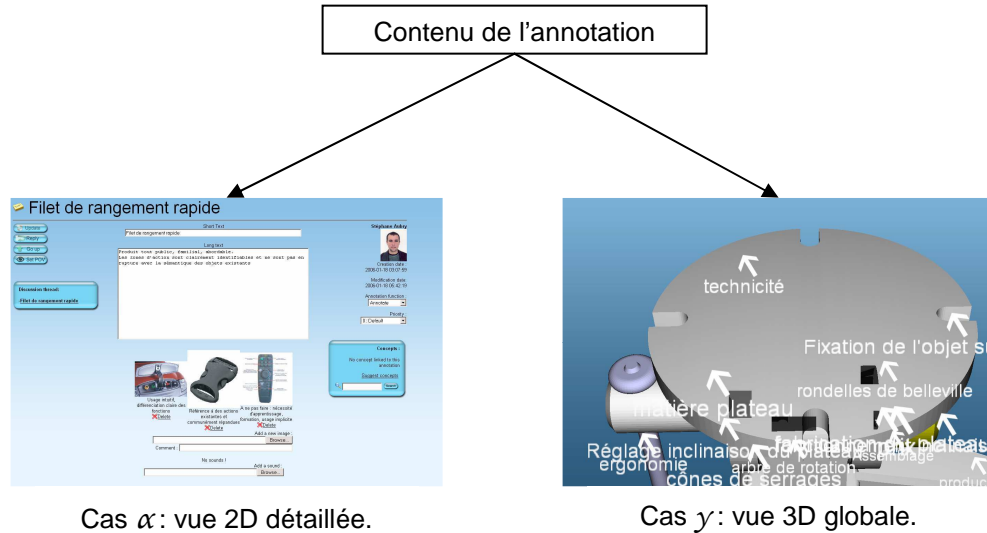


Figure 50 : l'environnement Matrics : les informations abstraites sont à la fois représentées par une vue 2D détaillée distincte de l'environnement 3D (cas α) et une vue intégrée à l'environnement 3D (cas γ)

5.5. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre un modèle d'annotation 3D. Ce modèle montre que l'annotation 3D est un objet distinct de l'annotation classique, et présentant des spécificités qu'il faut prendre en compte lors de la réalisation d'un environnement virtuel supportant l'activité d'annotation.

Tout d'abord, l'annotation 3D se distingue par une variété de supports spécifiques. Nous avons en particulier identifié dans ce rapport trois types de supports spécifiques aux annotations 3D : les marques 3D, les données à retour sensoriel et les annotations gestuelles. La présence de multiples supports permet en particulier d'exprimer des contenus non exprimables avec des supports classiques (textes, images ...).

L'annotation 3D se distingue en outre par la nécessité de sa spatialisation dans le monde virtuel. La spatialisation de l'annotation désigne l'ensemble des éléments selon lesquels l'annotation sera localisée dans l'environnement 3D. Elle est définie d'une part par l'ancre de l'annotation, dont la représentation diffère de celle de l'ancre en environnement 2D, et par le point de vue géométrique d'autre part.

Nous allons cependant voir au chapitre suivant que le grand nombre d'annotations 3D peut rapidement poser problème. Nous proposons pour faciliter la manipulation d'un grand nombre d'annotations de les indexer selon les concepts d'un modèle de connaissances.

Modèle de connaissances dans l'environnement Matrics

6.1. Introduction

Les annotations constituent un support pour la capitalisation des échanges informels lors de situations de collaboration. L'information peut alors être répartie sur un grand nombre d'annotations.

De plus, contrairement à un document 2D classique, il n'existe pas de sens de lecture (ni d'écriture, ou de recherche d'information) canonique pour les documents 3D, et on ne peut donc pas garantir l'exhaustivité du parcours d'un produit annoté.

Ces deux constatations font qu'une collaboration basée sur des annotations 3D engendre une grande quantité d'annotations pour laquelle on ne dispose pas d'ordre canonique de manipulation. Ainsi, il est nécessaire de proposer des outils permettant de faciliter la manipulation du produit annoté.

Dans le modèle d'annotations présenté au chapitre précédent, un certain nombre de méta-données étaient associées à l'annotation, et parmi celles-ci les méta-données de contenu de l'annotation, faisant partie de la sémantique de l'annotation. Ces méta-données représentent une partie de la connaissance véhiculée par l'annotation. L'indexation de ces méta-données par un modèle de connaissances, représenté par une ontologie, permettrait de créer les outils nécessaires pour aider l'utilisateur à manipuler le produit annoté.

Ce chapitre présente la logique de l'intégration de ce modèle de connaissances dans l'environnement virtuel. Nous présenterons tout d'abord des tests que nous avons réalisés sur une première version de notre environnement virtuel d'annotation, appelé Matrics (Managing Annotations for TRaining In a Collaborative System), et nous montrerons en quoi ceux-ci indiquent la nécessité d'introduire un modèle de connaissances. Nous présenterons ensuite l'ontologie que nous avons développée dans le cadre de cet environnement.

La deuxième partie de ce chapitre concerne l'exploitation de l'ontologie. Tout d'abord, nous présenterons une étude des possibilités d'exploitation du modèle de connaissances par association d'entités liées aux connaissances (annotations, utilisateurs, et produits), puis nous verrons comment ces possibilités se transposent dans l'environnement virtuel.

6.2. Pourquoi l'introduction d'un modèle de connaissances ?

Nous avons développé au cours de notre travail un premier prototype permettant l'annotation de produits en environnement virtuel. Les annotations créées avec cette version du prototype étaient sous la forme de notes textuelles ancrées au produit. Nous avons testé ce prototype avec un groupe d'étudiants en conception mécanique (6 étudiants).

Le projet sur lequel travaillaient ces étudiants était la reconception d'un cadre de vélo disposant d'un système antivibratoire de selle intégré. Nous avons proposé l'utilisation de notre prototype dans le cadre d'une séance de brainstorming sur le projet.

La séance d'annotation du produit s'est déroulée de manière présentielle, c'est-à-dire que les étudiants étaient tous réunis dans le même endroit, et partageaient le même système d'affichage. Ils disposaient en outre d'un modèle 3D non annoté de cadre de vélo (voir figure ci-dessous), et ont travaillé sur le sujet « indiquer les parties pouvant varier sur un cadre de vélo ». Les annotations étaient saisies par une personne extérieure au groupe, afin d'éviter les problèmes d'accès simultanés à l'environnement d'annotation.

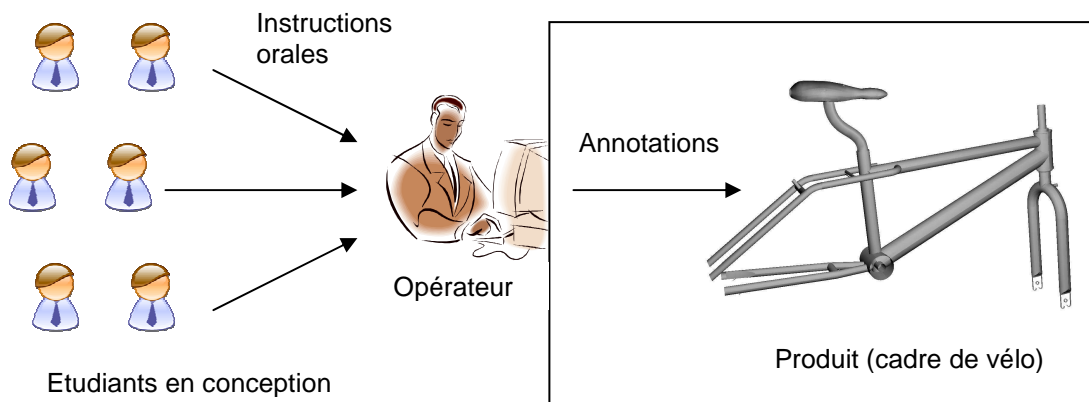


Figure 51 : configuration de test.

Les étudiants ont alors posé sur le produit une trentaine d'annotations correspondant au thème de la séance. En sont ressorties les constatations suivantes :

- L'opération d'annotation devient de plus en plus complexe au fur et à mesure que le nombre d'annotations augmente (remarques telles que « a-t-on déjà parlé de cet aspect ? »)
- La relecture du produit se complexifie elle aussi au fur et à mesure que le nombre d'annotations augmente, en effet :
 - Soit on montre les annotations simultanément, et l'écran devient très vite encombré et illisible (Figure 52, image de gauche).

- Soit on cache les annotations, en ne laissant qu'un symbole indiquant l'emplacement de leur ancre, et la lecture de l'objet annoté, ainsi que la recherche d'une annotation deviennent des tâches difficiles du fait qu'il n'existe pas d'ordre canonique de lecture d'un document 3D, contrairement à un document textuel classique (Figure 52, image de droite).
- Au final le produit annoté devient très difficilement exploitable.

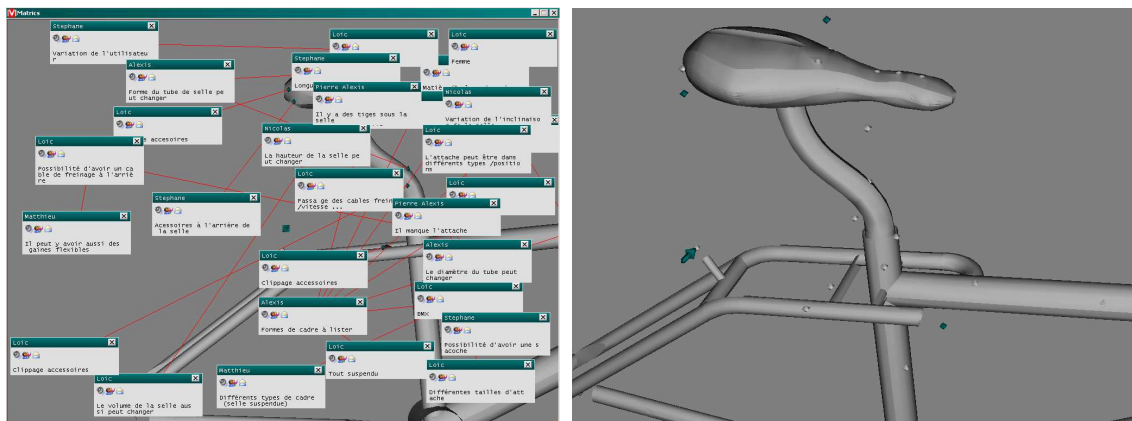


Figure 52 : le cadre de vélo annoté en affichant le texte des annotations (à gauche) et en ne montrant que les ancres (à droite).

Les problèmes que nous avons soulevés ci-dessus se posent très clairement avec un modèle comportant une trentaine d'annotations, qui sont le résultat d'une séance de travail unique, ayant mis en jeu six personnes. Ces problèmes ont naturellement tendance à s'amplifier au fur et à mesure que le nombre d'annotations croît. Dans le cadre d'un projet industriel à plus grande échelle, nous pouvons supposer que le nombre d'annotations est largement plus important (plus d'intervenants, échelle de temps plus grande), et, par conséquent, ces problèmes deviennent majeurs. De ce fait, il est nécessaire de proposer des outils permettant de faciliter l'écriture, la lecture et la ré-exploitation du produit annoté.

Nous proposons d'assister la manipulation des annotations par l'ajout d'un modèle de connaissances (plus précisément d'une ontologie) dans lequel sont représentés les concepts principaux utilisés dans les annotations. Il sera ainsi possible de lier ces dernières aux concepts pertinents dans le modèle de connaissances, et nous pourrons proposer des outils facilitant l'exploitation du produit annoté à l'aide de ce modèle de connaissances.

6.3. Le modèle de connaissances

Le but du modèle de connaissances que nous avons développé est, en reliant les annotations aux concepts pertinents, de donner une information structurée (sur laquelle on peut

réaliser des mises en relations) sur le contenu des annotations. Cette partie présente ce modèle de connaissances. Nous verrons les choix que nous avons réalisés, puis la méthode que nous avons utilisée pour développer l'ontologie correspondante à ce modèle, et enfin le contenu de cette ontologie.

6.3.1. Choix ontologiques

Afin de déterminer la manière dont nous avons créé l'ontologie de notre environnement d'annotation, nous avons effectué une série de choix vis-à-vis des critères de conception examinés au chapitre 4.

- **Objet de conceptualisation**

Les connaissances modélisées dans l'ontologie permettent d'indexer le contenu des annotations posées sur le produit. Ainsi, l'ontologie développée est une ontologie du domaine, dans le sens où elle modélise les concepts utilisés en conception mécanique. A noter que, si l'on choisissait de transposer notre environnement d'annotation à un autre domaine, il faudrait remplacer une grande partie de notre ontologie.

- **Niveau de formalisme de l'ontologie**

Nous avons besoin d'exploiter cette ontologie de manière automatique, en particulier pour les fonctions d'exploration de l'ontologie et d'indexation des informations, il nous faut donc une ontologie exprimée dans un langage artificiel (dans le cas présent OWL), ce qui nous amène à créer une ontologie semi-formelle.

- **Ontologie « heavyweight » ou « lightweight » ?**

Le but de l'ontologie que nous avons créée est de proposer, pour les auteurs de annotations, un moyen d'indexer ces dernières. Ainsi, nous n'avons pas besoin de contraintes poussées sur les concepts (ex : cardinalité, propriétés pouvant être inférées) pour rendre notre ontologie opérationnelle. Une ontologie de type « lightweight » suffit donc amplement à nos besoins.

D'autre part, cette ontologie, dans le cadre d'une utilisation en situation réelle, est destinée à être utilisée, et éventuellement modifiée, par des utilisateurs qui n'ont pas nécessairement des connaissances poussées en ingénierie ontologique. Par conséquent, il est plus raisonnable, du point de vue de la maintenance, d'envisager une ontologie de type « lightweight ».

- **Niveau de granularité de l'ontologie**

L'ontologie doit correspondre aux besoins spécifiques de chaque produit développé, et sera largement modifiée. Bien que l'ontologie de base soit à large granularité, celle-ci s'affinera au fur et à mesure des utilisations et l'on aura à terme une ontologie à granularité fine.

6.3.2. Méthode de création de l'ontologie.

La méthode que nous avons utilisée pour la création de notre ontologie s'inspire de la méthode Ontospec [Kassel 02], présentée au chapitre 4. Nous nous sommes plus particulièrement basé sur les étapes suivantes.

- **Regroupement de documents**, servant de base à la création de notre ontologie. Ces documents peuvent être classés en trois catégories : traces de projets de conception, qui nous permettent de voir les concepts mis en jeu au cours d'une session de collaboration, notes d'interviews d'experts, donnant une grille de lecture aux traces de projets, et documents techniques sur les domaines que nous souhaitons modéliser.
- **Création de la liste des concepts** à représenter dans l'ontologie. Cette liste correspond à la liste des thèmes abordés dans les traces de projets de collaboration.
- **Création d'une définition informelle des concepts**. Pour chaque concept à modéliser, nous proposons une définition en langage naturel de celui-ci.
- **Opérationnalisation de l'ontologie**. Les différentes définitions informelles sont alors modélisées sous OWL. Nous avons utilisé l'application Protégé [Protégé 06] pour nous assister dans cette étape.

6.3.3. Contenu et organisation de l'ontologie.

6.3.3.1. Hiérarchie des concepts

Le modèle de connaissances que nous proposons est composé de 3 parties, qui sont regroupées en 3 concepts principaux :

- **design_concept** : il s'agit de la partie principale de l'ontologie, regroupant les concepts qui sont utilisés en conception mécanique. Dans cette partie, on peut trouver des concepts tels que « matériau » ou encore « résistance mécanique ».

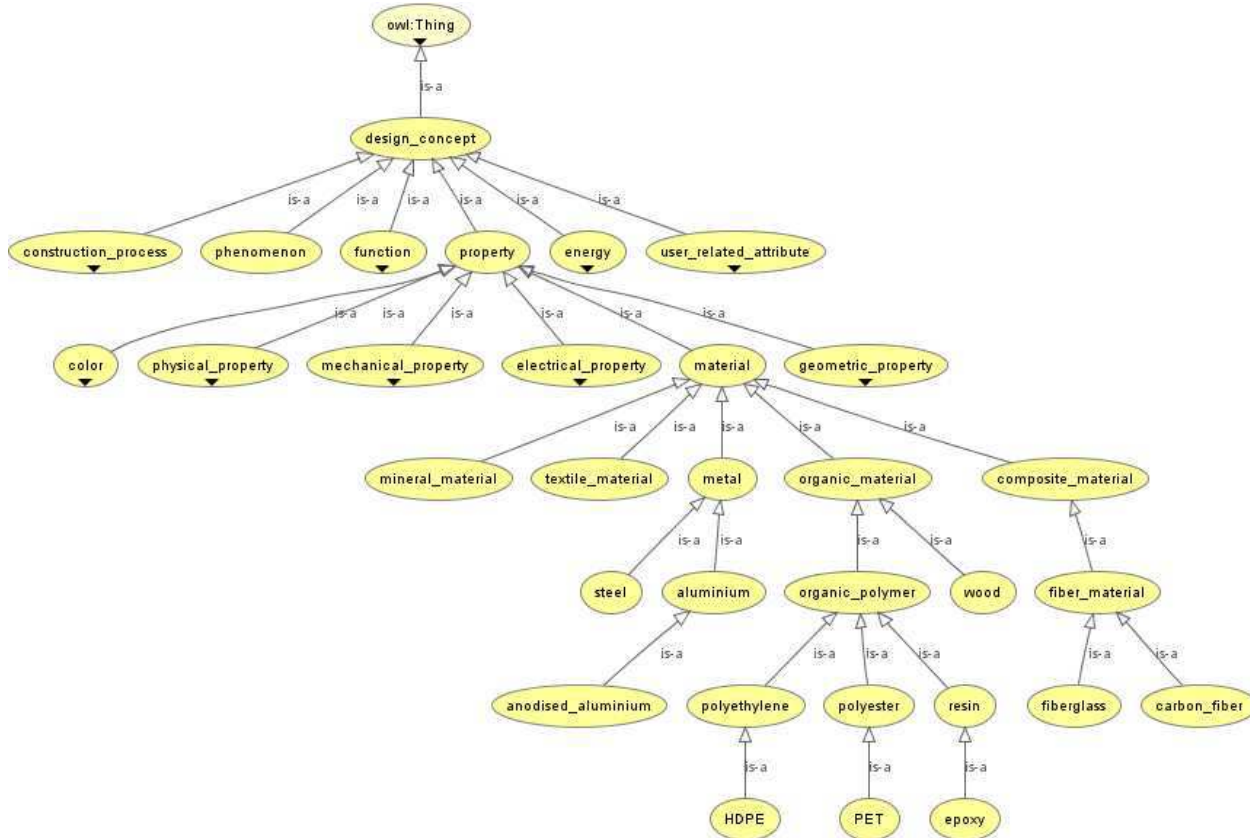


Figure 53 : extrait de la hiérarchie des concepts de l'ontologie Matrics, vue centrée sur le concept « material » (sous-concept de design_concept)

- **physical_object** : cette partie renseigne sur la composition du produit faisant l'objet de la collaboration. Cette partie de l'ontologie est à son tour composée de deux sous-parties : *product* et *component*.
 - Les sous-concepts de la hiérarchie *product* correspondent à une taxonomie des différents produits qui seront stockés sur le serveur. Cette hiérarchie permet en particulier de mettre en relation des produits similaires.
 - La hiérarchie *components* contient une typologie des différents composants mis en jeu dans le produit. La hiérarchie *is-a* classera les différents composants par catégorie (exemples : systèmes électriques, actionneurs) et permettra d'accéder aux éléments concernant uniquement un type d'objet particulier.

- Des liens *part-of*²⁷ permettent de lister les différents composants de chaque produit, et, si nécessaire, les sous-parties de ces composants.
- La hiérarchie *physical_object* permet donc d'indexer les annotations selon la sémantique de leur cible (la partie annotée de l'objet). Ce choix a été réalisé pour parer au faible couplage, à l'heure actuelle, entre les données 3D utilisées pour la représentation de la maquette virtuelle d'une part et les données C.A.O. d'origine d'autre part, problème évoqué au chapitre 2. Ainsi, une meilleure intégration dans la maquette virtuelle des données C.A.O. d'origine, voire un couplage avec les SGDT utilisés pour la création du produit, permettrait de renseigner sur la sémantique de l'objet annoté, remplissant alors la fonction actuelle de la hiérarchie *physical_object*.
- **method_related_concept** : lors de la collaboration autour du produit, les utilisateurs se basent sur une méthode propre à leur spécialité. Cette partie contient une modélisation des méthodes utilisées, ainsi que des liens vers les concepts de la partie centrale de l'ontologie. Chaque nœud fils de *method_related_concept* regroupe tous les concepts relatifs à une méthode particulière, et les nœuds se trouvant encore en dessous correspondent à un aspect particulier de cette méthode (par exemple une étape). Dans le cadre de notre développement nous avons modélisé la méthode ADEX [Guénand & Dandault 04], représentée par un sous-concept de premier niveau par rapport à *method_related_concept*, celui-ci a été décomposé en cinq sous-concepts, représentant les cinq critères de la méthode (voir Figure 54). Chacun de ces sous-concepts est lui-même décomposé en fonction des sous-critères de la méthode.

²⁷ Un lien « part-of » désigne une relation d'une partition pour un objet donné. Ainsi, dans le cas d'un objet physique, un nœud A sera lié « part-of » par rapport à un nœud B si l'objet représenté par le nœud A est un composant du nœud représenté par le nœud B.

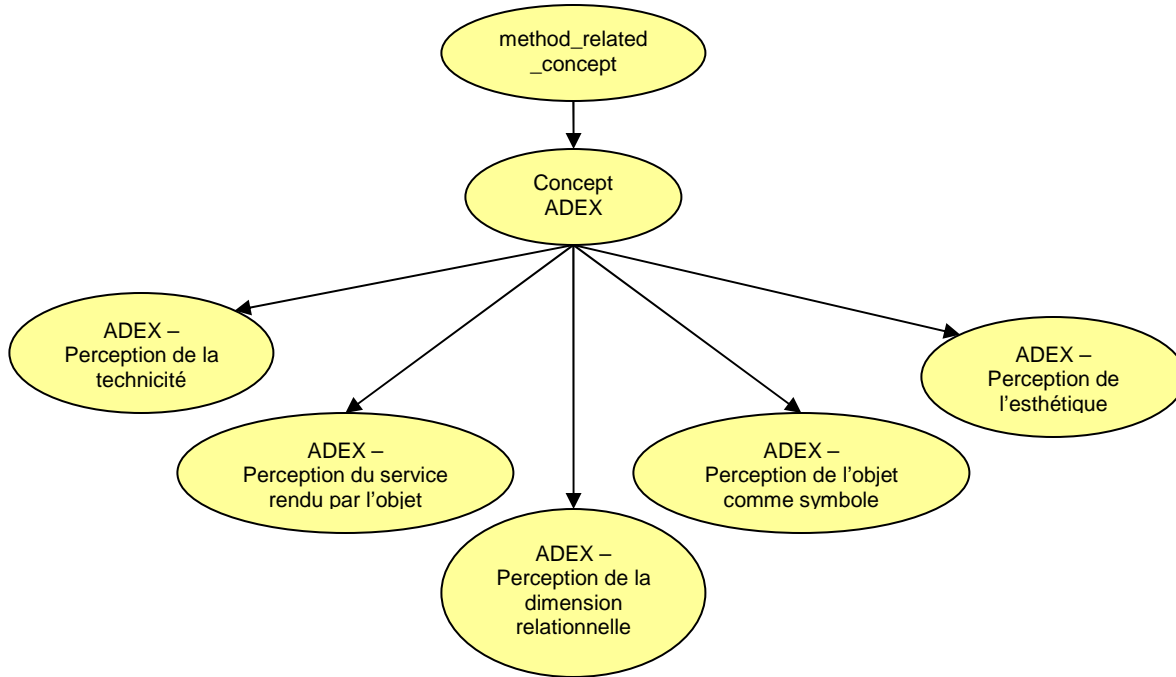


Figure 54 : modélisation de la méthode ADEX dans l'ontologie Matrics (hiérarchie is-a). Pour des raisons de lisibilité, seuls les concepts de premier niveau sont affichés.

6.3.3.2. Relations entre les concepts

Nous pouvons classer les relations entre les concepts en deux catégories : d'une part, les relations à l'intérieur de chaque partie de l'ontologie (*design_concept*, *method_related_concept*, et *physical_object*), et les relations entre des concepts issus de parties différentes de l'ontologie.

Des relations existent entre les concepts de chaque sous-partie de l'ontologie. Par exemple, comme nous l'avons vu précédemment, les sous-concepts de *physical_object* sont organisés entre eux, en plus des liens *is-a*, par des liens *part-of*. Ces liens permettent d'induire la structure physique de l'objet annoté.

Les relations entre les trois parties du modèle de connaissance ont une structure particulière. En effet, ceux-ci se font uniquement en direction des sous-nœuds de *design_concept* :

- D'une part, de sous-concepts de *physical_object* vers des sous-concepts de *design_concept* : ces relations permettent de déterminer les propriétés de l'objet physique modélisé.
- D'autre part, de sous-concepts de *method_related_concept* vers des sous-concepts de *design_concept*. La sémantique de ces relations (*refers_to*) est de

représenter, pour chaque étape de la méthode utilisée, les concepts mis en jeu par cette étape. L'objectif est, lors d'une situation de collaboration entre plusieurs corps de métiers utilisant plusieurs méthodes, de mettre en évidence les concepts partagés par ces méthodes. L'exemple de la figure 4 illustre ce principe : deux méthodes sont modélisées dans l'ontologie. Elles ne sont pas liées directement entre elles. Cependant, l'étape 1.2 (méthode 1) et l'étape 2.2 (méthode 2) sont liées par le concept « couleur », celui-ci sert de pivot entre ces deux étapes.

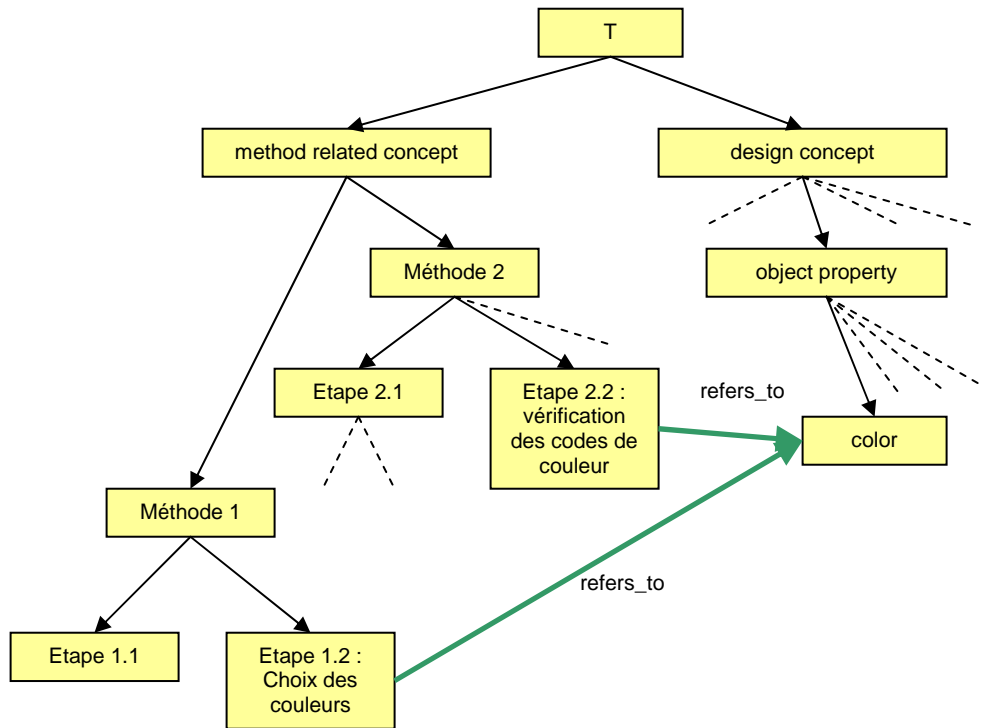


Figure 55 : exemple de deux concepts liés à deux méthodes différentes partageant le même concept.

Nous avons décrit ici le contenu de l'ontologie que nous utilisons dans l'environnement Matrics. Le reste de ce chapitre se focalisera sur la manière dont nous allons utiliser cette ontologie.

6.4. Utilisation du modèle de connaissances : la mise en relation d'entités

L'un des avantages du modèle de connaissances est qu'il permet à la machine de réaliser des inférences en se basant sur les relations du modèle de connaissances, et de mettre en relation des entités n'étant pas liées explicitement. Nous proposons donc d'exploiter le modèle de connaissances dans ce sens.

Nous allons voir dans un premier temps les diverses entités qui sont liées d'une manière ou d'une autre au modèle de connaissances. Puis nous présenterons une liste de toutes les combinaisons possibles concernant la mise en relation de ces entités.

6.4.1. Entités sur lesquelles on peut exploiter les connaissances.

Dans l'environnement Matrics, quatre types d'entités sont liés d'une manière ou d'une autre aux concepts :

- **Les concepts** eux-mêmes.
- **Les annotations**, qui sont liées manuellement aux concepts par les utilisateurs.
- **Les utilisateurs** : en effet, ceux-ci ayant posé des annotations, et les annotations étant liées aux connaissances, chaque utilisateur dispose d'un « profil » vis à vis du modèle de connaissances, c'est-à-dire d'une liste de l'ensemble des concepts que cet utilisateur a manipulés, ainsi que leur fréquence.

Utilisateur : Stéphane		Utilisateur : Jérôme	
Concept	Fq.	Concept	Fq.
Matériau	16	Utilisateur	12
Aluminium	9	Couleur	10
Roue	8	Matériau	6
Fonction	7	Prop. Physiq.	3
...

Figure 56 : exemples de profils d'utilisateurs vis-à-vis du modèle de connaissances.

- **Les produits** : les annotations se rapportant aux produits, ceux-ci sont eux aussi indirectement liés aux connaissances.

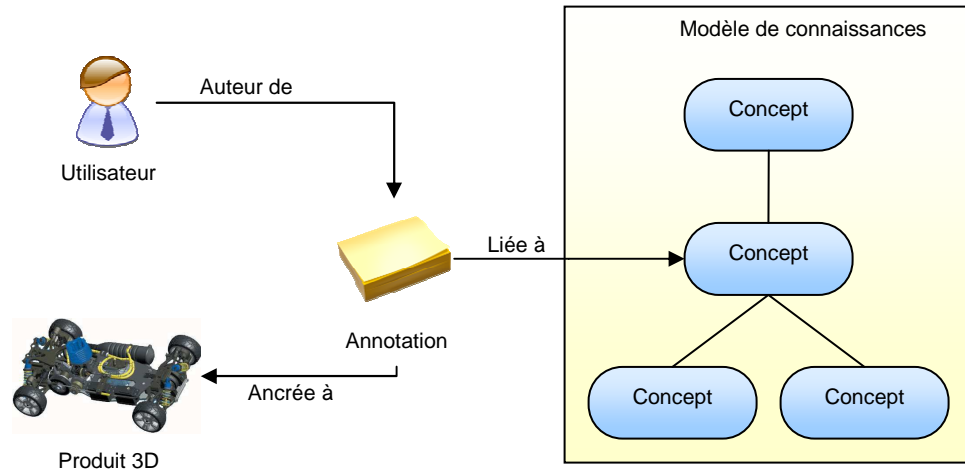


Figure 57 : les différentes entités liées directement ou indirectement au modèle de connaissances


















6.4.2. Combinaisons possibles d'entités

A partir de la liste d'entités que nous avons vue plus haut, nous pouvons combiner ces types d'entités par paires. Ces paires sont constituées de :

- L'entité source, qui constitue le sujet de notre recherche (la requête).
- Les entités cibles. Il s'agit du type d'entité pour laquelle on cherche à obtenir par notre requête.

Ent. cibles → Ent. source ↓	Annotations 	Concepts 	Utilisateurs 	Produits
Annotation 	Cas 1 	Cas 2 	Cas 3 	Cas 4
Concept 	Cas 5 	Cas 6 	Cas 7 	Cas 8
Utilisateur 	Cas 9 	Cas 10 	Cas 11 	Cas 12
Produit 	Cas 13 	Cas 14 	Cas 15 	Cas 16

Table 4 : exploitation du modèle de connaissances : les différentes combinaisons existantes entre l'information que l'on cherche et l'information dont on part.

-  1. **Trouver des annotations liées à une annotation** : il s'agit ici de proposer les annotations qui sont sémantiquement proches d'une annotation de départ. Exemple d'utilisation : un utilisateur crée une annotation, et souhaite voir si ce qu'il est en train d'écrire n'est pas en contradiction avec quelque chose qui aurait été écrit ailleurs.
- 
 2. **Trouver des concepts à partir d'une annotation** : il s'agit tout simplement de lister les concepts liés à l'annotation.
- 
 3. **Trouver des utilisateurs à partir d'une annotation** : la fonction la plus simple correspondant à ce cas de figure est tout simplement de rendre le nom de l'auteur de l'annotation. Cependant, il est aussi possible d'utiliser le modèle de connaissances pour trouver, par exemple, les utilisateurs qui seraient les plus aptes à réagir sur une annotation.
- 
 4. **Trouver des produits à partir d'une annotation** : nous disposons d'une association directe : chaque annotation est associée à un produit. On peut cependant aussi utiliser le modèle de connaissances pour réaliser ce genre d'association et, par exemple, trouver dans les anciens produits réalisés ceux qui sont pertinents par rapport à une annotation.
- 
 5. **Trouver des annotations à partir d'un concept** : l'utilisateur sélectionne un concept et cherche à identifier les annotations qui parlent de ce concept. Par exemple : un utilisateur lit le produit annoté et cherche à voir toutes les annotations concernant sa spécialité.
- 
 6. **Trouver des concepts à partir d'un concept** : pour trouver des concepts liés à un concept existant, l'utilisateur peut naviguer dans le modèle de connaissances. Il peut aussi utiliser les annotations pour trouver les concepts co-occurents du modèle de connaissances.
- 
 7. **Trouver des utilisateurs à partir d'un concept** : nous disposons d'une part de la liste de toutes les annotations qu'un utilisateur a créées, et d'autre part de la liste des concepts associés à chaque annotation. Ainsi, chaque utilisateur dispose d'un « profil » vis-à-vis du modèle de connaissances, et on peut donc mettre en avant les utilisateurs ayant un lien fort avec un concept particulier. Ce genre de fonctionnalités peut être utile, par exemple, dans une situation où un utilisateur se trouverait bloqué sur un problème : on peut, à partir d'une recherche dans le modèle de connaissances, trouver l'utilisateur dont le profil est le plus apte à réagir sur le problème en question.
- 
 8. **Trouver un produit à partir d'un concept** : de même qu'il est possible de déterminer le profil d'un utilisateur par rapport à l'ontologie, on peut aussi déterminer le profil des produits par rapport à cette ontologie. Il serait donc possible de partir d'un concept de trouver un produit dont la conception a fait appel de manière intensive à ce concept.
- 
 9. **Trouver des annotations à partir d'un utilisateur** : la manière la plus évidente de trouver des annotations à partir d'un utilisateur est de lister les annotations que cet utilisateur a écrites. Cependant, le modèle de connaissances détermine un profil des

concepts que l'utilisateur utilise le plus souvent. On peut alors utiliser ce profil pour proposer à l'utilisateur les annotations qui sont susceptibles de l'intéresser.



10. **Trouver des concepts à partir d'un utilisateur** : il s'agit du profil de l'utilisateur : les annotations liées à l'utilisateur étant elles-mêmes liées à des concepts, on peut déterminer quels sont les concepts auxquels l'utilisateur fait appel le plus souvent.



11. **Trouver des utilisateurs à partir d'un utilisateur** : le modèle de connaissances peut être utilisé pour favoriser les interactions entre les utilisateurs. En effet, chaque utilisateur dispose d'un profil par rapport au modèle de connaissance. Il est donc intéressant d'inciter la collaboration entre les utilisateurs disposant de profils proches.



12. **Trouver des produits à partir d'un utilisateur** : on peut utiliser le profil de l'utilisateur par rapport au modèle de connaissances pour le comparer aux projets déjà existants et déterminer ceux qui sont susceptibles de l'intéresser.



13. **Trouver des annotations à partir d'un produit** : de manière évidente on peut simplement lister les annotations liées au produit. On peut aussi se baser sur le modèle de connaissances et par exemple, chercher sur les autres produits les annotations qui se rapportent le mieux aux problèmes soulevés par le produit courant.



14. **Trouver des concepts à partir d'un produit** : chaque produit dispose d'une liste des concepts qui lui sont liés. Cette liste définit en quelque sorte le « profil du produit » par rapport au modèle de connaissances, au même titre que l'on dispose d'un profil d'utilisateur par rapport au modèle de connaissances. L'utilisation la plus immédiate de ce profil est de donner des points d'entrées pour la lecture du produit annoté (en utilisant conjointement les possibilités décrites dans le cas 5).



15. **Trouver des utilisateurs à partir d'un produit** : il s'agit du symétrique du cas 12 : ici à partir des annotations posées sur un produit, on peut déterminer les utilisateurs qui sont susceptibles d'intervenir sur ce produit. Par exemple, on peut imaginer, dans le cas d'un projet dans une grande entreprise, que le projet soit dans une impasse et que l'on cherche à recruter une équipe d'experts qui pourraient potentiellement débloquer le projet. Grâce au modèle de connaissances, on peut facilement déterminer les personnes qui ont le meilleur potentiel pour faire partie de cette équipe.



16. **Trouver des produits à partir d'un produit** : les produits peuvent être mis en relation les uns par rapport aux autres par le biais du modèle de connaissances. On dispose alors d'une fonction « produits similaires » dans l'environnement qui permet, par exemple, de puiser dans la base des anciens produits pour s'inspirer de ce qui a été réalisé précédemment.

La liste ci-dessus est le résultat d'une analyse systématique des différentes paires {entité d'origine, entité cible} possibles. L'intérêt pratique n'est cependant pas le même pour chacune

de ces combinaisons. Dans le prototype que nous avons réalisé, nous avons choisi de nous centrer sur le cas 5 (trouver des annotations à partir d'un concept). En effet, la mise en avant des annotations (cas de la première colonne : 1, 5, 9 ou 13), et en particulier le cas n°5, nous paraît répondre au problème, soulevé au début de ce chapitre, à savoir la difficulté de lecture du produit annoté lorsque le nombre d'annotations devient trop grand.

6.4.3. Calcul de la pertinence d'une annotation par rapport à un concept

Pour la recherche d'annotations traitant d'un concept de départ nous calculons un « niveau de pertinence » de chacune des annotations liées au produit. Ce niveau de pertinence sera alors utilisé comme valeur de référence pour le filtrage des annotations (voir 6.4.4.2).

La méthode de calcul du niveau de pertinence des annotations, définie de manière empirique, est la suivante :

- Affectation d'un niveau de pertinence de 1.0 (100%) pour le concept de départ.
- Propagation du même niveau de pertinence pour les sous-concepts (hiérarchie *is-a*) : on souhaite obtenir, à partir d'un concept de départ, toutes les annotations traitant de ses spécialisations (exemple : une annotation liée au concept représentant une étape d'une méthode sera pertinente si l'on cherche les annotations traitant de cette méthode).
- On assigne une fraction (valeur fixée de manière empirique à 50%) du niveau de pertinence aux concepts liés horizontalement.
- Propagation récursive d'une faible fraction (valeur fixée de manière empirique à 20%) du niveau de pertinence vers les concepts parents.

Nous obtenons ainsi une "carte des niveaux de pertinence" pour l'ensemble de l'ontologie (voir Figure 58 ci dessous).

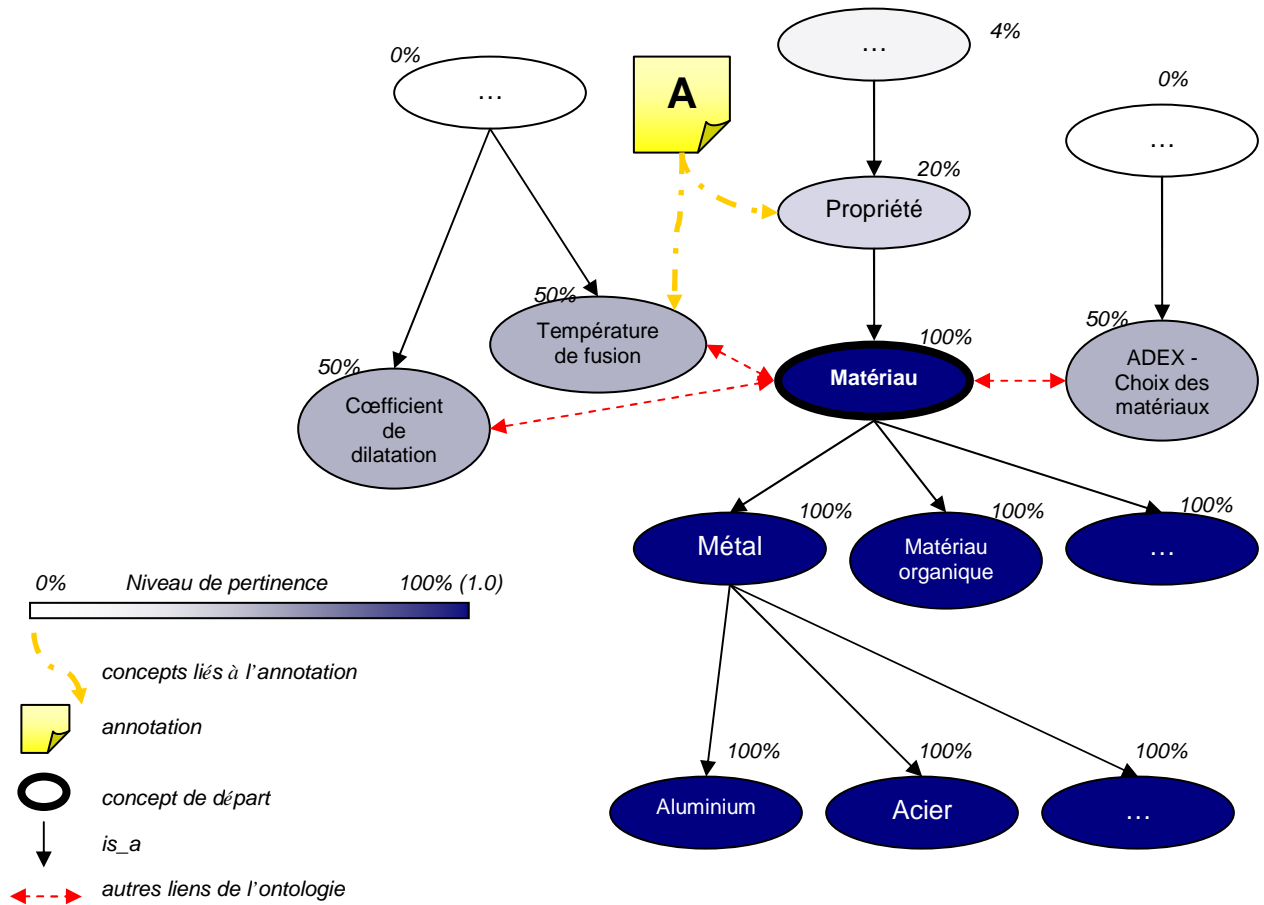


Figure 58 : exemple de « carte de pertinence », calculée à partir du concept « matériau ».

A partir de cette carte de pertinence, nous déterminons la pertinence de chaque annotation en combinant la contribution de chaque concept lié à l'annotation. Nous utiliserons la notation suivante :

- Soit C le concept de départ, constituant l'objet de notre recherche.
- Soit A, l'annotation, liée aux concepts $[c_1, \dots, c_i, \dots, c_n]$.
- Soit, $P^c(c_i, C)$, la pertinence du concept c_i par rapport au concept C, tel que calculé dans la carte de pertinence décrite ci-dessus.
- Soit, $P^a(A, C)$, la pertinence de l'annotation A par rapport au concept C.

$P^a(A, C)$, sera alors définie par la formule suivante :

$$P^a(A, C) = 1 - \prod_{c_i \text{ liés à } A} (1 - P^c(c_i, C))$$

Ainsi l'annotation A de la Figure 58, est liée à des concepts ayant respectivement une pertinence de 50% (0.5) et 20% (0.2). Elle aura donc une pertinence de $1.0 - [(1.0 - 0.5) \times (1.0 - 0.2)] = 1.0 - 0.5 \times 0.8 = 0.6$.

Cette méthode, bien qu'empirique, s'est montrée efficace après évaluation. Nous pouvons en particulier noter que le fait de lier l'annotation à des concepts supplémentaires non pertinents n'influence pas la pertinence globale de l'annotation ; et que lorsqu'une annotation est liée à au moins un concept pertinent à 100%, la pertinence globale de l'annotation sera quoi qu'il arrive de 100%. Intégrer des méthodes plus perfectionnées, en s'inspirant par exemple de travaux sur la recherche de documents indexés par rapport à une ontologie, permettrait probablement d'améliorer la qualité des résultats.

6.4.4. Exploitation dans l'environnement 3D.

Nous avons vu plus haut les différentes combinaisons possibles de mise en relation des entités au moyen de l'ontologie. Cette partie étudie la manière d'exploiter ces relations dans l'environnement 3D. Tout d'abord, nous étudierons les moyens de représenter dans l'environnement 3D les différentes catégories d'entités en relation avec le modèle de connaissances, puis nous nous intéresserons à la manière d'exploiter le modèle de connaissances dans l'environnement 3D, en nous centrant plus particulièrement sur la mise en valeur d'annotations à partir d'un concept (cas n°5).

6.4.4.1. Représentation des entités dans l'espace 3D.

Notre environnement d'annotation offre la possibilité d'agir sur ces entités par le biais de deux interfaces : l'interface 3D et le Deck 2D (interface de type Web). Bien que toutes les entités soient représentées dans le Deck 2D, l'intégration dans le monde 3D de ces entités pose le problème de leur représentation dans l'espace 3D.

Les annotations : La manière dont les annotations sont représentées a été traitée dans le chapitre 5 : nous utilisons une représentation de l'ancre, localisant l'annotation, avec son titre. L'ensemble est présenté dans l'environnement 3D, mais sans prendre en compte l'orientation de l'annotation (cas γ – cf. chapitre 5).

Les utilisateurs : la méthode la plus courante pour représenter des utilisateurs en environnement virtuel est l'utilisation d'avatars. Dans l'environnement Matrics, les utilisateurs connectés sont représentés sous la forme de cônes de perception indiquant où se situe l'utilisateur, la direction dans laquelle il regarde, ainsi que ce qui s'affiche sur son écran. Cette représentation a été développée dans le cadre du travail de master de Romain Lelong [Lelong 04].

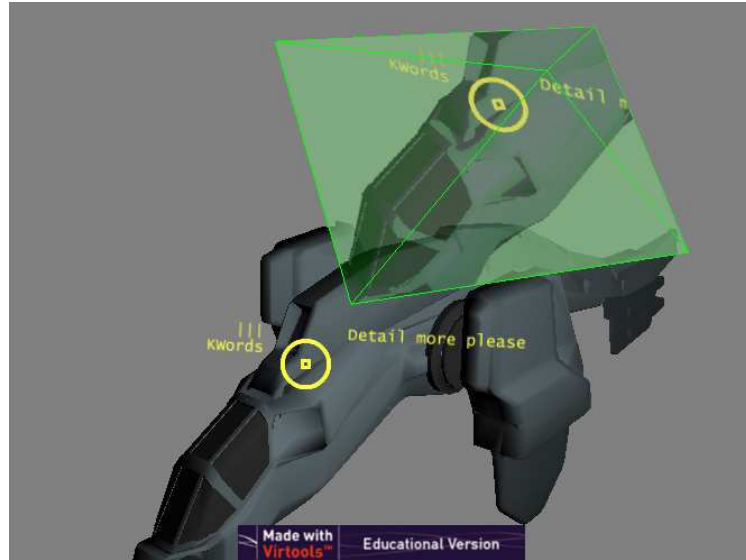


Figure 59 : représentation des autres utilisateurs par un cône perception (ici, en vert à l'écran) dans l'environnement Matrics.

Les utilisateurs connectés sont par essence localisés dans l'espace 3D (au moyen de leur point de vue géométrique). Cependant, un problème se pose avec les utilisateurs non connectés au projet : il n'existe pas d'information pertinente pour les localiser dans l'espace 3D. Les possibilités qui s'offrent à nous sont alors les suivantes :

- Représenter ces utilisateurs dans l'environnement 3D en plaçant leurs avatars à une position arbitraire (par exemple placés en cercle autour du produit). Cette solution a comme inconvénients d'une part de laisser sous-entendre que les utilisateurs sont connectés au projet alors que ce n'est pas le cas, et d'autre part de donner des informations erronées quant à la localisation des utilisateurs : ils n'ont peut être jamais regardé le modèle selon ce point de vue.
- Représenter les utilisateurs dans l'espace 3D selon le point de vue géométrique qu'ils avaient lorsqu'il se sont déconnectés : cette solution à l'avantage de mettre les avatars des utilisateurs connectés dans une position qui a une certaine pertinence. Cependant, comme la précédente, cette solution laisse à penser que ces utilisateurs sont toujours connectés.
- Représenter les utilisateurs sous la forme d'icônes en surimpression de l'environnement 3D : cette solution règle d'une part le problème du placement des utilisateurs dans l'espace 3D et d'autre part l'ambiguïté sur le statut connecté/déconnecté des utilisateurs, c'est donc celle-ci que nous retiendrons pour notre environnement.

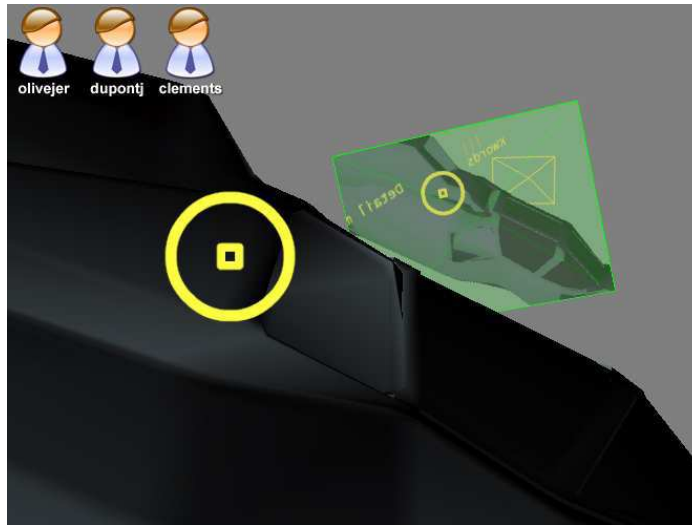


Figure 60 : les utilisateurs non connectés sont représentés par des icônes en surimpression (maquette)

Les produits : tout d’abord, il est important de faire la distinction entre le produit sur lequel les utilisateurs sont en train de travailler et les autres produits. Pour le produit actuellement annoté la représentation est immédiate : en effet, celui-ci est déjà représenté dans l’environnement 3D.

En revanche, la représentation des autres produits dans l’environnement 3D soulève plusieurs questions :

- **Qu’affiche-t-on de ces produits ?** En effet, un produit est beaucoup plus que sa représentation 3D : il contient un grand nombre d’informations le caractérisant : un titre, une description textuelle, le nombre d’utilisateurs y ayant participé, le nombre d’annotations qui lui sont associées, etc. Il faut donc trouver un bon équilibre entre, d’une part le fait qu’un produit représenté de manière trop sommaire n’est pas facilement caractérisable et d’autre part le fait qu’un trop grand nombre d’informations sur le produit dans l’environnement 3D aura tendance à semer la confusion chez l’utilisateur.
- **Comment afficher le produit ?** Le problème est assez proche de celui se posant avec les utilisateurs non connectés : les modèles 3D des produits non actifs (i.e. ceux sur lesquels on ne travaille pas actuellement), si ils sont affichés comme partie intégrante de l’environnement 3D, peuvent être confondus avec le produit actif. Il est donc nécessaire de placer les produits de manière à ce qu’ils soient clairement identifiés comme ne faisant pas partie du même espace que le produit actif. Pour résoudre ce problème, nous pouvons nous inspirer de la métaphore Voodoo-Dolls [Pierce & al. 99] : l’affichage de miniatures des produits non-actifs en surimpression du monde virtuel permettrait de résoudre cette ambiguïté.

6.4.4.2. Mise en évidence des objets dans l'environnement 3D.

Nous allons dans cette partie voir comment nous pouvons utiliser le modèle de connaissances pour mettre en valeur des annotations en relation avec un concept donné.

Pour ceci, nous allons nous baser sur les travaux effectués sur la Graphique, de Jacques Bertin [Bertin 67], qui se base sur la notion de variable visuelle : une variable visuelle est un moyen de faire varier une information graphique. Cette notion, à l'origine développée dans le cadre des données géographiques, peut être facilement transposée à notre problématique. Les six variables visuelles proposées à l'origine par Bertin sont : la couleur, la valeur (i.e. quantité d'encre utilisée), la taille, la forme, le grain (i.e. la texture) et l'orientation. Un grand nombre de travaux ont par la suite permis d'enrichir ce modèle de nouvelles variables graphiques [Koch 00] telles que la vitesse, ou encore la transparence.

- **Codage en couleur/valeur.**

Une première manière de représenter les annotations pertinentes consiste à utiliser la couleur selon laquelle les annotations sont affichées. On peut alors soit envisager un codage en couleurs à valeurs discrètes (on choisit les couleurs selon un ensemble de valeurs prédéfinies), soit par un ensemble continu de couleurs (dégradé), ce qui correspond au cas d'un codage en valeurs.

- **Avantage :** le codage en couleurs permet une grande expressivité. Il est en particulier possible d'utiliser différentes couleurs pour exprimer la position relative dans l'ontologie (concept fils, relation horizontale ...) du concept lié à l'annotation par rapport au concept de départ.
- **Inconvénients :** la compréhension sémantique des couleurs n'est pas immédiate, et il faut par conséquent expliciter le sens du codage employé. D'autre part, les objets-cibles non pertinents sont aussi visibles que les objets-cibles pertinents, ce qui ne facilite pas la lecture (voir Figure 61).

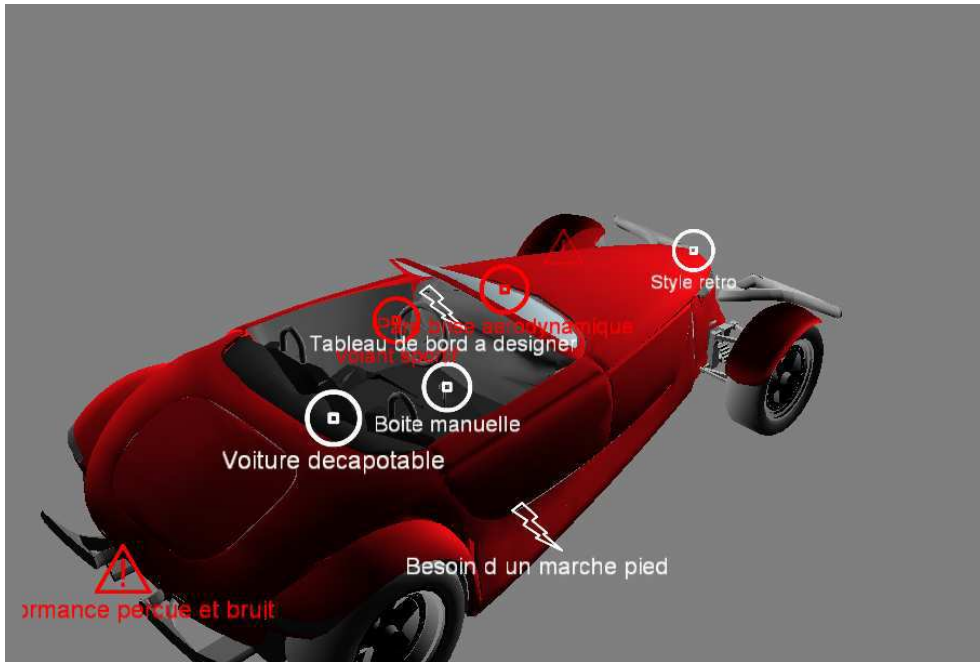


Figure 61 : utilisation de la couleur pour coder la pertinence des annotations par rapport à un concept.

- **Codage en taille**

Un autre moyen de représenter la pertinence d'une annotation est d'utiliser la taille d'affichage des annotations dans l'environnement 3D. Le mode de représentation est assez simple : les entités les plus pertinentes sont affichées plus grosses.

- Avantage : la compréhension de ce type de codage est immédiate. Les entités les moins pertinentes ne gênent pas la lecture.
- Inconvénients : ce type de représentation en environnement 3D pose des problèmes de perspective. En effet, il est possible de confondre une entité placée loin de la caméra et une entité peu pertinente.

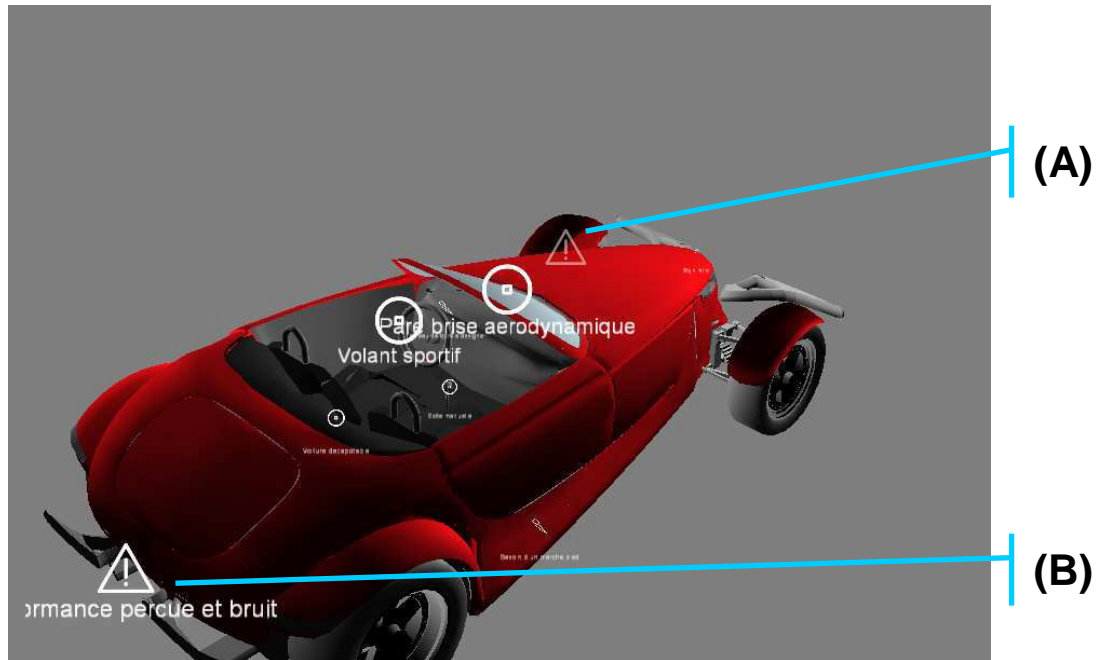


Figure 62 : utilisation de la taille pour représenter la pertinence des annotations. Notez la confusion possible par exemple pour l'annotation se trouvant au niveau de la roue avant gauche (A) : celle-ci à le même niveau de pertinence que l'annotation (B). La différence de taille est due à un effet de perspective.

- **Utilisation de la couche alpha (transparence)**

La couche alpha quantifie le niveau de transparence d'un élément graphique. Ainsi, une valeur de alpha maximale (1.0 ou 255 selon le mode de représentation) correspond à un élément complètement affiché. Une valeur de alpha nulle correspond à un élément non affiché. Toutes les valeurs intermédiaires correspondent à autant de niveaux de transparence. Nous pouvons utiliser ce système pour représenter la pertinence des entités-cibles en utilisant des valeurs alpha plus faibles pour les objets non pertinents, les rendant ainsi plus transparents.

- Avantages : pas de problèmes d'échelle, compréhension immédiate de la sémantique de ce codage.
- Inconvénient : il est difficile de voir les nuances entre deux valeurs de transparence proche.

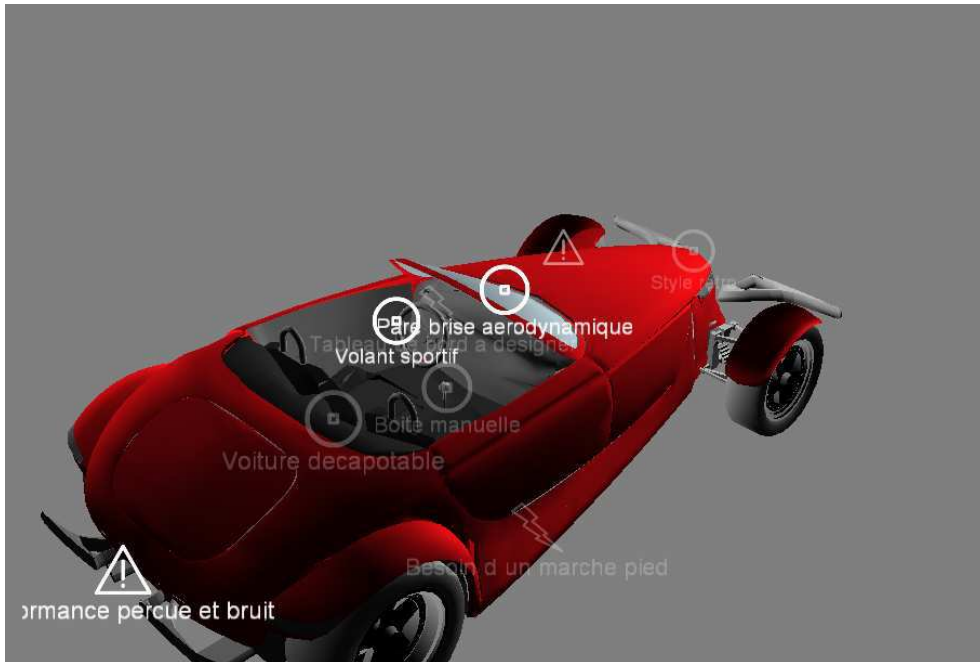


Figure 63 : utilisation de la couche alpha pour représenter la pertinence des annotations.

- **Utilisation de la forme des entités.**

Nous pouvons changer la forme des représentations des différentes entités dans l'environnement 3D pour signifier leur pertinence. L'utilisation des formes implique d'utiliser une sémantique pertinente et qui doit être explicitée. Dans le cadre de l'environnement Matrics, la forme de la représentation de l'annotation dans l'environnement 3D est utilisée pour représenter sa fonction argumentative, et nous ne pouvons donc pas l'utiliser pour représenter la pertinence de l'annotation vis-à-vis d'un concept. A noter aussi que la forme de peut pas être utilisée pour représenter la pertinence d'un produit, du fait que la forme est une composante essentielle de l'identité d'un produit.

- Avantage : l'utilisation de la forme des entités permet de nombreuses possibilités d'expression.
- Inconvénient : la sémantique des formes utilisées doit être explicitée pour être comprise. D'autre part, dans le cadre de la représentation des annotations, la forme de celles-ci est déjà utilisée pour représenter leur fonction argumentative.

- **Utilisation de la texture.**

On peut également associer à chaque annotation une texture dépendant de sa pertinence par rapport à un concept recherché. L'une des plus grandes difficultés de l'utilisation de la texture pour mettre en évidence des entités est le fait que, comme pour la couleur, la sémantique

de la texture doit être explicitée pour être comprise. D'autre part, l'utilisation de modifications de la texture pour les annotations aurait un impact négatif sur leur visibilité.

- **Utilisation de l'orientation.**

L'orientation des annotations peut être utilisée pour représenter différents niveaux de pertinence d'une annotation par rapport à un concept. Deux problèmes nous ont cependant fait écarter cette solution : d'une part, l'orientation a déjà une valeur sémantique dans notre représentation des entités dans l'espace 3D (les symboles utilisés pour représenter les ancres des annotations sont faits pour être visualisés « dans le bon sens »). D'autre part, l'utilisation de l'orientation est ambiguë. Il n'est en effet pas possible de savoir si une ancre d'annotation a été tournée de α degrés dans un sens ou de $360 - \alpha$ degrés dans l'autre sens, comme l'illustre la Figure 64.

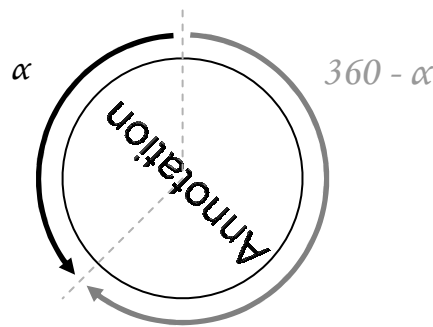


Figure 64 : problème de l'utilisation de l'orientation pour la mise en évidence des annotations : deux interprétations sont possibles.

Pour l'environnement Matrics, nous avons décidé d'utiliser une combinaison entre la transparence des annotations (couche alpha) et leur couleur. Cette combinaison permet de profiter des avantages de chacune de ces représentations :

- L'utilisation de la couleur permet de bien séparer les annotations pertinentes des moins pertinentes. Il est d'autre part possible d'utiliser plusieurs couleurs pour signifier des choses différentes.
- L'utilisation de la transparence permet une compréhension immédiate de la pertinence des annotations (les annotations transparentes sont les moins pertinentes).
- L'utilisation de la transparence permet aussi de régler le problème lié à l'utilisation de la couleur seule : les annotations les moins pertinentes sont moins visibles que les annotations pertinentes, et par conséquent ne gênent pas la lecture des annotations pertinentes.

6.5. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre l'ontologie utilisée dans l'environnement *Matrics*, ainsi qu'une analyse des possibilités d'exploitation de ce modèle de connaissances dans l'environnement virtuel.

Nous nous sommes principalement intéressés à l'utilisation de cette ontologie pour faciliter la manipulation du produit annoté en proposant un filtrage des annotations par rapport à un concept spécifié par l'utilisateur. Nous avons cherché aussi à proposer un moyen de trouver une information pertinente (l'information se trouvant dans l'annotation) à partir d'un thème donné (représenté par le concept)

Cependant, il serait intéressant d'explorer d'autres pistes d'utilisation du modèle de connaissances. Par exemple, l'utilisation du modèle de connaissances pour trouver des utilisateurs susceptibles de réagir sur une annotation ouvrirait des possibilités de collaboration nouvelles. Une exploration systématique de toutes les possibilités présentées en 6.4.2 constituerait un prolongement de ce travail.

De plus, la question de la gestion de l'ontologie au cours d'un projet de collaboration reste encore ouverte. En effet, l'ontologie que nous avons créée a été développée ne couvre qu'un ensemble de concepts limités, et une mise à jour de celle-ci est nécessaire si l'on souhaite l'utiliser pour d'autres projets. La création *a priori* d'une ontologie générique de la conception se heurterait à deux problèmes : d'une part la conception est un domaine très large et difficile à modéliser complètement ; et d'autre part, lors d'un processus de conception, et plus particulièrement lorsque celui-ci implique une part d'innovation, les connaissances qui seront utilisées sont, par définition, inconnues au début du projet. Afin de résoudre ces problèmes, nous envisageons de nous inspirer des travaux de Lortal [Lortal & al. 06b], qui propose un environnement d'annotation pour la conception où le modèle de connaissances associé aux annotations est créé de manière automatique par des méthodes de Traitement Automatique du Language (TAL). L'ontologie semi-formelle ainsi créée peut être enrichie par les utilisateurs au cours du projet de conception. Ce type d'approche pourrait être adaptée pour un environnement virtuel.

Afin de pouvoir évaluer les idées que nous avons développées au cours de ce mémoire, nous avons développé un prototype d'environnement virtuel permettant l'annotation de produit, nommé *Matrics* (Managing Annotations for TRaining in a Virtual Environment). Cet environnement sera décrit au chapitre suivant.

L'environnement Matrics

7.1. Introduction

Les concepts décrits dans les chapitres précédents ont été mis en application dans un environnement virtuel pour l'annotation, nommé Matrics²⁸ (Managing Annotations for TRaining In a Collaborative System). Cet environnement permet à différentes personnes de collaborer, en présentiel ou à distance, autour d'un produit dans l'environnement virtuel. La collaboration se fait par le biais d'annotations 3D. Ces annotations sont indexées par un modèle de connaissances, ce qui permet notamment le filtrage des annotations afin d'en faciliter la manipulation.

Dans ce chapitre, nous allons présenter cet environnement. Nous allons tout d'abord expliciter le rôle de l'environnement Matrics dans le cadre d'un projet de conception. Nous verrons ensuite les fonctionnalités de l'environnement concernant la manipulation des annotations.

L'environnement Matrics a la spécificité d'être réparti sur deux interfaces : l'environnement 3D, qui affiche le produit, les ancres de l'annotation, ainsi que leur titre, et le « Deck » 2D, qui permet d'accéder aux détails de l'annotation (Figure 65). Nous verrons dans la troisième partie comment des interactions mettant en jeu les deux interfaces sont possibles.

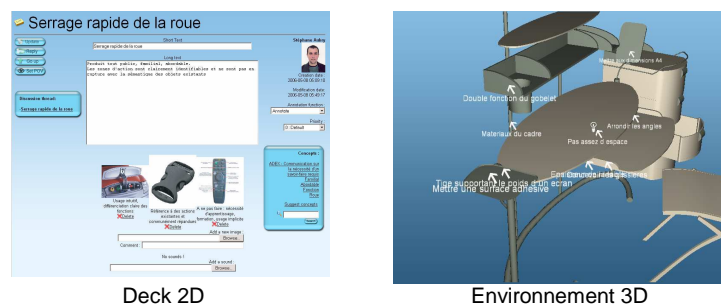


Figure 65 : les deux interfaces de l'environnement Matrics

²⁸ Nous remercions Jérôme Olive et Romain Lelong pour leurs contributions respectives au développement de l'environnement, fruit d'un travail en équipe.

La quatrième partie de ce chapitre sera consacrée à la présentation de l'architecture de l'application et à la description de ses composantes principales. En particulier cette architecture et la séparation en deux interfaces permettent aussi une grande variété de configurations d'utilisation que nous présenterons dans la dernière partie de ce chapitre.

7.2. Déroulement d'un projet *Matrixs*

Comme nous l'avons vu lors de la description des situations que nous étudions, il existe un grand nombre de manières de collaborer (cf. 2.2.1). Cependant, dans toutes ces situations, le produit annoté suit un cycle de vie dont les étapes sont identifiées :

- Une phase d'initialisation du projet, dans laquelle la première version du produit est réalisée, puis mise sur le serveur pour pouvoir être annotée.
- Le produit est ensuite annoté par les différents membres du projet.
- Si un travail supplémentaire est nécessaire, une nouvelle version du produit est créée. Cette version est de nouveau mise en ligne sur le serveur pour pouvoir être annotée et l'ancienne version est archivée. Nous retournons alors à l'étape précédente.
- Lorsque le produit n'a plus besoin d'être annoté. La version finale est archivée afin de pouvoir être ré-exploitée.

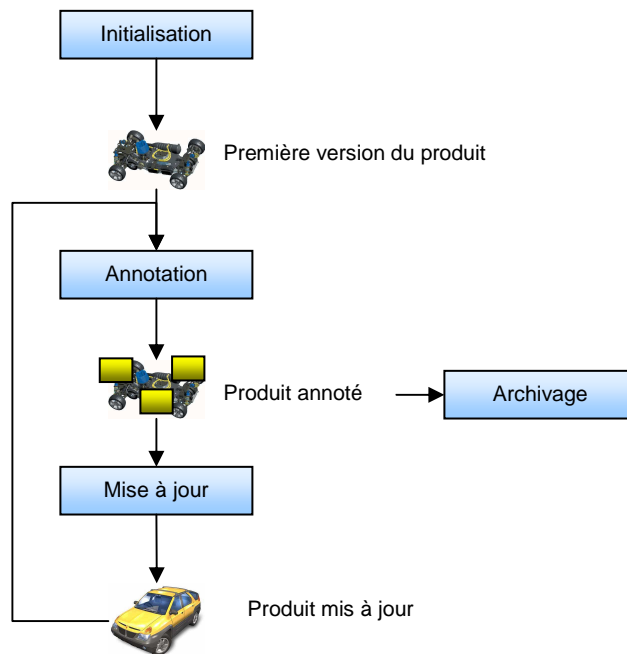


Figure 66 : cycle de vie d'un produit annoté

7.3. Fonctionnalités de l'environnement Matrics

Nous allons dans cette partie présenter les principales fonctionnalités de l'environnement Matrics. Des fonctionnalités de navigation basiques sont disponibles, il est ainsi possible d'orbiter autour du produit, de zoomer sur une partie spécifique ou encore de translater la caméra. Nous allons cependant nous concentrer sur les fonctions spécifiques à la manipulation des annotations.

7.3.1. Création d'annotations

Avant de commencer à annoter le produit, les utilisateurs chargent une première version de ce dernier. La modélisation aura été réalisée dans un environnement externe à Matrics (par exemple avec un logiciel de C.A.O.). Une fois le produit chargé dans l'environnement Matrics, l'utilisateur peut commencer à créer des annotations. Cette opération se réalise de la manière suivante.

- **Définition de l'ancre (environnement 3D).** Dans la version actuelle de Matrics, l'ancre de l'annotation est uni-cible, et réduite à un point. Dans l'environnement 3D, l'utilisateur pointe l'endroit du produit où il souhaite poser son ancre, et clique pour lancer le processus de création de l'annotation.
- **Définition du titre (environnement 3D).** Une zone de saisie textuelle apparaît alors dans l'environnement 3D (voir Figure 77), où l'utilisateur va pouvoir définir le titre de l'annotation.
- **Création du contenu de l'annotation (Deck 2D).** L'interface du Deck 2D se modifie alors, pour passer à l'éditeur d'annotations sur l'annotation qui vient d'être créée. L'utilisateur peut alors remplir le contenu de l'annotation, en écrivant le texte de l'annotation, et éventuellement en modifiant son titre ou en y ajoutant des images et des séquences sonores.

7.3.2. Création de liens entre une annotation et des concepts de l'ontologie

Une fois l'annotation créée, l'utilisateur peut lier cette dernière à l'ontologie, afin de faciliter son indexation. Cette opération se réalise dans le Deck 2D.

- **Sélection d'un point de départ pour l'exploration de l'ontologie :** il existe deux moyens de déterminer le concept qui servira de point de départ pour la recherche de concepts pertinents dans l'ontologie
 - **Suggestion de concepts :** dans l'éditeur d'annotations, un bouton permet d'enclencher un processus de reconnaissance automatisée des concepts

potentiellement pertinents par rapport à l'annotation actuelle. L'algorithme utilisé pour trouver les concepts pertinents est actuellement très simple (comparaison mot à mot), mais il serait clairement utile d'utiliser des méthodes de traitement plus avancées (par exemple par *lemmatisation* des termes de la recherche).

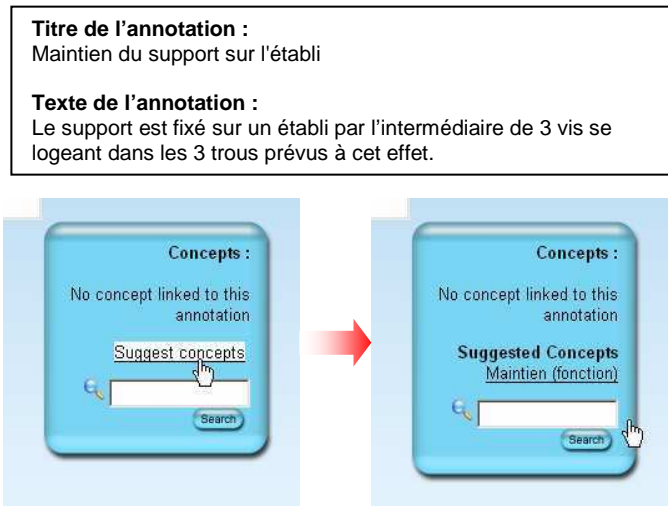


Figure 67 : suggestion automatique de concepts dans l'éditeur d'annotations.

- **Utilisation de la fonction de recherche textuelle** : la boîte de gestion des concepts liés à l'annotation contient un champ de recherche textuelle dans l'ontologie (voir Figure 67 ci-dessus).
- **Navigation dans l'ontologie et sélection du concept pertinent** : le Concept Browser permet de naviguer dans l'ontologie. Une fois que l'utilisateur a choisi le concept qui lui paraît pertinent, il pourra le lier à l'annotation courante et retourner à l'éditeur d'annotations par les options disponibles dans la barre d'outils.

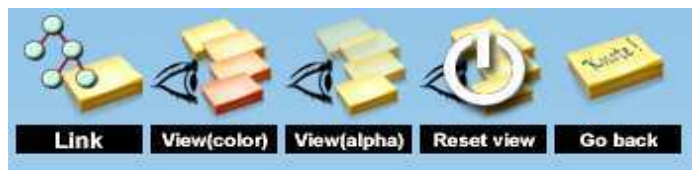


Figure 68 : la barre d'outils du concept browser. Le bouton « Link » permet de lier l'annotation courante au concept visualisé. L'utilisateur peut retourner à l'éditeur par l'option « Go back ».

7.3.3. Filtrage des annotations

L'environnement Matrics permet le filtrage des annotations liées, directement ou indirectement, à un concept de l'ontologie. L'opération de filtrage se déroule de la manière suivante :

- **Sélection du concept** à partir du Concept Browser. L'opération se déroule de la même manière que lors de la création de liens entre une annotation et un concept.
- **Choix du type de visualisation** à appliquer aux annotations. L'utilisateur déclenche par cette opération le filtrage des annotations. Deux types de visualisations sont disponibles à l'heure actuelle : une basée sur la seule transparence des annotations, et une autre basée sur la transparence et la couleur (voir Figure 69).

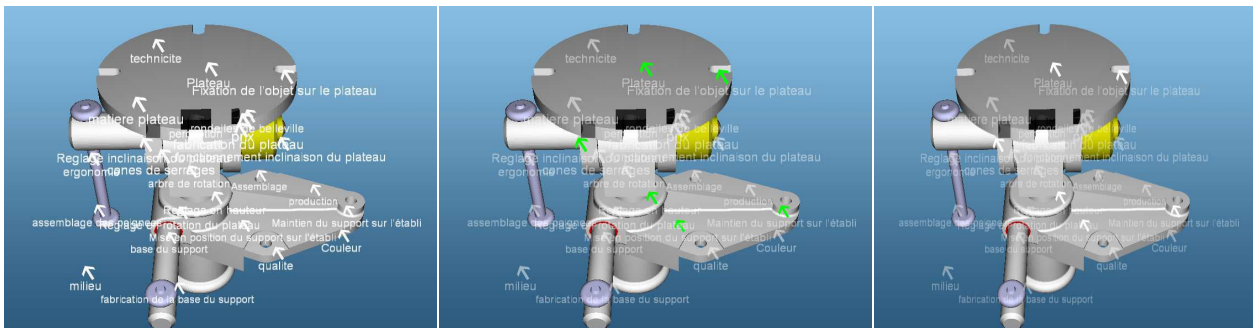


Figure 69 : la même vue du produit annoté, sans filtrage (à gauche), avec filtrage sur la couleur (centre) et sur la transparence (à droite).

7.4. Interactions mixtes 2D/3D

L'environnement 3D et le Deck 2D sont, d'un point de vue informatique, deux applications différentes. Cependant, elles font partie d'un même environnement, et nous avons donc mis en place un système d'interactions mixtes mettant en jeu à la fois l'environnement 3D et le Deck 2D selon les principes suivants.

Cohérence des données : le premier niveau de l'intégration entre les deux environnements concerne la cohérence entre les données affichées dans les chaque client. Ainsi, si l'utilisateur effectue une modification sur une annotation dans le Deck 2D, cette modification est repercutée dans l'environnement 3D et réciproquement.

Sélection des annotations : les annotations peuvent être sélectionnées par un clic gauche dans l'environnement 3D. Les détails de l'annotation apparaissent alors automatiquement dans le Deck 2D

Création d'annotations : comme pour la sélection d'annotations, la création d'une annotation entraîne l'apparition, dans le Deck 2D, de l'éditeur d'annotation pour l'annotation nouvellement créée.

Gestion du point de vue géométrique : on sauvegarde avec les annotations le point de vue géométrique selon lequel elles ont été créées. Il est possible, à partir du Deck 2D, de commander le positionnement de la caméra dans l'environnement 3D pour restaurer le point de vue géométrique original.

Filtrage des annotations : à partir du Concept Browser dans le Deck 2D, les utilisateurs peuvent lancer une filtrage des annotations liées au concept courant. Ceci a pour effet de modifier l'apparence des annotations dans l'environnement 3D pour mettre en valeurs les annotations pertinentes.

On peut donc classer ces interactions en 3 catégories :

- La cohérence des données, qui fonctionne dans les deux sens du fait de la synchronisation avec le serveur.
- Les interactions du Deck sur l'environnement 3D : point de vue géométrique, filtrage des annotations.
- Les interactions de l'environnement 3D sur le Deck : sélection et création des annotations.

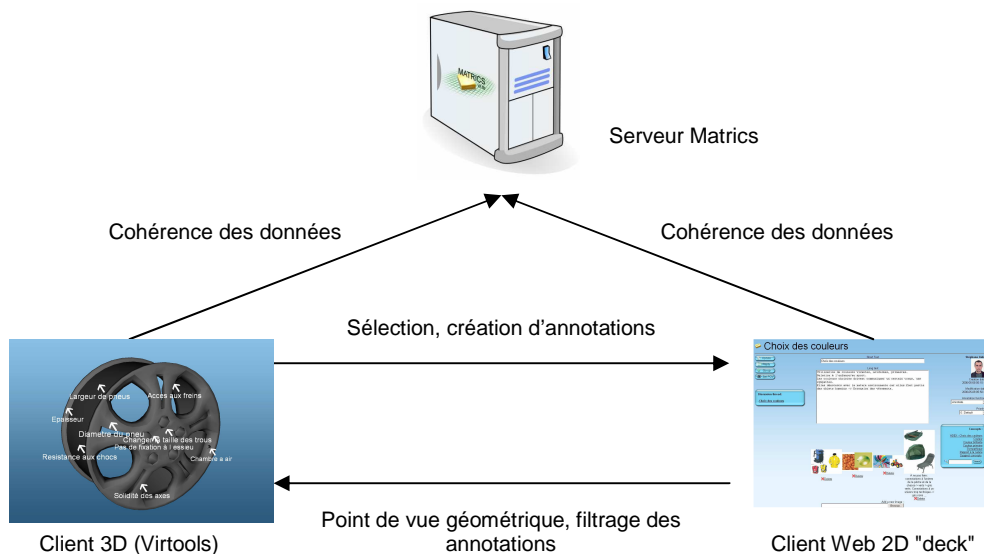


Figure 70 : résumé des interactions mixtes entre le client 3D et le Deck 2D.

7.5. Architecture de l'application

L'application est basée sur une architecture de type client-serveur, avec une séparation en plusieurs composants interdépendants du côté serveur, et la possibilité d'accéder à ce serveur par le biais de deux logiciels clients : le client 3D et le « deck 2D ». Nous allons détailler ici chacun de ces composants :

- **Composants côté serveur :**
 - **Une base de données** gère l'ensemble des données (hormis certains fichiers) stockées dans les projets sous Matrics.
 - **Matricslib** est une librairie permettant de manipuler les différentes entités gérées par la base de données.
 - **Serveur Matrics** : le serveur Matrics est un ensemble de fonctions permettant d'accéder au serveur depuis les logiciels clients.
 - **Le serveur « Deck 2D »** donne une interface Web pour l'édition des détails de l'annotation.
 - **Passerelle OWL** : la passerelle OWL permet la mise à jour de l'ontologie stockée sur la base de données à partir d'ontologies OWL.
- **Composants côté client**
 - Client « Deck 2D » : un client Web permet la visualisation des pages générées par le serveur « Deck 2D »
 - Client 3D : le client 3D, quant à lui, permet une visualisation du produit dans l'environnement 3D, ainsi que des annotations, qui sont contextualisées par rapport à ce produit.

La figure ci-dessous résume les relations existant entre les différents composants de notre environnement.

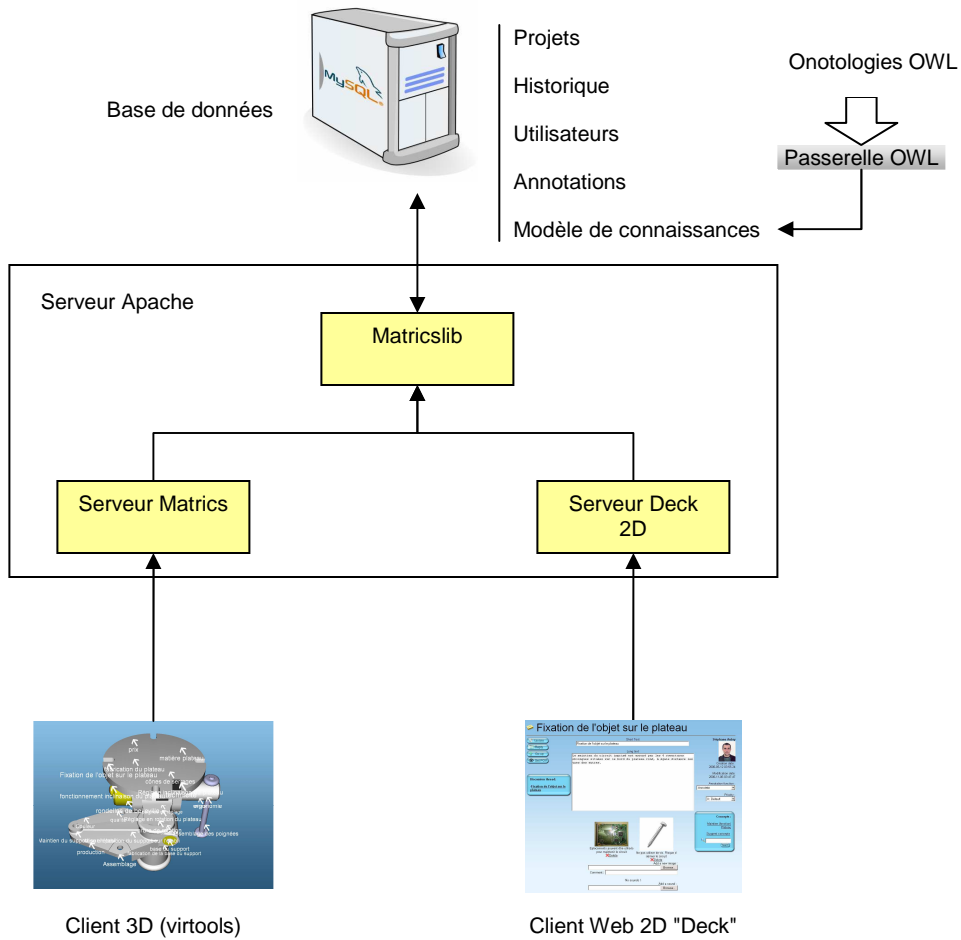


Figure 71: architecture de l'environnement Matrics

7.5.1. Le Deck 2D

Le Deck 2D est une application, permettant la visualisation et l'édition des annotations ainsi que la navigation dans le modèle de connaissances. L'interface du Deck 2D se compose de :

- **Un écran de connexion**, permettant de saisir son nom d'utilisateur ainsi que son mot de passe.
- **Une console d'administration** (Administration Console), avec laquelle les administrateurs peuvent gérer les comptes utilisateurs et les projets.

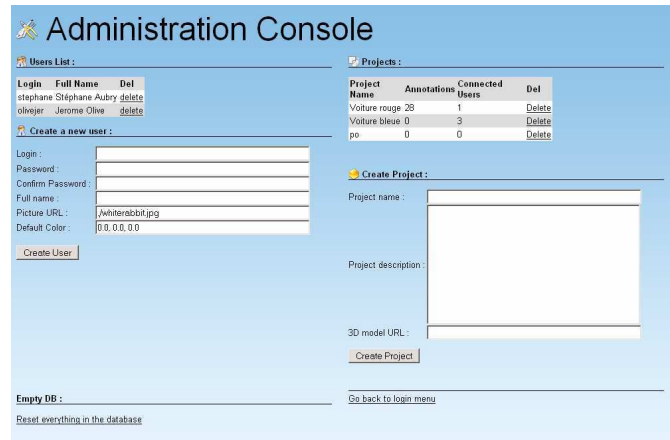


Figure 72 : Deck 2D – la console d'administration.

- **Un écran de sélection des projets (Project Selector)**, sur lequel est listé l'ensemble des projets disponibles sur le serveur.



Figure 73 : Deck 2D – l'écran de sélection de projets.

- **Un écran de visualisation de projet (Project Viewer)**. Cet écran correspond à l'état « connecté » à un projet et permet d'obtenir des renseignements sur le projet : nom de l'auteur du projet, utilisateurs connectés, description ... Les deux informations les plus importantes de cet écran sont d'une part la liste des concepts utilisés dans le projet et d'autre part la liste des annotations liées au produit. Cette dernière liste est représentée sous une forme arborescente afin de permettre des fils de discussion tels que ceux que l'on peut trouver sur les forums.

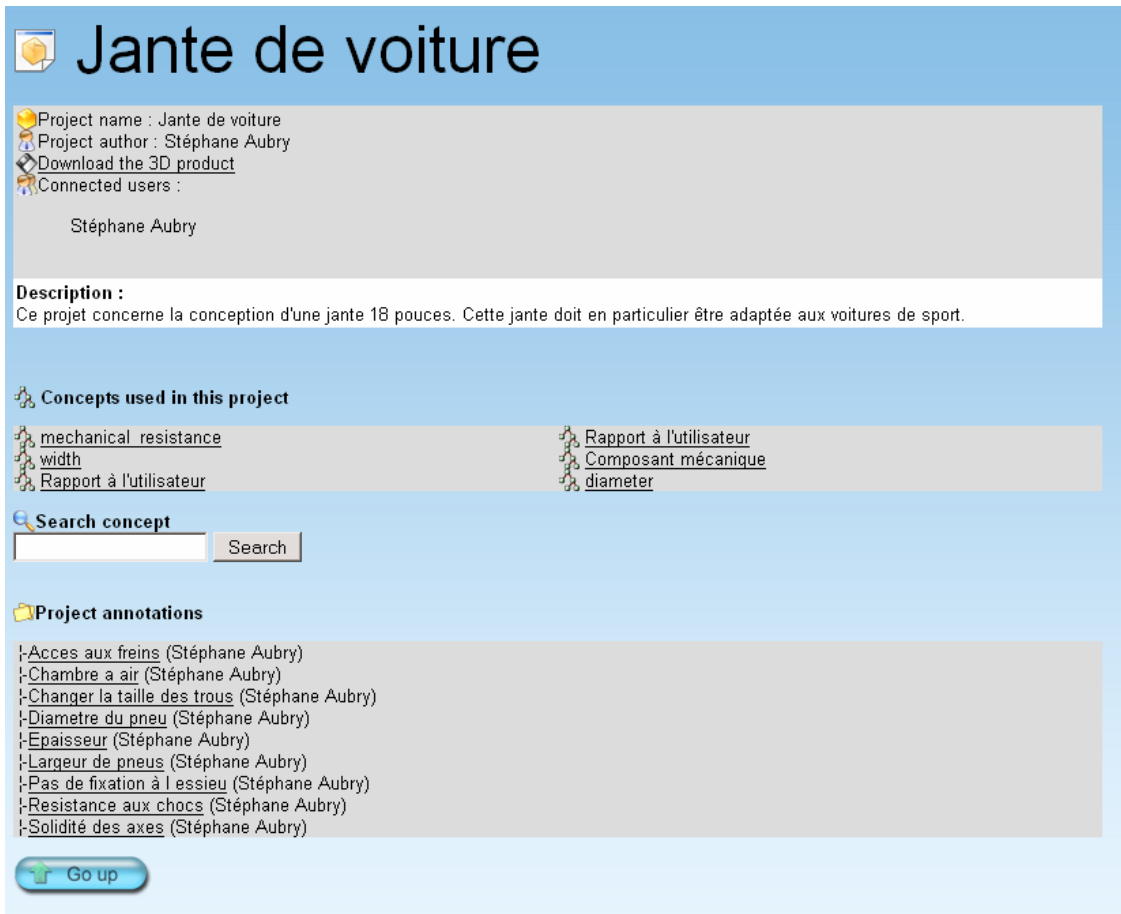


Figure 74 : Deck 2D – Visualisateur de projet : la partie du haut donne les détails du projet (nom, auteur, utilisateur connectés, description). La partie du milieu correspond à la liste des concepts liés au projet. La liste du bas correspond aux annotations posées sur le produit.

- **Un visualisateur/éditeur d’annotations** (Annotation Editor) : l’éditeur d’annotations est l’élément central de l’environnement 2D. Il permet de visualiser et de modifier le contenu des annotations. La Figure 75 ci-dessous montre l’apparence de cet éditeur d’annotation : à gauche se trouve une série d’outils de manipulation de l’annotation : sauvegarder, répondre à une annotation, utiliser le point de vue géométrique de l’annotation. La partie centrale permet, quant à elle, de modifier les contenus associés à l’annotation (textes, sons et images dans la version actuelle). La partie droite de l’écran, permet de visualiser et de modifier les méta-données associées à l’annotation : auteur, date de création/modification, priorité ... A noter, dans la partie inférieure droite de l’écran, la zone permettant de visualiser et de lier des concepts à l’annotation courante.

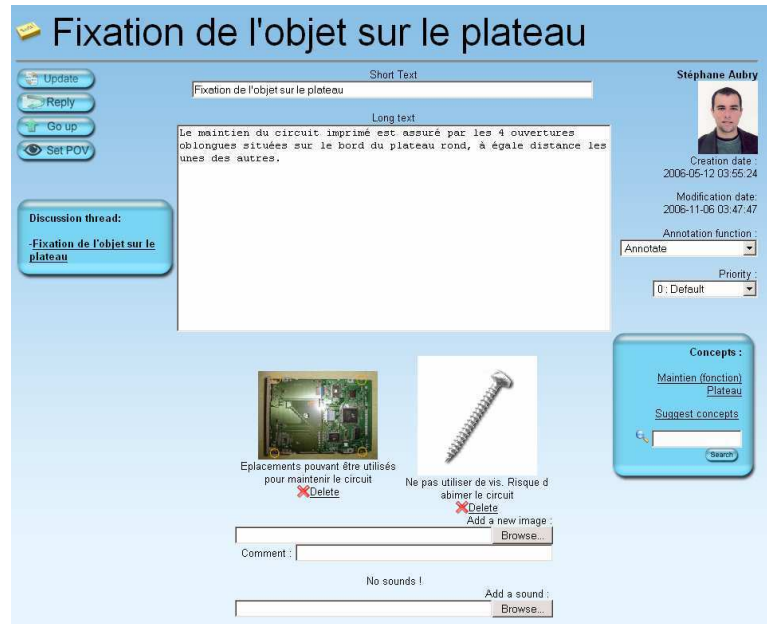


Figure 75 : Deck 2D – l'éditeur d'annotation

- Le Concept Browser** : cette partie de l'interface permet de naviguer dans l'ontologie, de lier/délier des concepts de cette ontologie à l'annotation courante, et de visualiser les annotations liées directement ou indirectement à ce concept. Chaque concept est présenté de la manière suivante (cf. Figure 76) : dans la partie supérieure de l'écran se trouvent des informations sur le concept (localisation dans l'ontologie, définition du concept), et des outils de manipulation de ce concept (visualiser les annotations pertinentes par rapport à ce concept, le lier à l'annotation en cours). La partie inférieure de l'interface présente les concepts liés au concept courant, et permet de naviguer entre eux. La navigation peut se faire soit dans le sens horizontal soit dans le sens vertical, à la manière de ce que l'on trouve dans le projet MEMORAE [Benayache 05], [Lenne & al. 05]. Les liens verticaux correspondent aux relations de type *is-a* du modèle de connaissances, les liens horizontaux correspondent aux autres types de liens. Grâce à cette interface, l'utilisateur peut naviguer dans les concepts afin de trouver celui qui est pertinent par rapport à sa tâche.

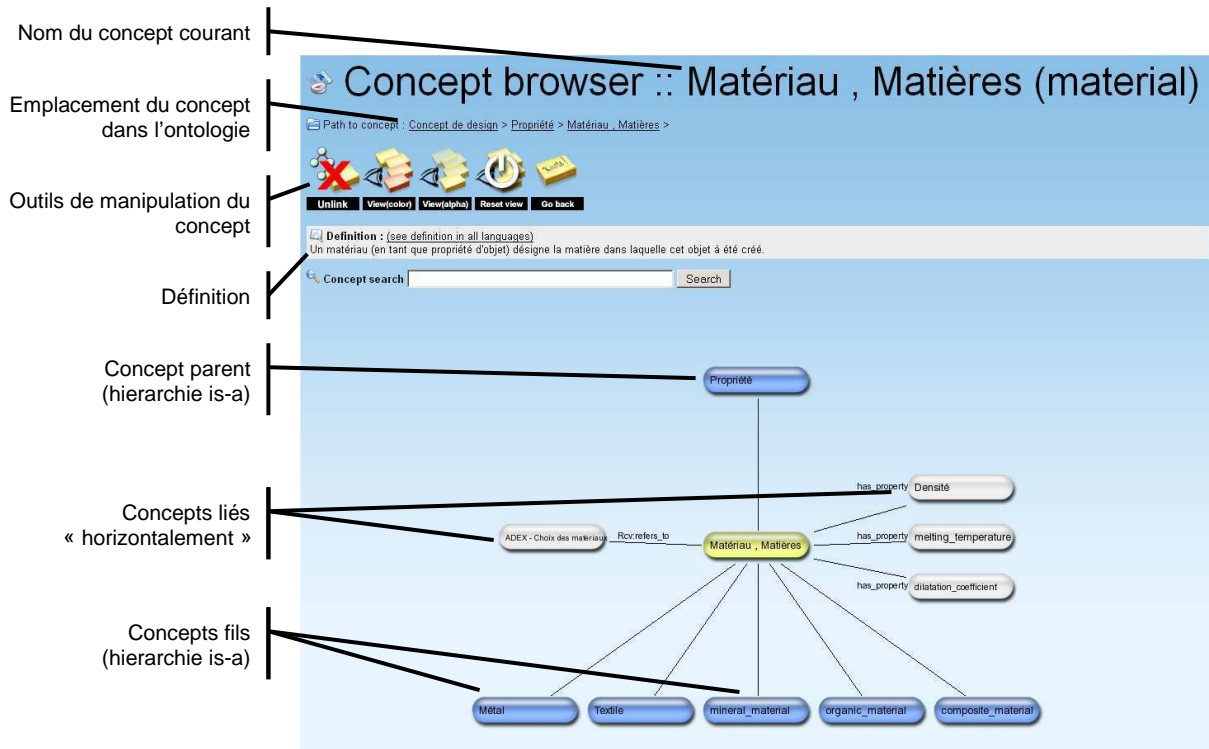


Figure 76 : Deck 2D – Le Concept Browser

7.5.2. Le client 3D

Le client 3D est la partie de l'environnement qui permet de visualiser le produit, ainsi que de localiser sur celui-ci les annotations qui y sont liées. Cette partie a été développée sous Virtools. Ce choix nous a permis de disposer des fonctionnalités prédéfinies dans l'environnement (gestion du protocole http, gestion de l'affichage graphique ...).

L'interface comprend trois écrans : un écran permettant de se connecter au projet, où l'utilisateur saisit son identifiant et son mot de passe ; l'écran de visualisation du modèle annoté à proprement parler, et une fenêtre permettant la saisie du texte lorsqu'une nouvelle annotation est créée.

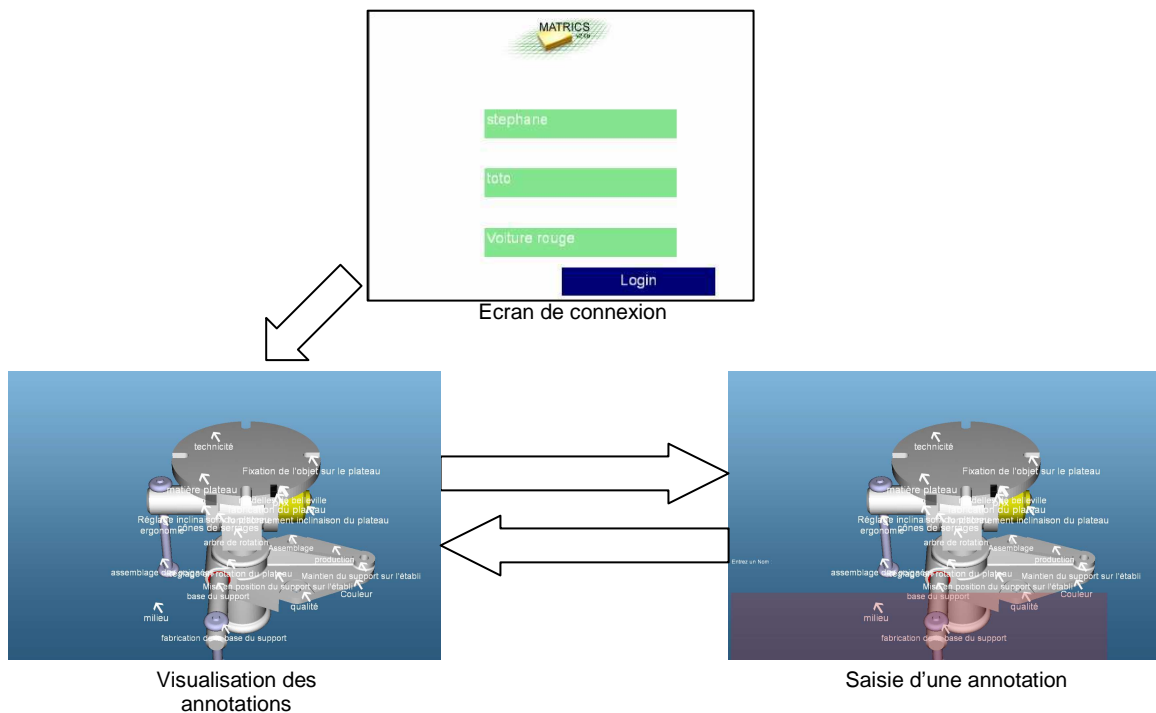


Figure 77 : enchaînement des différents éléments de l'interface dans l'environnement 3D.

La communication entre le serveur Matrics et l'environnement 3D se fait par le biais du protocole http, par la transmission de pages web. Le protocole http est maintenant largement supporté, et ainsi la création de nouveaux types de clients pour le serveur Matrics s'en trouve simplifiée. De même, la création de nouveaux logiciels serveurs serait elle-même simplifiée.

7.6. Configurations d'utilisation de l'environnement.

L'un des avantages de cette architecture, outre le fait qu'elle permette de réunir plusieurs niveaux d'intégration des informations abstraites dans l'environnement 3D, est qu'elle permet de tester l'environnement dans une variété de configurations. En effet : les deux composants clients sont indépendants (et peuvent par exemple tourner sur deux machines différentes) et sont compatibles avec des systèmes matériels très variés. Nous allons présenter ici quelques configurations que nous avons testées, ainsi que des perspectives d'utilisation dans d'autres configurations.

7.6.1. PC de bureau

Les applications client peuvent tourner sous n'importe quel PC de bureau standard. L'avantage principal de cette configuration est bien entendu le fait qu'il n'est pas nécessaire d'avoir de matériel spécifique pour travailler dans cette configuration. Cependant, un certain nombre de problèmes d'utilisabilité sont apparus :

- Si l'on affiche les deux clients simultanément sur le même écran (voir Figure 78 ci-dessous), l'espace disponible sur l'écran devient rapidement insuffisant (en particulier dans les basses résolutions) et la lecture des annotations devient difficile. Le problème a cependant tendance à s'estomper avec les très hautes résolutions (> 1600x1200)
- Si l'on affiche alternativement les deux environnements, les allers-retours entre ces deux environnements créent une charge cognitive et nous avons eu de fréquentes plaintes sur la difficulté d'utilisation dans de telles conditions.

La surface d'affichage disponible est donc déterminante pour l'utilisabilité de cette configuration.

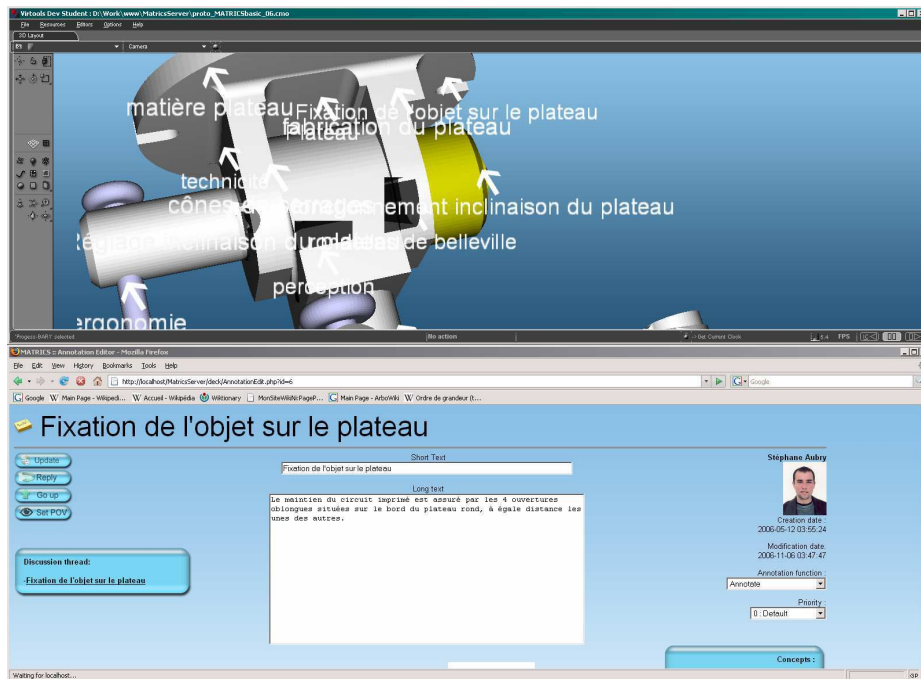


Figure 78 : les deux clients de l'environnement *Matrics* tournant sur un PC de bureau.

7.6.2. PC de bureau – configuration bi-monitoring

Une variante de la configuration précédente est d'utiliser l'application sur un PC de bureau auquel sont reliés deux moniteurs. La majorité des cartes graphiques récentes disposent de la possibilité de connecter plusieurs moniteurs par carte, et les versions récentes des systèmes d'exploitation permettent de tirer parti de ces configurations.

On dispose alors d'une version de bureau de l'environnement *Matrics* où un moniteur est dédié à afficher l'environnement 3D, et l'autre moniteur affiche l'environnement 2D. Cette

configuration règle les problèmes liés à l'utilisation de Matrics sur un PC classique, tout en pouvant être déployée pour un grand ensemble d'utilisateurs.



Figure 79 : l'environnement Matrics tournant sur un machine en bi-monitoring.

7.6.3. Système stéréoscopique immersif + ordinateur portable.

Les configurations présentées précédemment sont adaptées pour une utilisation de type « un utilisateur par poste ». Afin de visualiser et d'annoter collaborativement le produit dans notre environnement, nous proposons une configuration pour laquelle les logiciels clients sont sur différentes machines :

- L'environnement 3D tourne sur une machine connectée à un écran large affichant les données 3D en stéréoscopie. Cet environnement est visible par l'ensemble des utilisateurs.
- L'environnement 2D tournant sur un ordinateur portable afin de visualiser et éditer le contenu complet de l'annotation. Si nécessaire, chaque utilisateur peut disposer de son propre ordinateur portable.

Le contrôle de l'environnement 3D se fait directement à partir d'un des ordinateurs portables grâce au logiciel Synergy [Synergy 06].

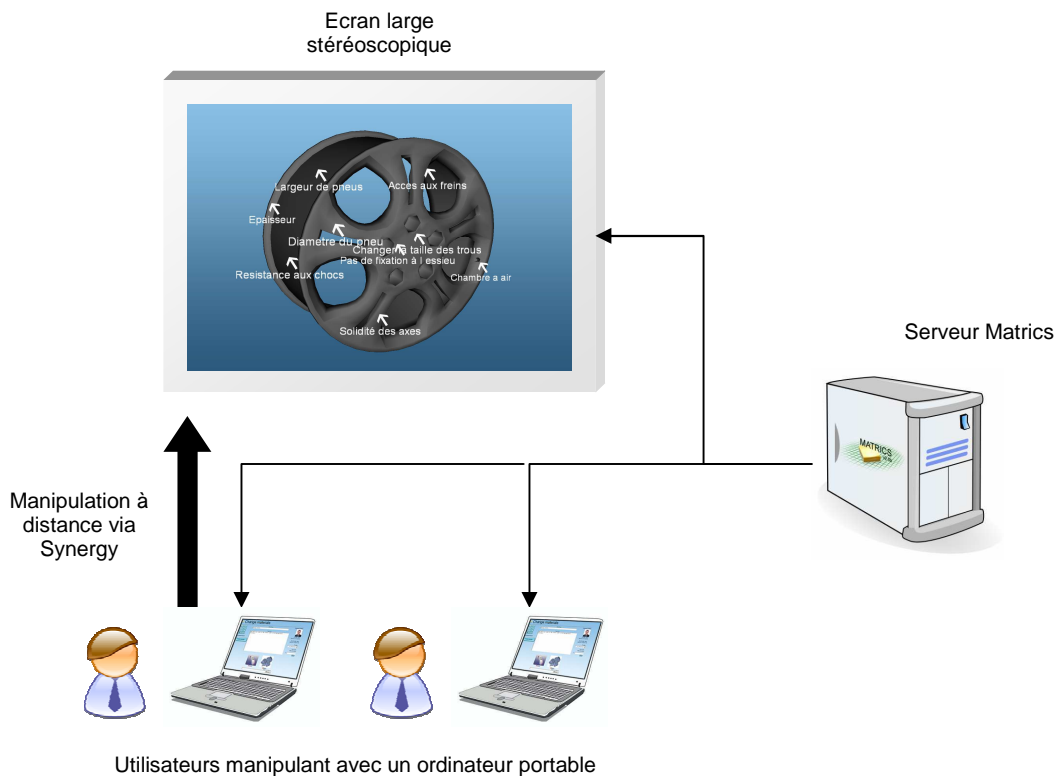


Figure 80 : description de la configuration pour une utilisation de Matrics sur avec un ordinateur portable + système immersif.

Nous avons expérimenté cette configuration à l'aide du système d'affichage disponible dans notre laboratoire (voir Figure 81). Le système consiste en un écran à large surface, avec un rendu en stéréoscopie passive à polarisation linéaire pour le rendu du relief.

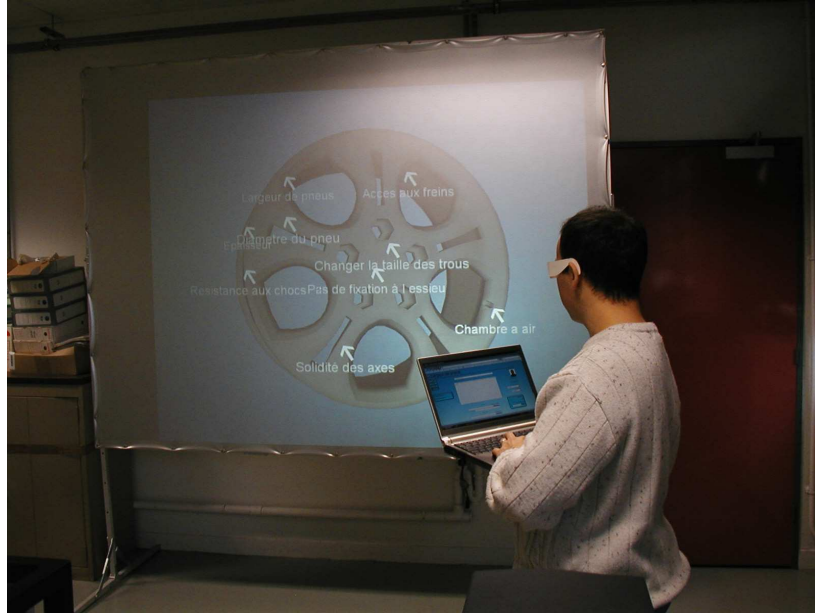


Figure 81 : l'environnement Matrics sous système stéréoscopique immersif.

L'utilisation d'une telle configuration permet en particulier :

- Une collaboration en présentiel : chaque utilisateur dispose de sa version du Deck 2D sur son ordinateur portable, alors que la visualisation de l'objet 3D est partagée sur l'écran stéréoscopique.
- Une visualisation du relief : la vision stéréoscopique permet de faciliter la compréhension de la position dans l'espace des composants du produit, ainsi que des annotations qui lui sont reliées.

7.7. Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre l'environnement Matrics, permettant de manipuler des annotations 3D via une interface mixte (2D/3D). Il est possible, via cette interface de lier les annotations à un modèle de connaissances représenté sous la forme d'une ontologie.

Cet environnement propose un support pour la collaboration, que celle-ci se fasse de manière asynchrone (les acteurs du projet laissent leurs annotations pour une lecture ultérieure par d'autres), soit synchrone, en présentiel, en partageant un système de visualisation de grande taille.

Nous pensons qu'il reste encore un grand nombre d'améliorations à réaliser sur l'environnement Matrics, bien que celui-ci offre déjà un support à la manipulation d'annotations, ces améliorations sont de plusieurs types :

Tout d'abord d'un point de vue des interfaces utilisées : le système, dans son état actuel, est basé sur une interaction avec l'environnement virtuel à l'aide d'une souris (ou avec le touch-pad de l'ordinateur portable), ce qui ne permet pas une réelle interaction 3D dans l'environnement. En particulier, nous souhaitons mettre en place une interaction dans l'environnement 3D à base de dispositifs de pointage 3D (de type « Wand²⁹ »). Cette amélioration permettrait en particulier de réaliser certaines opérations dans l'environnement Matrics, qui ne sont pas possibles aisément avec la souris, comme la création de marques 3D pour annoter le produit.

Toujours dans le domaine des interfaces physiques utilisées, nous souhaitons porter le Deck 2D sur assistant personnel (de type PDA). En effet, en configuration immersive (système stéréoscopique + ordinateur portable), l'ordinateur portable se révèle assez lourd et encombrant à l'utilisation. Une conversion du Deck 2D sur plate-forme PDA permettrait de diminuer ce poids et cet encombrement.

D'autre part, dans le chapitre précédent, nous avons effectué une étude systématique des différents moyens d'exploiter le modèle de connaissances. La version actuelle de l'environnement Matrics ne supporte que la mise en évidence d'annotations à partir de concepts (cas n°5). L'implémentation de tous les types d'exploitation référencés permettrait de comparer leur utilité respective.

Cet environnement nous a permis d'implémenter les concepts qui ont été développés dans les chapitres précédents. Afin d'évaluer cet environnement, ainsi que nos propositions, nous avons réalisé des expérimentations que nous allons décrire au chapitre suivant.

²⁹ Un « Wand » est un dispositif de pointage isotonique ayant la forme d'une télécommande, comportant un capteur 3D, et sur lequel se trouvent des boutons permettant de déclencher des événements dans l'environnement virtuel.

Expérimentations

8.1. Introduction

Nous avons présenté au cours de ce mémoire un modèle de l'annotation 3D, ainsi qu'une proposition pour indexer ces annotations selon les concepts d'un modèle de connaissances. Nous avons mis en place un environnement prototype mettant en œuvre cette approche.

Les expérimentations que nous présentons dans ce chapitre avaient un double objectif. L'objectif principal était d'évaluer l'impact de l'intégration du modèle de connaissances sur l'exploitation des annotations. Il s'agissait également d'évaluer l'utilisabilité de notre environnement.

La mise en place d'une expérimentation sur un processus tel que l'exploitation des annotations dans l'environnement 3D est une tâche complexe, tout d'abord parce que cette activité est influencée par de nombreux facteurs extérieurs, tels que les compétences de l'utilisateur, le type de tâche qu'il a à réaliser, ou encore des problèmes d'ordre technique. Nous avons donc pris le parti de nous centrer sur un aspect particulier de la manipulation du produit annoté : la lecture.

Nous décrirons dans un premier temps les motivations et objectifs de cette expérimentation, nous y expliquerons en particulier pourquoi nous avons fait le choix de nous concentrer sur l'activité de lecture du modèle annoté. Nous présenterons ensuite de manière détaillée les conditions de l'expérimentation, ainsi que le protocole expérimental utilisé. Les résultats, seront, quant à eux, présentés sous deux angles : d'une part les résultats concernant l'influence de l'utilisation du modèle de connaissances, et d'autre part les problèmes d'utilisabilité détectés dans l'environnement Matrics, ainsi que des propositions pour résoudre ces derniers. Nous proposerons enfin des perspectives pour des expériences complémentaires.

8.2. Objectifs

Comme nous l'avons dit dans le paragraphe précédent, l'objectif principal de cette expérimentation est d'étudier l'intérêt de l'intégration d'un modèle de connaissances dans l'environnement virtuel. Pour ceci, nous avons décidé de nous concentrer sur la phase de lecture et d'appropriation du produit annoté, c'est-à-dire la phase où l'utilisateur découvre le produit et

doit comprendre les informations qui lui sont associées. Les raisons du choix de cette activité sont les suivantes :

- Tout d'abord, la lecture des annotations sur le produit est une opération très courante, et ceci quelque soit l'utilisation que l'on fait de l'environnement Matrics. Il est donc raisonnable de penser que, si l'on trouve des bénéfices d'un point de vue de la lecture et de l'appropriation du produit, il y a de fortes chances pour que ces bénéfices se répercutent sur l'ensemble des situations « réelles » d'utilisation de l'environnement.
- Ensuite, la tâche de lecture du produit annoté correspond à une activité élémentaire de l'utilisation du produit (en opposition avec, par exemple un projet de conception complet), qui est relativement peu influencée par les autres tâches ou des facteurs extérieurs (en comparaison, la tâche d'écriture sur un produit déjà annoté demande de lire ce produit. Ainsi, le résultat de la tâche d'écriture dépendra du déroulement de la tâche de lecture).
- Enfin, d'un point de vue pratique, la phase de lecture et d'appropriation du produit est la plus simple à tester : les sujets n'ont, par définition, pas besoin de connaître a priori le produit pour participer à l'expérimentation.

Cette expérimentation part donc d'une situation où les utilisateurs découvrent le produit annoté, et où ils ont à réaliser un certain nombre de tâches concernant la lecture et la compréhension de ce produit.

A partir de la question globale de l'influence de l'utilisation du modèle de connaissances dans l'environnement Matrics sur l'activité de lecture, nous avons décliné plusieurs sous-questions :

- L'utilisation du modèle de connaissances permet-elle de **retrouver** plus facilement **une information** particulière sur le produit ?
- L'utilisation du modèle de connaissances permet-elle de **synthétiser** plus facilement **un ensemble d'annotations** ?
- **La compréhension générale** du produit annoté est-elle facilitée par l'utilisation du modèle de connaissances ?
- Les utilisateurs ont-ils moins tendance à **passer à côté d'annotations** pertinentes pour la tâche qu'ils ont à réaliser lorsqu'ils disposent d'un modèle de connaissances intégré ?
- Inversement, l'utilisation du modèle de connaissances permet-elle de consulter **moins d'annotations inutiles** ?

- Est-il plus facile de comprendre **la relation** qui existe **entre deux annotations** lorsque l'on intègre le modèle de connaissances à l'environnement ?

Nous ajoutons d'autre part une question d'ordre exploratoire à celle posée ci-dessus :

- Les utilisateurs ont-ils une **méthode de lecture** du produit annoté différente lorsque l'on ajoute un modèle de connaissances ?

8.3. Protocole expérimental

8.3.1. Conditions de réalisation

Utilisateurs :

Les utilisateurs qui ont participé à l'expérimentation étaient des étudiants de l'UTC, faisant partie soit de la branche Génie Mécanique, soit de la branche Génie des Systèmes Mécaniques, ayant une expérience scolaire et/ou professionnelle en conception et partageant un profil de connaissances relativement homogène dans les domaines concernés. Ces utilisateurs, au nombre de 15 ont été séparés en deux groupes : le groupe K (11 étudiants) et le groupe \neg K (« non-K », 4 étudiants). Comme les noms le suggèrent, le groupe K est celui qui disposera du modèle de connaissances (K pour Knowledge), et le groupe \neg K est celui qui ne dispose pas du modèle de connaissances. La différence de taille entre les deux groupes s'explique par une volonté de disposer de suffisamment de données sur l'utilisation du modèle de connaissances.

Le nombre d'étudiants ayant participé à cette expérimentation est assez faible, et les données que nous obtiendrons de cette expérimentation n'auront pas de valeur statistique. Nous aurons cependant une indication globale sur la différence entre les deux groupes.

Dispositif logiciel et matériel :

Les utilisateurs avaient à disposition un PC portable sur lequel était installé l'ensemble des composants de l'environnement Matrics. Les utilisateurs du groupe K disposaient de la version complète de l'environnement Matrics, alors que les utilisateurs du groupe \neg K disposaient d'une version dépourvue des fonctions d'accès au modèle de connaissances : liste des concepts liés dans l'éditeur d'annotation, liste des concepts liés au produit, concept browser ...



Groupe K



Groupe ¬K

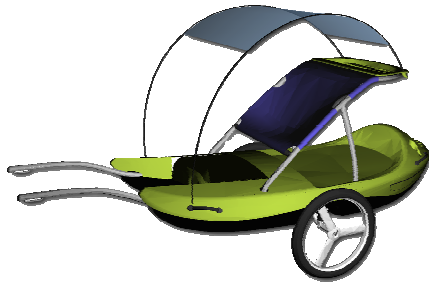
Figure 82 : l'éditeur d'annotation pour les utilisateurs du groupe K (à gauche) et ¬K (à droite), on note la disparition des outils de gestion des concepts liés à droite de l'écran.

D'un point de vue de la configuration matérielle, les utilisateurs travaillaient avec l'environnement Matrics dans une configuration de type « PC de bureau – bi-monitoring ».

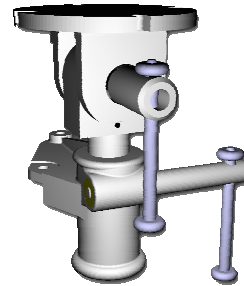
Produits annotés :

Les projets de produits annotés dont disposaient les utilisateurs étaient au nombre de trois :

- ATTELAGE : Un projet de création d'attelage à destination du grand public, annoté avec la méthode ADEX [Guénand & Dandault 04].
- ATTELAGE+ : Ce même projet de création d'attelage, mais sur lequel ont été rajoutées des annotations. Nous souhaitons tester avec ce projet l'influence d'un changement du nombre d'annotations sur l'activité de lecture du produit annoté.
- EXOTIQUE : sur ce projet, le produit annoté est un support pour circuit imprimé. Le produit a été choisi tel que l'utilisateur, à première vue, ne puisse pas comprendre à quoi sert l'objet (voir la Figure 83 ci-dessous). Sur ce modèle, des annotations expliquant les diverses fonctionnalités de l'objet, et d'autres annotations portent sur les aspects divers du produit (production, choix des matériaux ...). Ce produit a été rajouté pour tester des conditions dans lesquelles l'utilité de l'objet annoté n'est pas évidente, et donc où l'utilisateur devra se baser uniquement sur les annotations pour comprendre le produit.



ATTELAGE
ATTELAGE+



EXOTIQUE

Figure 83 : les deux produits utilisés pour les expérimentations.

Pour chaque projet, les annotations sont liées aux concepts auxquels elles font référence dans l'ontologie Matrics. Les utilisateurs n'ont jamais vu les annotations ni les produits en question avant l'expérimentation.

Déroulement temporel de l'expérimentation :

L'expérimentation se déroule globalement en trois étapes : une phase de découverte de l'environnement Matrics, les exercices, et une phase de réponse à un questionnaire.

Dans la phase de découverte, les observateurs remettent aux utilisateurs une documentation présentant l'environnement Matrics et la manière de l'utiliser. Les utilisateurs disposent du temps qu'ils souhaitent pour lire ce document.

Une fois cette phase terminée, les observateurs donnent aux utilisateurs la feuille d'exercices à réaliser (cette feuille se trouve en annexe 2). Les utilisateurs s'installent au poste de travail, et commencent les exercices. Les exercices impliquent pour la plus grande part des activités de lecture du produit annoté, et de recherche d'informations pertinentes. Pour chaque réponse donnée, les utilisateurs précisent le degré de certitude qu'ils ont pour cette réponse³⁰.

Une fois les exercices terminés, les utilisateurs répondent alors, sans accès au poste de travail, à un questionnaire sur leurs impressions générales sur l'environnement Matrics.

³⁰ La certitude pour la réponse est donnée par un système de croix :

- '+' : peu sûr
- '++' : assez sûr
- '+++': certain

Tâches à réaliser :

Les tâches demandées aux utilisateurs sont les suivantes (la liste suivante est extraite et adaptée de la feuille d'exercices à réaliser, l'intitulé exact des questions est disponible en annexe 2) :

1. Montrer l'annotation mettant en avant le fait que l'attelage doit être perçu comme fiable.
2. Dresser la liste de tous les matériaux utilisés pour la réalisation de l'attelage.
3. Expliquer le choix des couleurs sur ce produit.
4. Trouver toutes les annotations qui parlent des poignées de l'attelage.
5. Expliquer comment sont pris en compte les aspects de sécurité du passager.
6. Décrire la méthode ADEX.
7. Expliciter le lien entre les annotations « Référence à la nature », « Mythique de l'objet » et « Rapport à l'historique des objets ».
8. Créer une annotation (placement + titre + texte + image) et la relier de manière pertinente au modèle de connaissances.
9. Trouver des arguments qui font que cet objet est sympathique et abordable.
10. Expliquer de manière simple et précise l'utilisation de l'objet modélisé.
11. Rechercher l'annotation qui définit les dimensions globales du produit.
12. Lister toutes les annotations relatives au confort.

Aide de la part des observateurs :

Les observateurs aident les étudiants en leur présentant Matrics en début d'expérimentation, en répondant aux questions des utilisateurs sur cet environnement au cours de l'expérimentation, et en leur rappelant comment accéder à certaines fonctions. D'autre part, ils interviennent au cours de l'expérimentation pour changer le produit annoté dans l'environnement Matrics.

Aucune aide, en revanche, n'est fournie pour répondre directement aux problèmes posés dans le questionnaire.



Figure 84 : photo prise au cours d'une expérimentation. L'utilisateur (à l'arrière plan) manipule Matrics en configuration bi-monitoring. L'observateur (au premier plan) note le comportement et les remarques de l'utilisateur.

8.3.2. Collecte des résultats

Les éléments sur lesquels nous nous sommes basés pour la collecte des résultats sont de trois ordres : des mesures quantitatives, les traces laissées par les utilisateurs, et des observations directes.

- Les mesures quantitatives qui concernent principalement le temps nécessaire pour réaliser la tâche, le nombre de clics effectués et le rapport du temps passé entre le Deck 2D et l'environnement 3D.
- Les traces laissées par les utilisateurs sont :
 - Les réponses données par les utilisateurs aux exercices. Pour ces observables, on note le fait qu'une réponse soit juste, complète (i.e. que certains éléments de réponse n'aient pas été oubliés), et, pour les réponses demandant une argumentation, la qualité de l'argumentation.
 - Les réponses des utilisateurs au questionnaire, qui donnent une idée de la perception qu'ils ont de l'environnement Matrics.
 - La trace informatique de l'utilisation du logiciel. Cette trace informatique comprend le parcours qu'a effectué l'utilisateur dans le Deck 2D, les mots-clés qu'il a saisi pour ses recherches dans le modèle de connaissances, ainsi que les annotations qu'il a consultées.

- Nous avons aussi effectué une observation directe des étudiants au cours de la tâche. Cette observation est exploratoire, dans le sens où nous avons noté tous les éléments nous paraissant pertinents. Nous avons cependant plus particulièrement porté notre attention sur :
 - La méthode utilisée pour résoudre le problème : utilisation du modèle de connaissances, navigation autour du modèle 3D, etc.
 - Les problèmes que pouvaient rencontrer les utilisateurs dans la réalisation des tâches qui leur étaient demandées.

8.4. Résultats

8.4.1. Indicateurs généraux

La première série de résultats que nous avons obtenus concerne le déroulement général de l'expérimentation, qui permet de déterminer les grandes tendances entre les deux groupes :

- **Temps nécessaire pour réaliser les tâches demandées** : bien que les utilisateurs avec le modèle de connaissances aient été légèrement plus lents, on ne peut pas noter de différence majeure entre les deux groupes. Ceci est probablement dû au fait que, bien que l'utilisation du modèle de connaissances facilite la sélection des annotations, son utilisation (en particulier le fait d'avoir à trouver le concept pertinent) prend à son tour du temps. Nous avons remarqué d'autre part que les utilisateurs gagnaient en vitesse d'exécution au fur et à mesure qu'ils avançaient dans l'expérimentation (cette donnée est difficile à quantifier, les questions étant de complexité variable). Ceci laisse à penser qu'il y a un processus d'apprentissage de l'environnement.

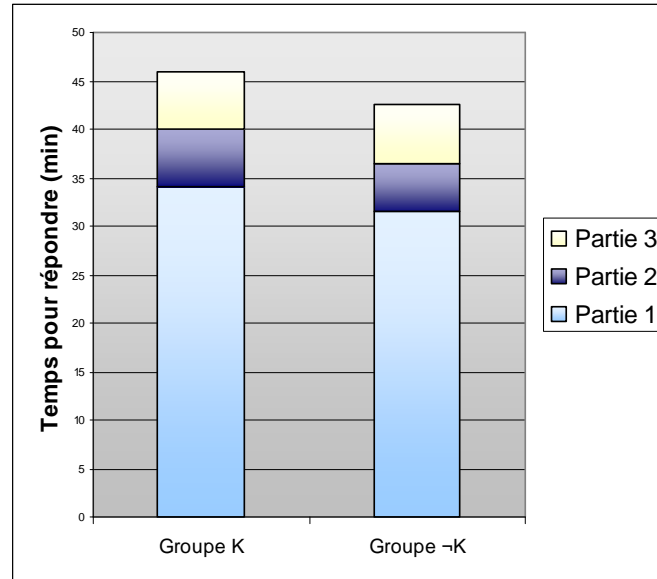


Figure 85 : temps total pour répondre aux questions pour chaque groupe (moyenne par utilisateur)

- **Réponses aux exercices** : globalement, on remarque que les utilisateurs répondent plus souvent correctement en utilisant l'ontologie (69% de réponses correctes avec l'ontologie contre 27% sans l'ontologie). Les utilisateurs du groupe $\neg K$ ont en particulier un nombre de réponses incomplètes nettement plus élevé (37% contre 10% pour le groupe K). Les différences sont moins marquées, bien que toujours en faveur du groupe K pour les réponses fausses (K : 18%, $\neg K$: 25%) et les questions sans réponses (K : 3%, $\neg K$: 7.5%).

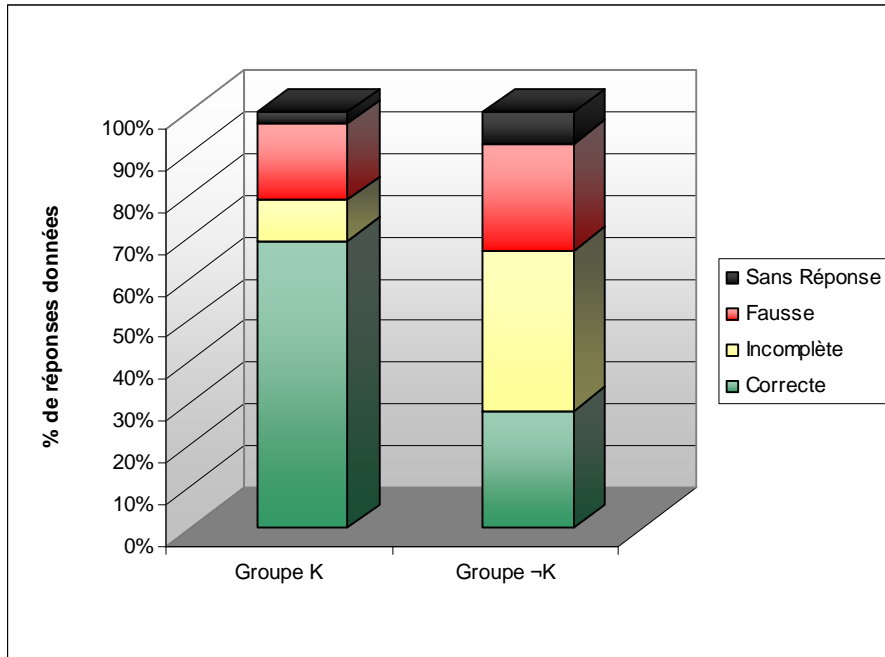


Figure 86 : résultats globaux concernant la qualité des réponses données.

- **Degré de certitude des réponses données :** Les utilisateurs ayant utilisé le modèle de connaissances étaient plus souvent sûrs des réponses qu'ils ont données aux exercices : 62% de réponses '+++' (fort degré de certitude) pour les utilisateurs du groupe K contre 35% pour les utilisateurs du groupe -K. De plus, l'observation directe (en particulier les remarques orales des utilisateurs) ont permis de confirmer que les utilisateurs du groupe K avaient généralement plus de certitude dans les résultats qu'ils donnaient.

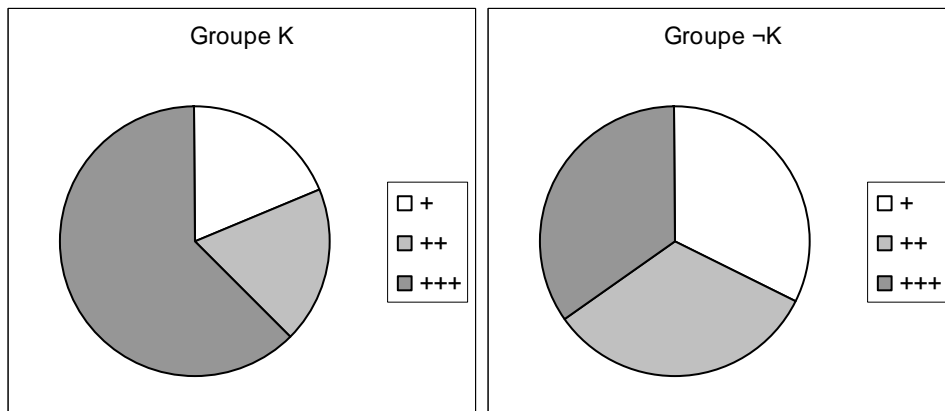


Figure 87 : degré de certitude aux réponses données aux exercices.

- **Nombre d'annotations consultées avant de donner la réponse** : si l'on regarde l'expérimentation dans son ensemble, on ne remarque pas de différence notable entre les deux groupes (55.4 annotations consultées en moyenne pour le groupe $\neg K$ contre 54.2 pour le groupe K). Si l'on prend les parties séparément les unes des autres on remarque cependant qu'un léger écart a existé entre les deux groupes sur le troisième projet. On peut supposer que cela est dû au fait que le nombre d'annotations est plus important sur le projet ATTELAGE+ utilisé dans le troisième projet (l'une des raisons pour lesquelles nous avons intégré l'ontologie à Matrics étant justement pour gérer les projets avec un grand nombre d'annotations).

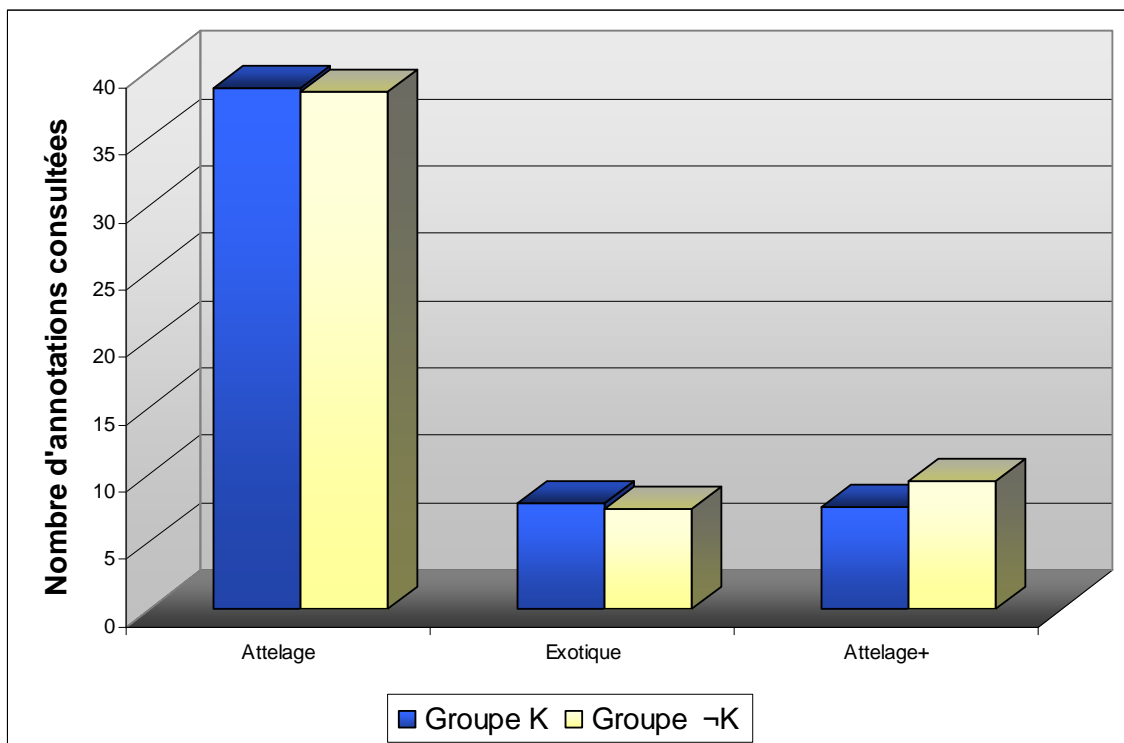


Figure 88 : nombre d'annotations consultées avant de donner la réponse.

8.4.2. Evaluation des questions posées

Nous allons dans cette partie, reprendre les questions posées au début de ce chapitre une par une, et voir si les résultats de l'expérimentation permettent d'y répondre. Nous ferons référence aux questions posées dans les exercices et présentées plus haut dans ce chapitre. Ces réponses sont cependant partielles : en effet, le fait nombre de sujets (15 personnes) ne nous permet pas de donner des réponses définitives, et il faut voir les réponses ci-dessous comme des indicateurs.

- **L'utilisation du modèle de connaissances permet-elle de retrouver plus facilement une information particulière sur le produit ?**

Sur les tâches demandant aux utilisateurs de trouver une information précise sur le produit (questions 1 et 11), les utilisateurs du groupe K plus souvent répondu de manière correcte, et avec un niveau de certitude généralement plus élevé. Nous pouvons donc penser que l'utilisation du modèle de connaissances aide à retrouver une information particulière sur le produit annoté.

- **L'intégration du modèle de connaissances permet-elle de synthétiser plus facilement un ensemble d'annotations ?**

Pour les questions 3, 9 et 12, les réponses étaient réparties sur plusieurs annotations, et l'utilisateur devait les consulter pour avoir la réponse complète. Les réponses qui ont été données par les utilisateurs du groupe K ont été généralement de meilleure qualité (par rapport à celles des utilisateurs du groupe \neg K). En particulier, les réponses données étaient plus complètes. Cependant, les utilisateurs du groupe K ont fait, sur la question 3, une confusion entre les données mises sur le produit (les annotations) et l'ontologie. Nous reviendrons en détail sur ce point dans la partie 8.4.6.

- **La compréhension générale du produit annoté est-elle facilitée par l'intégration du modèle de connaissances ?**

Nous ne disposons pas de résultats significatifs pour ce point. La question 10 demande aux utilisateurs de déterminer l'utilité du produit utilisé dans le projet « exotique », mais les résultats à cette question ont été plutôt mitigés, et il serait intéressant d'envisager une autre approche (par exemple par le biais d'entretiens) pour avoir une meilleure idée sur ce point.

- **Les utilisateurs ont-ils moins tendance à passer à côté d'annotations pertinentes pour la tâche qu'ils ont à réaliser lorsqu'ils disposent d'un modèle de connaissances intégré ?**

C'est sur ce point que la différence est la plus nette entre les deux groupes. La plupart des réponses incorrectes données par les utilisateurs du groupe \neg K sont des réponses incomplètes. Notre hypothèse est que cette différence vient de l'approche des utilisateurs du groupe \neg K : ceux-ci se basent sur le titre des annotations pour sélectionner celles qui leur paraissent pertinentes.

- **Inversement, l'intégration du modèle de connaissances permet-elle de consulter moins d'annotations inutiles ?**

Nous ne disposons pas de mesure directe du « nombre d'annotations inutiles consultées ». Par contre, on peut se baser sur le nombre total d'annotations consultées. On remarque alors d'une part qu'il y a peu de différence entre les deux groupes et d'autre part que le nombre

d'annotations consultées est relativement faible (moins de 5 annotations consultées en moyenne par question). Cependant, les réponses des utilisateurs du groupe K étant plus souvent complètes, on peut penser qu'ils ont plus souvent consulté des annotations pertinentes, et par conséquent que le pourcentage d'annotations pertinentes sur le nombre d'annotations consulté total est plus élevé. La différence n'est cependant pas suffisamment importante, ni clairement mesurée pour établir cette affirmation de manière franche.

- **Les utilisateurs ont-ils une méthode de lecture du produit annoté différente lorsque l'on ajoute un modèle de connaissances ?**

Cette question est traitée en détail au paragraphe 8.4.3.

- **Est-il plus facile de comprendre la relation qui existe entre deux annotations lorsque l'on intègre le modèle de connaissances à l'environnement ?**

La question 7 demande de faire le lien entre plusieurs annotations sur le produit ATTELAGE³¹. D'un point de vue des résultats bruts, on remarque que les utilisateurs du groupe K ont plus souvent donné la réponse qui était attendue (70% de réponses correctes contre 25% pour le groupe $\neg K$). Cependant, les réponses données par les utilisateurs du groupe $\neg K$, même si elles ne correspondaient pas à ce que nous attendions, présentaient certains aspects intéressants. Les utilisateurs du groupe K ont donné la plupart du temps la réponse à laquelle nous nous attendions. Nous détaillons cet aspect dans la partie 8.4.5.

8.4.3. Approches pour répondre aux questions posées

La plupart des questions posées dans le questionnaire consistaient à trouver sur le modèle annoté une information. Afin de répondre à ce type de question, nous avons observé deux approches radicalement différentes :

- **Approche des utilisateurs du groupe K** : ils ont utilisé tout d'abord la fonction de recherche de concept, puis parcouru l'ontologie à partir d'un concept d'entrée pour trouver celui qui leur paraissait le plus pertinent. Une fois le concept « pertinent » sélectionné, les utilisateurs ont utilisé les fonctions de filtrage de l'annotation pour afficher, puis consulter les annotations pertinentes.
- **Approche des utilisateurs du groupe $\neg K$** : ils ont utilisé, dans la majorité des cas, la liste des annotations disponibles dans le Deck 2D et dans quelques rares cas l'environnement 3D pour trouver un titre d'annotation leur paraissant pertinent, puis ont consulté l'annotation en question. L'opération globale est répétée, jusqu'à ce que la réponse soit considérée par l'utilisateur comme satisfaisante.

³¹ Question 7 : « Les annotations « Référence à la nature », « Mythique de l'objet » et « Rapport à l'historique des objets » sont liées entre elles. Pouvez-vous expliciter ce point commun ? »

Ces deux méthodes induisent des sources d'erreurs différentes :

- Utilisateurs du groupe K : problème pour trouver un concept pertinent.
- Utilisateurs du groupe $\neg K$: problème pour trouver une annotation pertinente en fonction du titre.

L'autre différence que nous avons trouvée se trouve au niveau de l'abandon de la tâche, qui s'est retrouvée presque uniquement chez les utilisateurs du groupe $\neg K$: lorsque ceux-ci ne trouvent pas d'annotation ayant un titre leur semblant pertinent, ils déclarent ne pas pouvoir donner de réponse.

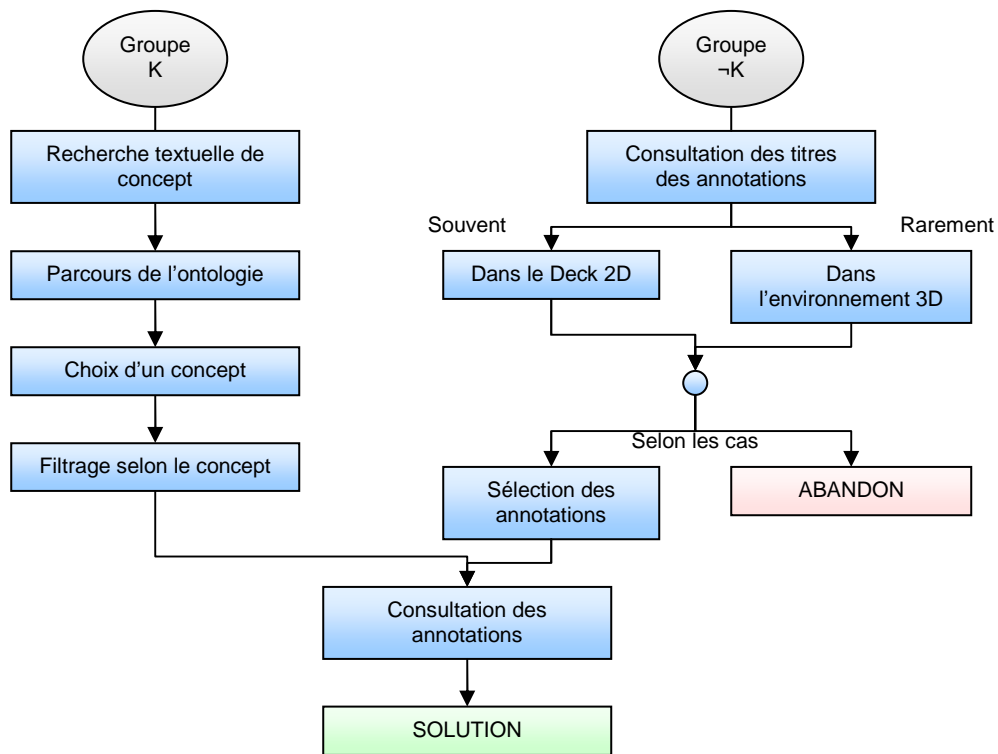


Figure 89 : approches différentes, selon les groupes, pour répondre aux questions posées.

8.4.4. Utilisation d'une interface mixte (environnement 3D/deck 2D)

L'observation directe des utilisateurs, ainsi que les résultats du questionnaire en fin d'expérimentation, nous permettent d'obtenir un certain nombre d'informations sur l'utilisation de l'interface mixte 2D/3D de Matrics.

Tout d'abord, ce type d'interface mixte a été bien accepté par les utilisateurs, la plupart des réponses aux questions sur ce sujet dans le questionnaire étant « utilisation intuitive » ou « utilisation très intuitive ». Certains utilisateurs ont même utilisé l'environnement de manière

complètement transparente sans se rendre compte qu'il y avait deux interfaces dans l'environnement Matrics.

Un problème s'est cependant posé pour les utilisateurs du groupe $\neg K$. Ces utilisateurs disposaient de deux moyens équivalents de sélectionner les annotations : soit par le biais de la liste d'annotations dans le Deck 2D, soit par le biais de l'environnement 3D en sélectionnant les annotations directement sur le produit. Or, nous avons remarqué que les utilisateurs du groupe $\neg K$ avaient tendance à utiliser majoritairement le Deck 2D pour sélectionner les annotations, et à nettement moins utiliser l'environnement 3D.

Les utilisateurs du groupe K, qui disposaient de l'intégration de l'ontologie dans l'environnement 3D (système de filtrage des annotations) utilisaient quant à eux à la fois le Deck 2D (pour se déplacer dans le modèle de connaissances) et l'environnement 3D (pour sélectionner les annotations filtrées).

Cette observation montre que la recherche d'annotations pertinentes dans l'environnement 3D sans le modèle de connaissances est une tâche difficile, ce qui explique la tendance des utilisateurs du groupe $\neg K$ à utiliser le Deck. Cependant, des informations sont disponibles uniquement dans l'environnement 3D (spatialisation de l'annotation), et il est donc nécessaire de s'assurer que les utilisateurs sont en mesure d'utiliser les deux interfaces.

8.4.5. Problème de la « créativité » des utilisateurs.

La question 7 demande de trouver le point commun entre 3 annotations : une parlant de la mythique de l'objet, une concernant les références à la nature, et une autre parlant du rapport à l'historique des objets.

Ces trois annotations parlaient toutes les trois d'un aspect considéré comme commun par l'auteur des annotations : la valeur symbolique de l'objet. Dans l'ontologie, les trois annotations sont d'ailleurs reliées à un concept fils du concept « ADEX – Perception de l'objet comme symbole ».

Nous avons remarqué que les utilisateurs du groupe K ont, pour la plupart répondu à la question par « Perception de l'objet comme symbole », c'est-à-dire en mettant le nom du concept parent. Les utilisateurs du groupe $\neg K$, quant à eux, ont donné des réponses qui, bien que n'étant pas « correctes » dans le sens où elles ne correspondent pas à ce que l'on attendait, faisaient preuve de bon sens et reflétaient effectivement un lien entre les trois annotations, mais n'étant pas prévu à l'origine dans les expériences (par exemple, l'un des étudiants a répondu : « idée de cassure, de ne pas colle à l'usage pour lequel il est destiné », ce qui se retrouvait effectivement dans chacune des annotations).

Ce résultat peut être interprété de la manière suivante : alors que les utilisateurs du groupe K se sont contentés d'aller chercher le résultat dans l'ontologie, les utilisateurs du groupe $\neg K$ ont fait un réel effort pour comprendre le contenu des annotations et essayer de deviner

d'eux-mêmes le lien existant entre ces annotations. Ainsi, la question que pose ce résultat est de savoir si la présence de l'ontologie liée aux annotations a tendance à restreindre le cadre de réflexion des utilisateurs et par conséquent à limiter leur créativité. Cette question est en particulier cruciale dans le cas de l'écriture d'annotation (nous nous sommes placés pour cette expérimentation uniquement dans le cas de la lecture d'annotations), et des tests complémentaires pour vérifier ce point seraient intéressants.

8.4.6. Compréhension du rôle de l'ontologie.

On peut penser que le rôle de l'ontologie est parfois assez mal compris par les utilisateurs. Nous allons illustrer cela à l'aide d'une situation s'étant reproduite à plusieurs reprises au cours des expérimentations.

Cette situation concerne la question 2 : « Vous devez dresser la liste de tous les matériaux utilisés pour la réalisation de ce produit ». Chaque annotation parlant d'un matériau en particulier est liée à un concept de l'ontologie correspondant à ce matériau. Chacun de ces concepts sont des fils du concept générique « matériau » (voir Figure 90).

La démarche attendue pour répondre à cette question consiste à sélectionner le concept « matériau » dans le Concept Browser, à filtrer les annotations liées à ce concept, et à les consulter.

Nous avons cependant remarqué que beaucoup d'utilisateurs ont tout simplement recopié la liste des concepts-fils de « Matériau » dans le Concept Browser, sans utiliser les fonctions de filtrage des annotations. Dans une majorité des cas, les réponses données étaient : « métal, textile, mineral_material, organic_material, composite_material ».

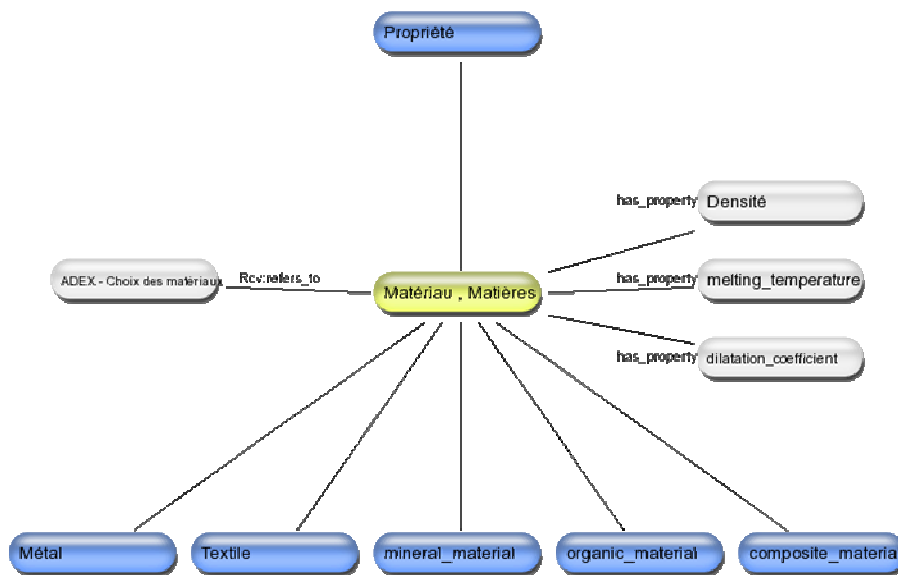


Figure 90 : les concepts liés au concept « Matériau »

Cette constatation montre de manière assez claire que le rôle de l'ontologie n'est pas évident pour un utilisateur non spécialiste. En particulier, on peut penser en voyant ce résultat que les utilisateurs confondent l'ontologie avec le contenu des annotations, en d'autres termes qu'il supposent que les concepts modélisés dans l'ontologie sont utilisés par les annotations sur le produit.

Trois solutions sont envisageables pour régler ce problème :

- Cacher les concepts non utilisés dans le modèle annoté : cette solution, bien qu'adaptée dans une certaine mesure à la lecture d'annotations, n'est pas adaptée dans le cadre d'une utilisation complète de l'environnement. En effet, les utilisateurs qui créent les annotations doivent avoir accès à tous les concepts.
- Adapter l'interface pour faire comprendre de manière claire qu'un concept n'est pas lié à une annotation, par exemple en grisant les concepts non liés, ou encore en les plaçant à part dans la hiérarchie des concepts. Cependant, la sémantique de ce type de représentation n'est pas immédiate, et par conséquent il est nécessaire de les expliciter d'une manière ou d'une autre.
- La formation : on peut partir du principe que l'environnement *Matrics* est destiné à des personnes qui l'utiliseront de manière régulière, et pour lesquelles par conséquent il peut être intéressant de prendre un peu de temps pour les former à *Matrics* et leur apprendre la distinction entre le modèle de connaissances et les informations liées au produit.

8.5. Suggestions pour l'environnement *Matrics*

Au cours de l'expérimentation, nous avons demandé aux utilisateurs quelles améliorations ils souhaiteraient avoir sur l'environnement *Matrics*. Un grand nombre de suggestions a été fait. Dans cette partie, nous allons présenter celles qui sont revenues le plus souvent et/ou qui nous ont paru présenter un intérêt particulier, en vue d'améliorer l'utilisabilité de l'environnement.

8.5.1. Concernant la présentation de l'ontologie.

L'ontologie est une composante centrale de *Matrics*, et les utilisateurs y accèdent très souvent. Les retours de l'expérimentation indiquent que, actuellement l'ontologie n'est pas assez facilement accessible. En particulier :

- Les utilisateurs souhaiteraient que les concepts de l'ontologie soient affichés en permanence à l'écran : actuellement, il est nécessaire d'utiliser le *Concept Browser* du *Deck 2D* pour visualiser l'ontologie, et celle-ci n'est pas visible sur les autres écrans (éditeur d'annotation, visionneur de projet ...). Les utilisateurs

accèdent très souvent à l'ontologie pour les tâches qu'ils ont à réaliser, et ils se sont plaints d'avoir à quitter la tâche en cours pour visualiser l'ontologie.

- Ils souhaiteraient avoir une vision plus globale de celle-ci. Le Concept Browser présente chaque concept dans un contexte très local : on peut uniquement voir les concepts liés directement au concept courant (le concept parent, les concepts fils, et les concepts liés horizontalement). Les utilisateurs souhaiteraient avoir une vision plus complète de l'ontologie, en particulier pour pouvoir passer rapidement à un concept éloigné du concept courant. L'exemple donné par les étudiants concernant ce qu'ils souhaiteraient avoir est une présentation telle que celle que l'on a avec les répertoires dans l'explorateur de Windows.

Nous proposons, pour régler ces deux problèmes, un système de barre latérale présentant les concepts d'une manière similaire à Protégé. Cette barre latérale peut être cachée et montrée d'un simple clic de souris et permet aussi d'accéder aux principales fonctions du concept (filtrer les annotations liées à ce concept, lier/délier l'annotation courante au concept) depuis n'importe quel endroit de l'interface. La figure ci-dessous montre une maquette de cette barre latérale.

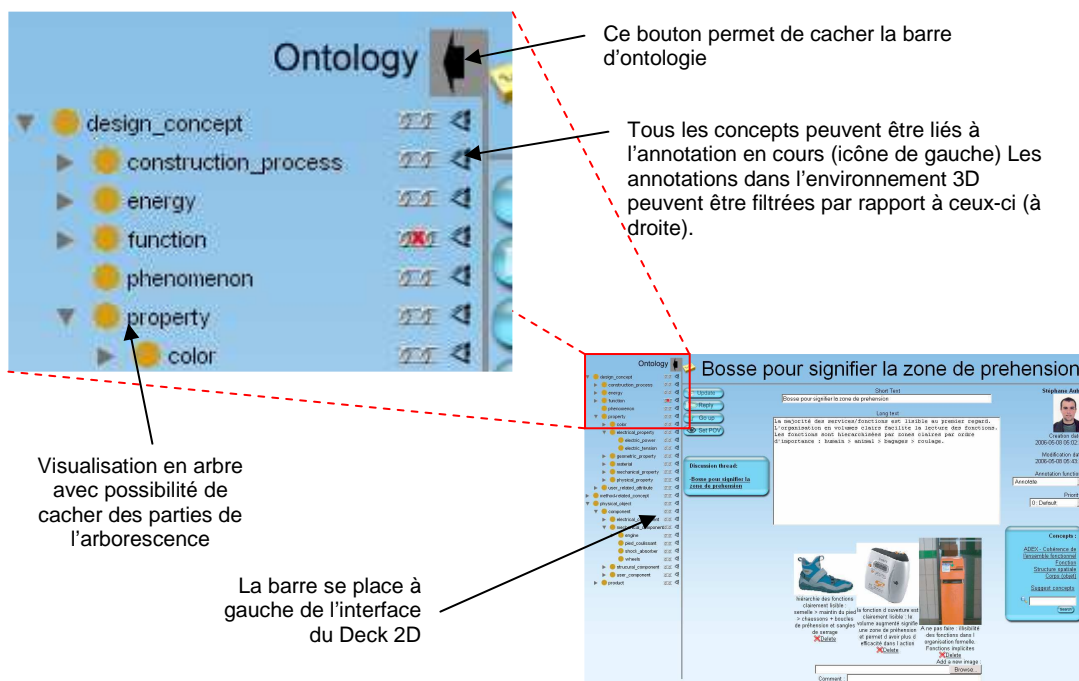


Figure 91 : maquette de la barre latérale de l'ontologie intégrée à l'éditeur d'annotation.

8.5.2. Visualisation des annotations sur le produit.

Le questionnaire proposé aux utilisateurs en fin d'expérimentation montre qu'une grande partie (71% - voir l'annexe 3 pour les détails) de ceux-ci trouvent que les annotations gênent la visualisation du produit. De nombreux utilisateurs ont demandé un moyen de « cacher les annotations » dans l'environnement 3D pour visualiser le produit sans les annotations.

Afin de régler ce problème, la solution la plus simple consiste à mettre une fonction permettant d'activer et de désactiver l'affichage des annotations dans l'environnement. Cette fonction est déclenchée par une action de l'utilisateur dépendant du type d'interface disponible (appui d'une touche du clavier, activation d'un objet de l'environnement virtuel ...).

Il est de même possible de proposer une fonction changeant le degré de transparence de l'ensemble des annotations. Cependant, cette fonction pourrait être interprétée à tort comme étant le résultat d'un filtrage des annotations selon un concept de l'ontologie.

Une dernière solution consisterait à montrer/cacher les annotations en fonction de la position du curseur de la souris (ou du dispositif de pointage 3D approprié – comme par exemple un Wand), un peu à la manière d'une lampe torche qui éclairerait les zones pour lesquelles l'utilisateur souhaiterait faire apparaître les annotations (voir Figure 92). Cette dernière solution présenterait l'avantage de sélectionner les zones d'intérêt sur le produit annoté, mais empêcherait d'avoir une vision globale des annotations sur le produit.

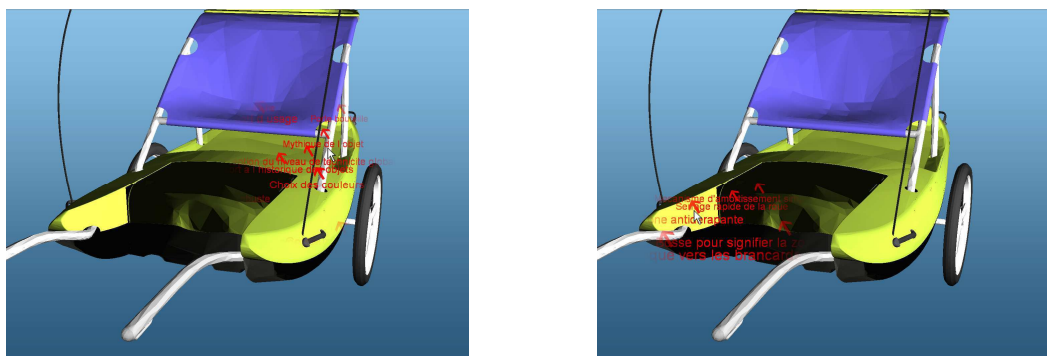


Figure 92 : annotations affichées par pointage (les annotations sont affichées en rouge).

8.5.3. Amélioration de l'interface 2D.

L'environnement Matrics dans l'ensemble est plutôt bien adopté par les utilisateur (79% d'avis positifs), mais l'interface 2D est très majoritairement considérée comme « moyenne ». Les suggestions d'améliorations concernaient les points suivants :

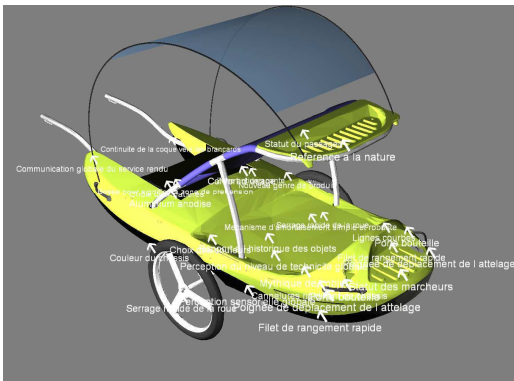
- Rendre l'interface plus claire, et plus lisible.

- Mieux différencier les annotations et les concepts
- Regrouper les fonctions de l'interface

Nous songeons donc à améliorer l'interface du Deck 2D dans le sens de ces propositions.

8.5.4. Problème de cadrage du produit annoté.

Lors de l'exploration du modèle annoté, l'utilisateur change régulièrement son point de vue géométrique : pour obtenir une certaine perspective sur le produit, zoomer sur une annotation particulière, ou encore récupérer le point de vue géométrique d'une annotation. De ce fait, le produit annoté est souvent vu de manière partielle. Ainsi, lors de l'utilisation des fonctions de recherche d'annotations, certaines annotations bien que pertinentes, se retrouvent hors du champ de la caméra virtuelle. Cette situation peut créer une confusion pour l'utilisateur, et l'amener à passer à côté d'annotations pertinentes, ou tout du moins créer un délai dans la recherche de celles-ci.



Etape 1 : l'utilisateur dispose d'une vision d'ensemble sur le produit.



Etape 2 : il décide de visualiser une annotation concernant les roues du produit, et par conséquent zoome sur la partie appropriée.

8.6. Propositions d'expériences complémentaires

L'expérimentation décrite ci-dessus nous a permis de dégager une première série de résultats, tant du point de vue de l'apport du modèle de connaissances sur la lecture du produit annoté que du point de vue de l'utilisabilité de l'environnement Matrics. Il reste cependant un certain nombre de questions qui restent sans réponse et qui pourraient être éclairées par des expériences complémentaires. Nous faisons ci-dessous des propositions pour cela.

8.6.1. Tests sur le cycle de vie complet des annotations.

Comme nous l'avons précisé au début de ce chapitre, nous nous sommes intéressés à la lecture du produit annoté, nous limitant ainsi à une partie du cycle de vie de l'annotation. Or, de nombreux aspects de l'utilisation d'annotations pour le design collaboratif n'ont pas été pris en compte : l'écriture et l'indexation de l'annotation, l'influence sur le processus collaboratif, etc. D'autre part, le phénomène décrit dans la partie 8.4.5 laisse à penser que l'intégration de l'ontologie dans l'environnement influence la démarche des utilisateurs.

Afin d'étudier plus en détail ces aspects, il serait intéressant de faire utiliser l'environnement Matrics dans le cadre d'un projet complet, impliquant plusieurs types d'utilisateurs (ayant des rôles différents dans le projet). Nous regarderons en particulier les aspects suivants :

- **La « créativité » des utilisateurs** : les résultats présentés dans la partie 8.4.5 mettent en avant une ambiguïté sur l'influence de l'intégration de l'ontologie : est-ce que l'ontologie a un apport bénéfique en suggérant aux utilisateurs de se référer à des concepts auxquels ils n'auraient pas forcément pensé ? Inversement, la présence de l'ontologie limiterait-elle la créativité des utilisateurs en leur donnant un cadre sur lequel ils se « reposent » sans essayer d'en sortir ?
- **La quantité d'information pouvant être gérée par les utilisateurs** : l'une des motivations de l'ajout de l'ontologie dans l'environnement Matrics a été de permettre aux utilisateurs de mieux gérer un grand nombre d'informations. L'expérimentation que nous avons réalisée laisse penser que la présence de l'ontologie apporte un bénéfice sur un grand nombre d'annotations pour la lecture du modèle annoté. Nous devons cependant voir si ceci est vrai pour le cycle complet de l'annotation (écriture, gestion et utilisation pour le projet de conception).
- **L'utilisation effective de l'environnement** : pour l'expérimentation que nous avons réalisée, l'utilisation de Matrics était obligatoire pour pouvoir répondre au questionnaire. Dans des situations réelles, l'utilisation du logiciel n'est pas obligatoire. Nous souhaiterions donc savoir si l'intégration de l'ontologie

permettrait aux utilisateurs d'utiliser effectivement un environnement d'annotation 3D.

8.6.2. Affichage des annotations filtrées dans l'environnement 3D

Dans la version actuelle de l'environnement Matrics, il est possible d'utiliser deux visualisations des annotations filtrées : la première basée sur la couche alpha uniquement, et la deuxième basée sur la couche alpha + la couleur. Nous avons remarqué par l'observation directe des utilisateurs qu'ils avaient nettement plus tendance à utiliser la visualisation basée sur la couche alpha + couleur. Cela montre que les différentes visualisations ne sont pas équivalentes comme nous l'avions pressenti dans la partie 6.4.4.2.) et que, dans le cadre des tâches que nous les utilisateurs avaient à réaliser, l'utilisation de la visualisation couleur + couche alpha était plus efficace que l'utilisation de la couche alpha seul.

Il existe cependant, comme nous l'avons vu dans le chapitre consacré à l'exploitation du modèle de connaissances, de nombreuses manières de visualiser les entités du monde 3D, et ces visualisations peuvent être combinées entre elles. Il serait donc intéressant de mettre en place une expérience permettant de les comparer.

D'autre part, il n'est pas prouvé que la détermination de la visualisation la plus adaptée soit indépendante de la situation sur laquelle on travaille. Il faudrait donc proposer plusieurs tâches (par exemple : découverte du modèle annoté, visualisation du modèle selon un point de vue métier spécifique, écriture d'annotation) pour vérifier si la visualisation optimale dépend de la tâche à réaliser.

8.7. Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre une expérimentation sur l'influence de l'utilisation du modèle de connaissances sur la manipulation du produit annoté, et plus particulièrement sur l'activité de lecture de celui-ci. Les résultats que nous avons obtenus sont encourageants : on note que les utilisateurs utilisant le modèle de connaissances donnent plus souvent des réponses justes, et avec un degré de confiance plus élevé.

Cette expérimentation a cependant un certain nombre de limitations, à commencer par le petit nombre (15 personnes) de sujets y ayant participé. Les résultats que nous avons obtenus représentent donc un indicateur, mais ne sauraient en aucun cas avoir une valeur statistique. D'autre part, les personnes ayant participé à l'expérimentation sont des étudiants en conception, et ceux-ci n'ont pas les mêmes connaissances et méthodes d'opération que des utilisateurs professionnels. Il serait donc intéressant de réaliser des expériences avec des designers et ingénieurs professionnels, éventuellement sur des projets complets.

Enfin, nous tenons à souligner que l'objectif de cette expérience reste modeste : le temps nous ayant manqué pour réaliser de plus larges expériences, nous nous sommes concentrés sur

l'activité de lecture, par un utilisateur unique, des annotations sur le modèle. De nombreux autres aspects, tels que la lecture par plusieurs utilisateurs de ces annotations, la communication entre les utilisateurs par le biais des annotations (revue de projet collaborative sur le produit), ou encore l'utilisation de notre environnement sur des systèmes immersifs devraient être évalués.

Bien que l'utilité de l'environnement Matrics ait été mise en évidence, nous avons aussi soulevé avec cette expérimentation plusieurs problèmes d'utilisabilité (navigation dans l'ontologie, organisation de l'interface 2D ...). Il est donc nécessaire de prendre en compte ce résultat et de tester dans les prochaines versions de l'environnement Matrics les propositions faites dans ce chapitre.

Bilan et perspectives

9.1. *Bilan*

Nous avons abordé au cours de cette thèse la question des annotations en environnement virtuel pour la conception collaborative de produit.

Notre première proposition porte sur la création d'un modèle de l'annotation 3D. Bien que plusieurs travaux existent sur l'utilisation d'annotations en environnement 3D [Latch Craig 02], [Jung 02], aucune formalisation de l'annotation 3D n'avait été proposée à notre connaissance avant ce travail. Notre modèle d'annotation se base sur les travaux existants sur les annotations hors du cadre des environnements virtuels et dégage les aspects spécifiques de l'annotation 3D.

L'une des difficultés liées à la manipulation des annotations 3D apparaît lorsque leur nombre augmente. En effet, outre l'augmentation du temps nécessaire pour parcourir l'objet 3D annoté, l'absence d'ordre canonique de lecture d'un objet 3D supprime toute garantie d'exhaustivité pour un parcours donné.

Notre deuxième proposition se situe donc dans l'intégration d'un modèle de connaissances grâce auquel nous indexons les annotations. Ce modèle de connaissances représente le domaine de la conception. Les relations existant entre les concepts de ce modèle permettent en particulier de mettre en relation des entités n'étant pas liées explicitement au même concept.

Nous avons implémenté ces propositions dans un prototype d'environnement virtuel permettant d'ajouter des annotations sur le produit dans l'environnement 3D, et d'indexer les annotations selon une ontologie du domaine.

Nous avons évalué nos propositions par le biais d'une expérimentation. Nous nous sommes plus particulièrement intéressés à l'influence de l'introduction de ce modèle de connaissances sur l'activité de lecture du produit annoté. Les résultats de cette expérimentation indiquent que, bien que l'ajout du modèle de connaissances n'influence pas de manière significative la vitesse d'exécution des tâches de lecture demandées, les utilisateurs répondent plus souvent de manière correcte et avec un degré de confiance plus élevé.

Le travail présenté dans ce mémoire a fait l'objet de publications dans plusieurs conférences internationales (par exemple [Aubry & al. 05a], [Aubry & al. 05b]), ainsi que dans une revue internationale [Aubry 07].

9.2. Apports aux problématiques abordées

9.2.1. Problématique applicative

Lors du déroulement d'un projet de conception collaborative, de nombreuses informations sont échangées sur le produit. Nous avons un double objectif lié à cette activité : d'une part faciliter la communication entre les membres du projet et d'autre part améliorer la capitalisation et la ré-exploitation des échanges réalisés.

Concernant la communication entre les membres du projet, nous voyons que l'utilisation des annotations en environnement virtuel offre deux avantages principaux : de plus grandes possibilités d'expression et l'élimination de certaines incompréhensions.

En effet, les annotations 3D peuvent être inscrites sur un large panel de supports, incluant tous les supports « classiques » (texte, son, image ...) mais aussi des supports spécifiques : les marques 3D, les données à retour sensoriel, et les gestes et les comportements. Ces supports spécifiques permettent de communiquer directement des informations tridimensionnelles, telles que la forme souhaitée d'un objet ou encore les mouvements à réaliser pour effectuer une tâche.

De plus, l'ancre de l'annotation et le point de vue géométrique permettent de limiter les incompréhensions entre les membres du projet. L'ancre de l'annotation 3D permet de définir précisément quelle est la partie du produit concernée par l'annotation. Le point de vue géométrique de l'annotation, quant à lui, indique d'où regarder l'annotation pour l'interpréter correctement.

Concernant la capitalisation des échanges effectués au cours de la collaboration, l'annotation 3D apporte un support permettant de conserver une trace des échanges de manière contextualisée par rapport à l'espace 3D. Ainsi, non seulement les échanges sont conservés, mais aussi la trace des actions des acteurs de la collaboration. Les méta-données de l'annotation, ainsi que les éléments de spatialisation donnent ainsi des indices sur ce qui s'est passé au cours de la session de collaboration.

La ré-exploitation des échanges réalisés par le biais des annotations dans l'environnement virtuel est une tâche complexe : en plus du problème du grand nombre d'annotations pouvant être créées s'ajoute l'absence d'ordre canonique de lecture des annotations posées sur un objet 3D. L'utilisation du modèle de connaissances apporte des éléments de réponse à ce problème en donnant aux utilisateurs la possibilité de ne voir que les annotations qui sont pertinentes par rapport à aspect donné du produit.

9.2.2. Problématique théorique

D'un point de vue théorique, nous nous sommes particulièrement intéressés à deux questions, d'une part l'identification des caractéristiques d'une annotation 3D, et plus spécifiquement de ses spécificités par rapport à une annotation « classique » (sur un document 2D), et d'autre part nous nous sommes intéressés à la question de l'intégration des connaissances dans l'environnement virtuel.

Nous pouvons dire à l'issue de ce mémoire que l'annotation 3D constitue un objet bien identifié, et, même s'il s'agit d'un cas particulier de l'annotation, il comporte néanmoins des spécificités qu'il faut prendre en compte lors de la conception d'un environnement virtuel supportant l'activité d'annotation. Le modèle d'annotation que nous proposons tient compte de ces spécificités qui sont liées d'une part au fait que l'annotation est affichée dans l'environnement 3D (existence de supports spécifiques, problématique de l'affichage des supports 2D dans l'environnement 3D), et d'autre part au fait que l'objet annoté est tridimensionnel (ancrage, point de vue géométrique).

L'annotation 3D est d'autre part une métaphore qui nous a permis d'étudier la question de l'intégration des connaissances en environnement virtuel. Cette question peut se décliner en trois points : la forme que prendront ces connaissances dans l'environnement virtuel, la manière dont elles seront spatialisées, et la manière d'interagir avec elles. Nous avons proposé dans ce mémoire une première approche à ces questions, basée sur une représentation de l'annotation simultanément dans l'environnement 3D et sur une interface 2D, et sur des méthodes d'interactions simples.

9.3. *Perspectives*

Plusieurs pistes de recherches peuvent être explorées afin d'approfondir le travail présenté dans ce mémoire. Nous avons plus particulièrement identifié trois points qui nous paraissent particulièrement intéressants : l'évaluation de différents supports de l'annotation, l'intégration des supports 2D dans l'environnement virtuel, et la gestion de l'ontologie.

Concernant les supports de l'annotation : nous avons mentionné dans le chapitre 5 l'existence de supports « spécifiques » : les marques 3D, les données à retour sensoriel, l'utilisation de gestes et de comportements. Or, l'environnement que nous avons développé supporte actuellement uniquement les annotations textuelles, sonores, et sous la forme d'images. Nous envisageons donc d'implémenter et d'évaluer les supports spécifiques de l'annotation. Plus particulièrement, le contenu de l'annotation, et par conséquent les informations qui peuvent être échangées, dépendent du support qui est utilisé. Nous souhaitons donc explorer les nouvelles possibilités de communication offertes par ces supports. De plus, ces nouveaux types de supports impliquent aussi de réfléchir aux moyens d'interaction nécessaires pour les mettre en œuvre, tant d'un point de vue des interfaces à utiliser que des métaphores d'interaction à employer.

Concernant l'intégration des supports 2D dans l'environnement virtuel :

l'environnement actuel propose une interaction basée sur deux interfaces (2D et 3D). L'essentiel de l'affichage de l'annotation se fait grâce à l'interface 2D. Cependant, l'introduction des supports 3D que nous avons cités plus haut (marques 3D, données à retour sensoriel, utilisation de gestes, comportements) ouvre la porte à la création d'annotations combinant plusieurs supports. Dans cette perspective, il serait intéressant d'être capable d'afficher et de manipuler les contenus 2D (textes, images ...) et les contenus 3D (marques 3D, gestes ...) au travers d'une même métaphore dans l'environnement 3D. Les travaux sur le K-Cube [Olive & al. 05] présentent un concept de métaphore permettant d'intégrer les contenus 2D des annotations dans un « cube de connaissances » accessible depuis l'environnement virtuel. Cette métaphore est cependant limitée à l'utilisation de supports 2D. Nous envisageons donc d'imaginer de nouveaux modes d'interaction et d'intégration des supports 2D et 3D de l'annotation dans l'environnement virtuel. Nous pouvons en particulier nous inspirer des travaux de Bowman [Bowman & al. 03] sur l'intégration de données abstraites en environnement virtuel.

Concernant la gestion de l'ontologie : la conception de produits est un domaine très large, et le développement d'une ontologie générique représentant complètement ce domaine pour tout type de produit serait une tâche très difficile. Même en considérant qu'une telle ontologie puisse être disponible, la modélisation de la structure physique du produit est spécifique à celui-ci, et l'évolution constante des connaissances du domaine (par exemple avec l'arrivée de nouvelles technologies) rendrait la maintenance de cette ontologie trop lourde. En outre, l'activité même de conception implique la création de nouvelles connaissances au fur et à mesure du projet, et de nouveaux concepts peuvent apparaître au cours d'un projet de conception. Nous avons utilisé pour nos travaux une ontologie restreinte aux concepts mis en jeu dans les projets que nous avons étudiés, mais nous avons conscience que la mise en place d'une gestion de l'ontologie permettant de s'adapter à divers types de projets est nécessaire.

Lortal propose, à partir d'un corpus de documents de référence constitué au début du projet, l'utilisation de techniques de traitement automatique de la langue naturelle pour constituer une ontologie semi-formelle servant de base à la collaboration [Lortal & al. 06b]. Cette ontologie, qui est utilisée à des fins d'indexation des annotations, peut alors être augmentée par l'intervention des acteurs du projet au fur et à mesure de celui-ci. L'intégration de ce type d'approche dans l'environnement Matrics permettrait de constituer des ontologies correspondant aux besoins de chaque produit, et pouvant être adaptées au cours de la collaboration.

9.4. Conclusion

Nous avons apporté avec cette thèse les premiers éléments dans la construction d'une approche mettant en relation deux domaines auparavant distincts : la réalité virtuelle d'une part et la gestion des connaissances d'autre part.

L'avantage que l'on peut tirer de cette mise en relation est double : dans le cadre de l'ingénierie des connaissances, la réalité virtuelle apporte de nouveaux modes de visualisation et d'interaction, rendant par là plus accessibles les connaissances. L'utilisateur a ainsi à sa disposition un environnement incluant visualisation géométrique, activité cognitive et collaboration. Dans le cadre de la réalité virtuelle, l'ingénierie des connaissances enrichit le monde virtuel en permettant de capitaliser l'activité des utilisateurs, à la fois dans le temps et dans l'espace. Des connaissances peuvent alors être inscrites et relues sur la maquette virtuelle. Permettre la manipulation des connaissances dans l'environnement virtuel donne un outil puissant de collaboration qui pourrait être appliqué dans des domaines tels que l'éducation, la médecine, ou encore l'architecture.

Les travaux présentés dans ce mémoire constituent un premier pas vers une approche transversale entre l'ingénierie des connaissances et la réalité virtuelle. Nous espérons qu'ils ouvriront la voie à de nouveaux travaux à la croisée de ces deux domaines.

Bibliographie

- [APTE 06] Site web de APTE S.A., "Introduction à la méthode APTE", http://www.methode-apte.com/methode_introduction.htm.
- [Arpírez & al. 98] J.Arpiírez, A. Gómez-Pérez, A. Lozano, S.H. Pinto, 1998. "(ONTO)² Agent: an Ontology-based WWW broker to Select Ontologies", Workshop on Applications of Ontologies and Problems Solving Methods. ECAI'98. Brighton, 1998.
- [Aubry & al. 05a] Stéphane Aubry, Indira Thouvenin, Dominique Lenne, Shigeki Okawa, "Knowledge Enhanced Annotations in Virtual reality Environments", in Virtual Concept 2005, Biarritz, 9 – 10 novembre 2005.
- [Aubry & al. 05b] Stéphane Aubry, Dominique Lenne, Indira Thouvenin, Anne Guénand, "VR Annotations for Collaborative Design", in HCII2005, Las Vegas, 22 – 27 juillet 2005, CD-ROM Proceedings, ISBN 0-8058-5807-5.
- [Aubry & al. 07] Stéphane Aubry, Indira Thouvenin, Dominique Lenne et Shigeki Okawa, "Knowledge integration for annotating in virtual environments", International Journal of Product Development, Vol. 5, N°6 (2007), pp. 533 - 546.
- [Azouaou & al. 03] Faiçal Azouaou, Cyrille Desmoulins, Dominique Mille, "Formalismes pour une mémoire de formation à base d'annotations : articuler sémantique implicite et explicite", EIAH 2003, Strasbourg, France, pp. 43 – 54.
- [Azouaou & Desmoulins 05] Faiçal Azouaou, Cyrille Desmoulins, "Semantic annotation for the teacher: models for a computerized memory tool", International Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for E-Learning, 18 juillet 2005, Amsterdam, Pays-Bas.
- [Bachelet 06] Rémi Bachelet, "Outils Projets : Analyse Fonctionnelle", http://rb.ec-lille.fr/l/Projets/Projet_Analyse_fonctionnelle.pdf
- [Bachimont 00] Bruno Bachimont, "Engagement Sémantique et Engagement Ontologie : Conception et Réalisation d'Ontologies en Ingénierie des Connaissances", in Z.M. Charlet J., Kassel G., Bourgault D., (Ed.), Ingénierie des

Connaissances. Evolutions Récentes et Nouveau Défis, Paris : Eyrolles, pp. 305-323.

- [Bachimont 04]** Bruno Bachimont, "Arts et sciences du numérique : Ingénierie des connaissances et critique de la raison computationnelle", Mémoire d'habilitation à diriger des recherches, UTC, soutenue le 12 Janvier 2004.
- [Baldonado & al. 00]** M. Baldonado, S. Cousins, J. Gwizdka, A. Paepcke, "Notable : At The Intersection of Annotations and Handheld Technologies", Proceedings of HUC Conference, Bristol, LNCS 1927, Springer Verlag, Berlin, 2000, pp. 100-113.
- [Bernaras & al. 96]** A. Bernaras, I. Laresgoiti, J. Corera, "Building and reusing ontologies for electrical network applications". In Proceedings of the 12th European Conference on Artificial Intelligence, pp. 298-302, Budapest, Hungary, 1996.
- [Benford & al. 95]** Steve Benford, John Bowers, Lennart E. Fahlén, Chris Greenhalgh, Dave Snowdown, "User Embodiment in Collaborative Virtual Environments", Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems, 7 – 11 mai 1995, Denver, Colorado, pp. 242-249.
- [Bertin 67]** Jacques Bertin, "La Sémiologie Graphique", Mouton Gauthier Villard, Paris 1967.
- [Biocca 97]** Franck Biocca, "The Cyborg's Dilemma: Progressive Embodiment in Virtual Environments". Journal of Computer-Mediated Communication 1997; 3.
- [Blanco & al. 01]** Eric Blanco, Jean-François Boujut, Gabriel Ris, Fouad Bennis, Jean-François Petiot, Franck-Olivier Martin, Samuel Deniaud, Olivier Garro, Jean-Pierre Micaëlli, "GRACC, Groupe de Recherche sur l'Activité de Conception Coopérative : Une expérience de conception collaborative à distance", rapport final, 28 mars 2001.
- [Borgo & al. 96]** Stefano Borgo, Nicola Guarino, Claudio Masolo, "Stratified Ontologies: the Case of Physical Objects", Proceedings of the Workshop on Ontological Engineering, held in conjunction with ECAI96, Budapest, Hongrie, 1996, pp. 5-15..
- [Borst 97]** Willem Nico Borst, "Construction of Engineering Ontologies", Mémoire de Thèse, Center for Telematica and Information Technology, University of Twente, NL, soutenue le 5 septembre 1997.

- [Bouchard & Tollenaere 97]** Hugues Bouchard, Michel Tollenaere, "Les SGDT : concepts fondamentaux et approche didactique", 2nd Congrès Franco Québécois de Génie Industriel, Albi, 3 - 5 septembre 1997.
- [Boujut 03a]** Jean-François Boujut, "User-defined annotations: artefacts for co-ordination and shared understanding in design teams", *Journal of Engineering Design*, vol 14, n°4, décembre 2003, pp. 409-419.
- [Boujut & Blanco 03b]** Jean-François Boujut, Eric Blanco, "Intermediary Objects as a Means to Foster Co-operation in Engineering Design", *Computer Supported Cooperative Work (CSCW)*, Volume 12, Numéro 2, juin 2003, pp. 205 – 219.
- [Boujut & Dugdale 06]** Jean-François Boujut, Julie Dugdale, "Design of a 3D annotation tool for supporting evaluation activities in engineering design", *proceedings of Cooperative Systems Design, COOP'06*, pp. 1 – 8.
- [Bourdot & al. 06]** Patrick Bourdot, Jean-Pierre Jessel et Indira Thouvenin, "Industries Manufacturières", in Philippe Fuchs ed., *Le Traité de la Réalité Virtuelle*, troisième édition, Volume 4, Pages 175-200.
- [Bowman & al. 01]** Doug A. Bowman, Vinh Q. Ly, Joshua M. Campbell, "Pinch Keyboard: Natural Text Input for Immersive Virtual Environments", Virginia Tech Dept. of Computer Science Technical Report TR-01-15.
- [Bowman & al. 03]** Doug A. Bowman, Chris North, Jian Chen, Nicholas F. Polys, Pardha S. Pyla, Umur Yilmaz, "Information-Rich Virtual Environments: Theory, Tools, and Research Agenda", in *Proceedings of the ACM symposium on virtual reality software and technology, VRST'03*, 1-3 octobre 2003, Osaka, Japon, pp. 81 – 90.
- [Bringay & al. 03]** Sandra Bringay, Catherine Barry, Gilles Kassel, "Information du dossier patient : Veille sur la notion d'annotation", *Projet HTSC, Rapport Interne*, 78 pages.
- [Bringay 06]** Sandra Bringay, "Les annotations pour supporter la collaboration dans le dossier patient électronique", *Mémoire de thèse, Université de Picardie Jules Verne – Amiens*, soutenue le 4 septembre 2006, 246 p.
- [Broll 98]** Wolfgang Broll, "SmallTool - a toolkit for realizing shared virtual environments on the Internet", *Distributed Systems Engineering Journal, Special Issue on Distributed Virtual Environments*, Vol. 5 (1998). The British Computer Society, The Institution of Electrical Engineers and IOP Publishing Ltd, 1998, pp. 118 – 128.

- [BSCW 06]** BSCW Home Page: <http://bscw.fit.fraunhofer.de/>
- [Capin & al 97]** Tolga K. Capin, Igor Sunday Pandzic, Hansrudi Noser, Nadia Magnenat Thalmann, Daniel Thalmann, "Virtual Human Representation and Communication in VLNET Networked Virtual Environment", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol 17, n° 2, pp. 42 – 53.
- [Carlsson & Hagsand 93]** Christer Carlsson and Olof Hagsand, "DIVE - A Platform for Multi-User Virtual Environments", Computers and Graphics 17(6), 1993, p. 663 – 669.
- [Caussanel & al. 02]** Jean Caussanel, Jean-Pierre Cahier, Manuel Zacklad, Jean Charlet, "Les Topic Maps sont-ils un bon candidat pour l'ingénierie du Web Sémantique ?", Conférence Ingénierie des Connaissances, IC2002, Rouen, Mai 2002, pages 3 – 14.
- [Chen & al. 04]** Jian Chen, Pardha S. Pyla, Doug A. Bowman, "Testbed Evaluation of Navigation and Text Display Techniques in an Information-Rich Virtual Environment", IEEE Virtual Reality 2004, 27-31 Mars 2004, Chicago, Etats-Unis, pp. 181 – 188.
- [Convard & Bourdot 04]** Thomas Convard, Patrick Bourdot, "History-Based Reactive Objects for Immersive CAD", In Proc. of ACM Solid Modeling 2004 (SM'04). June 2004, Genova, Italy.
- [Convard 05]** Thomas Convard, "Conception assistée par ordinateur en environnement immersif", mémoire de thèse, Université de Paris XI, soutenue le 9 Décembre 2005.
- [Convard & Bourdot 05]** Thomas Convard, Patrick Bourdot, "Objets Réactifs pour la CAO - Application à la conception de formes avec interaction multimodale et environnement virtuel". Revue internationale d'ingénierie numérique. vol. 1- n° 2, Hermes-Lavoisier éditeur. Juin 2005.
- [Cruz Neira & al. 93]** Carolina Cruz Neira, Daniel J. Sandin, Thomas A. DeFanti, "Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE", in ACM Computer Graphics, (27)2, 1993, pp. 135 – 142.
- [Dassault 06]** Dassault Systèmes – site web Catia : <http://www.3ds.com/products-solutions/plm-solutions/catia/overview/>
- [Détienne & al. 04]** Françoise Détienne, Jean-François Boujut, Betty Hohmann, "Characterization of Collaborative Design and Interaction Management Activities in a Distant Engineering design Situation", in Cooperative

Systems Design, M. Zacklad & al. eds. IOS press, ISBN 1-58603-422-7, 2004.

- [Drieux & al. 03]** Guillaume Drieux, Jean-Claude Léon, François Guillaume, Nicolas Chevassus, "Tools criteria for data transfert from CAD to VR environments", Virtual Concept 2003, Biarritz, pp. 296-303.
- [Dumas 99a]** Cédric Dumas, "Un modèle d'interaction 3D : Interactions homme-machine et homme-machine-homme dans les interfaces 3D pour le TCAO synchrone", Mémoire de thèse, Université des Sciences et Technologies de Lille, soutenue le 1^{er} Octobre 1999.
- [Dumas & al 99b]** Cédric Dumas, Samuel Degrande, Grégory Saugis, Christophe Chaillou, Patricia Plénacoste, Marie-Luce Viaud, "Spin : a 3-D Interface for Cooperative Work", Virtual Reality Journal, Springer-Verlag london Ltd, 4, 15-25.
- [Farquhar & al. 97]** Adam Farquhar, Richar Fikes, James Rice, "The Ontolingua Server: a Tool for Collaborative Ontology Construction", International Journal of Human-Computer Studies 46 (1997), p. 707 – 727.
- [Fuchs & Richir 06]** Philippe Fuchs et Simon Richir, "Réalité Virtuelle et Conception", in Philippe Fuchs ed. Le Traité de la Réalité Virtuelle, troisième édition, Volume 4, Pages 33 – 42.
- [Garcia & al. 04]** Ana Cristina Bicharra Garcia, John Kunz, Martin Ekstrom, Arto Kiviniemi, "Building a project ontology with extreme collaboration and virtual design and construction", Advanced Engineering Informatics, n°18 (2004), Elsevier eds., p. 71 – 83.
- [Glencross & al 02]** Mashhuda Glencross, James Marsh, Jon Cook, Sylvain Daubrenet, Steve Pettifer, Roger Hubbard, "DIVIPRO: Distributed Interactive VIRTUAL PROtototyping", International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 23-25 Juillet 2002, San Antonio, USA, p. 170.
- [Golovchinsky & al. 99]** Gene Golovchinsky, Morgan N. Price, Bill N. Schilit, "From Reading to Retrieval: Freeform Ink Annotations as Queries", Proceedings of ACM SIGIR 99, ACM Press, 15 août 1999, pp. 19 – 25.
- [Gomes & al. 03]** Samuel Gomes, Christina Chitescu, Jean-Claude Sagot, "PLM et conception intégrée de la fonction d'usage en ingénierie collaborative", Revue Internationale de CFAO et d'informatique graphique, VOL 18/4 - 2003 - pp. 447 – 466.

- [Gomes 05]** Samuel Gomes, Patrick Serrafiero, Davy Monticolo, Benoît Eynard, "Extracting engineering knowledge from PLM systems: An experimental approach", International Conference on Product Lifecycle Management, Lyon, 11 - 13 juillet 2005, pp. 33 – 43.
- [Gomez Perez 99]** Asuncion Gomez-Perez, "Ontological Engineering: a State of the Art", Expert Update. British Computer Society. Vol. 2. n° 3. (1999), pp. 33 – 43.
- [Greenhalgh & Benford 95]** Chris Greenhalgh, Steve Benford, "MASSIVE: a Distributed Virtual Reality System Incorporating Spatial Trading", Proceedings of the 15th International Conference on Distributed Computing Systems (DCS'95), Vancouver, Canada, May 30-June 2, 1995, pp.27-34.
- [Gruber 93]** Thomas Gruber, "A translation Approach to Portable Ontology Specifications", Knowledge Acquisition, 5(2), pp. 199 – 220.
- [GTK 06]** GTK+ - The GIMP Toolkit <http://www.gtk.org/>
- [Guénand & Dandault 04]** Anne Guénand, Frédéric Dandault, "ADEX: A tool for a common representation of design concepts and design argumentation in a cross discipline collaboration", International Engineering and Product Design Education Conference, 2-3 septembre 2004, Delft, The Netherlands.
- [Guénand & al. 05]** Anne Guénand, Indira Thouvenin, Dominique Lenne, Stéphane Aubry, "Vers L'intégration des Connaissances en Amont de la Conception : de Nouvelles Perspectives", Revue Française de Gestion Industrielle, vol. 25, n°3, 2005.
- [Guimbretière & al. 01]** François Guimbretière, Maureen Stone, Terry Winograd, "Fluid Interaction with High Resolution Wall-size Displays", Proceedings of The ACM Symposium on User Interface Software & Technology 2001, 11 – 14 Novembre 2001, pp. 21 – 30.
- [Hachet & al. 03a]** Martin Hachet, Jean Baptiste de la Rivière, Pascal Guitton, "Interaction in Large-Display VR Environments", Virtual Concept 2003, Biarritz, France, pp. 92 – 99.
- [Hachet & al. 03b]** M. Hachet, P. Guitton, P. Reuter, and F. Tyndiuk. "The CAT for Efficient 2D and 3D Interaction as an Alternative to Mouse Adaptations", Proceedings of Virtual Reality Software and Technology, (VRST 2003), octobre 2003, p 205 – 212.
- [Huart 97]** P. Huart, "Définition d'un poste de lecture active de documents électroniques", Rapport de Stage, 3^{ème} année, ENIB – ENSEEIHT – IRIT, Toulouse, 1997, 58 p.

- [Jena 06]** Jena – A Semantic Web Framework for Java : <http://jena.sourceforge.net/>
- [Jung & al. 02a]** Thomas Jung, Mark D. Gross, Ellen Yi-Luen Do, "Sketching annotations in a 3D web environment ", CHI'02, Conference on Human Factors in Computing Systems, Minneapolis, Minnesota, USA, 20-25 avril 2002, pp. 618 – 619.
- [Jung & al. 02b]** Thomas Jung, Mark D. Gross, Ellen Yi-Luen Do, "Annotating and sketching on 3D web models", Proceedings of the 7th international conference on Intelligent user interfaces, San Francisco, California, USA, 13-16 janvier 2002, pp. 95 – 102.
- [Kahan & al. 01]** José Kahan, Marja-Ritta Koivunen, Eric Prud'Hommeaux, Ralph R. Swick, "Annotea : An Open RDF Infrastructure for Shared Web Annotations", Proceedings of the 10th International World Wide Web Conference, Hong-Kong, 1 – 5 mai 2001, pp. 623 – 632.
- [Kassel 02]** Gilles Kassel, "Ontospec : une méthode de spécification semi-informelle d'ontologies", IC2002 proceedings, Rouen, 28 – 30 mai 2002.
- [Kassel 05]** Gilles Kassel, "Integration of the DOLCE top-level ontology into the OntoSpec methodology", LaRIA Research Report, LRR 2005-08, Octobre 2005.
- [Kitamura & Mizoguchi 03]** Yoshinobu Kitamura, Riichiro Mizoguchi, "Ontology-based Description of Functional Design Knowledge and its Use in a Functional Way Server", Expert Systems with Application, n°24, issue 2 (2003), p. 153 – 166.
- [Kitamura & al. 04]** Yoshinobu Kitamura, Masakazu Kashiwase, Masayoshi Fuse, Riichiro Mizoguchi, "Deployment of an ontological framework of functional design knowledge", Advanced Engineering Informatics, n°18 (2004), Elsevier eds., p. 115 – 127.
- [Koch 00]** Wolf Günther Koch, "Jacques Bertin's theory of graphics and its development and influence on multimedia cartography", Information Design Journal 10 (1), pp. 37 – 43.
- [Kvan 00]** Thomas Kvan, "Collaborative design: what is it?", Automation in construction, 9 (2000), p. 409 – 415.
- [Latch Craig & Zimring 02]** David Latch Craig, Craig Zimring, "Support for collaborative design reasoning in shared virtual spaces", Automation in construction 11 (2002) pp. 249-259.

- [Lelong 04]** Romain Lelong, "Coprésence et communications non verbales dans les environnements virtuels", rapport de stage de Master, Université de Technologie de Compiègne, octobre 2004, 31p.
- [Lenay 04]** Charles Lenay, "Croisements perceptifs et Spatialisation des Points de Vue : Prothèses et Communautés Techniques".
- [Lenne & al. 05]** Dominique Lenne, Marie-Hélène Abel, Ahcène Benayache, Claude Moulin, "E-MEMORAe: an e-Learning Environment Based on an Organizational Memory", SW-EL'05, International Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for E-Learning, AIED 2005, Amsterdam, 2005.
- [Loffredo 06]** David Loffredo, "Fundamentals of STEP Implementation", Step Tools Inc. <http://www.steptools.com/library/fundimpl.pdf>
- [Lombard & Ditton 97]** Matthew Lombard, Theresa Ditton, "At the Heart of It All: The Concept of Presence", Journal of Computer-Mediated Communication, Volume 3, n° 2, septembre, 1997.
- [Lonchamp 03]** Jacques Lonchamp, "Le travail coopératif et ses technologies", Chapitre 12, "La Conception Collaborative", Hermes Science Ed., ISBN 2-7462-0668-4, pp. 223 – 240.
- [Lortal & al. 06a]** Gaëlle Lortal, Myriam Lewkowicz, Amalia Todirascu-Courtier, "Enabling Communication rationale via annotations: a document-based cooperation", Proceedings of Cooperating Systems Design, COOP'06, Carry-le-Rouet, 9-12 Mai 2006, pp. 75 – 82.
- [Lortal & al. 06b]** Gaëlle Lortal, Amalia Todirascu-Courtier, Myriam Lewkowicz, "Soutenir la coopération par l'indexation semi-automatique d'annotations" in Harzallah M., Charlet J., et Aussenac-Gilles N. (eds), Actes de la conférence Ingénierie des Connaissances, IC 2006 Nantes, 28-30 Juin 2006, pp. 61 – 70.
- [Louisdit & al. 01]** Stéphane Louis Dit Picard, Samuel Degrande, Christophe Gransart, Christophe Chaillou, Grégory Saugis, "Communication Platform For Synchronous Collaborative Virtual Environment", International Conference on Media Futures 2001 (May 8-9 2001, Florence, Italy).
- [Lourdeaux 01]** Domitile Lourdeaux, "Réalité Virtuelle et Formation : Conception d'Environnements Virtuels Pédagogiques", Mémoire de thèse, Ecole des Mines de Paris, soutenue le 5 octobre 2001, 182 p.

- [**Macedonia & al. 95**] Michael R. Macedonia, Donald P. Brutzman, Michael J. Zyda, David R. Pratt, Paul T. Barham, John Falby, John Locke, "NPSNET: a multi-player 3D virtual environment over the Internet", Proceedings of the 1995 symposium on Interactive 3D graphics, Monterey, California, United States, 1995.
- [**Mäntylä & al. 96**] Martti Mäntylä, Dana Nau, Jami Shah, "Challenges in Feature-Based Manufacturing Research", Communications of the ACM, Vol. 39, N°. 2 (février 1996), pp. 77 – 85.
- [**Mark 02**] Gloria Mark, "Extreme Collaboration", Communications of the ACM, vol. 45, issue 6 (juin 2002), p. 89 – 93.
- [**Marsh 02**] James Marsh, "A Software Architecture for Interactive Multiuser Visualisation", University of Manchester, 2002.
- [**Matsushita & Rekimoto 97**] Noboyuki Matsushita, Jun Rekimoto, "HoloWall: designing a finger, hand, body and object sensitive wall", proceedings of UIST'97, p. 209 – 210.
- [**Mihalcea 04**] Rada Mihalcea, "WordNet Bibliography" : <http://engr.smu.edu/~rada/wnb/>
- [**Mizoguchi 03**] Riichiro Mizuguchi, "Tutorial on ontological engineering - Part 1: Introduction to Ontological Engineering", New Generation Computing, OhmSha&Springer, Vol.21, No.4 (2003), pp.365 – 384.
- [**Mizoguchi 04a**] Riichiro Mizuguchi, "Tutorial on ontological engineering - Part 2: Ontology development, tools and languages", New Generation Computing, OhmSha&Springer, Vol.22, No.1 (2004), pp.61 – 96.
- [**Mizoguchi 04b**] Riichiro Mizuguchi, "Tutorial on ontological engineering - Part 3: Advanced course of ontological engineering", New Generation Computing, OhmSha&Springer, Vol.22, No.2 (2004), pp. 193 – 220.
- [**Neeches & al. 91**] R. Neeches, F.R.E, T. Finin T.R. Gruber, T. Senator et W.R. Sartout, "Enabling Technology for Knowledge Sharing", AI Magazine, 12, pp. 35 – 56.
- [**NightKitchen 06**] Night Kitchen (auteurs du logiciel TK3 Reader/TK3 Author) : <http://www.nightkitchen.com/>
- [**Olive & al. 05**] Jérôme Olive, Indira Thouvenin, Dominique Lenne, Stéphane Aubry, "A new knowledge visualization and manipulation metaphor for collaborative and immersive environment", Proceedings of Enactive 2005, nov. 2005, Genoa- Italia (Electronic publication)

- [Ontolingua 06]** Stanford University, Ontolingua Home Page :
<http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua/>
- [Pédauque 03]** R.T. Pédauque, "Document : forme, signe et medium, les re-formulations du numérique", (Working Paper)
http://archivesic.ccsd.cnrs.fr/sic_00000511.html
- [Père & Paillot 03]** C. Père, D. Paillot, "From digital mock-up to virtual mock-up", Virtual Concept 2003, 5-7 novembre 2003, Biarritz, France, p. 42 – 49.
- [Pierce & al. 99]** Jeffrey S. Pierce, Brian C. Steams, Randy Pausch, "Voodoo Dolls: Seamless Interaction at Multiple Scales in Virtual Environments.", Proceedings of the 1999 Symposium on Interactive 3D Graphics, Atlanta, Georgia, United States, pp. 141-145.
- [Protégé 06]** The Protégé Ontology Editor Homepage : <http://protege.stanford.edu/>
- [Psyché & al. 03]** Valéry Psyché, Olavo Mendes, Jacqueline Bourdeau, "Apport de l'ingénierie ontologique aux environnements de formations à distance", revue sticf.org, Volume 10, 2003.
- [Rezayat 00]** Mohsen Rezayat, "Knowledge-based product development using LXM and KCs", Computer-Aided Design 32 (2000), p. 299 – 309.
- [Rhino 06]** Rhinoceros Home Page : <http://www.rhino3d.com/>
- [Rissanen & al. 06]** Mikko Rissanen, Yoshihiro Kuroda, Megumi Nakao, Naoto Kume, Tomohiro Kuroda and Hiroyuki Yoshihara, "Annotated Surgical Manipulation for Simulator-Based Surgical Skill-Transfer Using SiRE – Simulation Record Editor", in Biomedical Simulation, ISBN 3-540-36009-3, Springer Berlin/Heidelberg eds., pp. 122-131 (2006)
- [Schilit & al. 98]** Bill Schilit, Gene Golovchinsky, et Morgan Price, "Beyond Paper: Supporting Active Reading with Free Form Digital Ink Annotations", CHI 98 Conference Proceedings, ACM Press, 1998, pp. 249-256., 18 avril, 1998.
- [Second Life 06]** Second Life homepage: <http://secondlife.com/>
- [Smith & al. 00]** Brian K. Smith, Erik Blankinship, Tamara Lackner, "Annotation and Education", IEEE MultiMedia, Vol 7., Issue 2, avril – juin 2000, pp. 84 - 89.
- [Sokolov & Plemenos 05]** Dmitry Sokolov, Dimitri Plemenos, "Viewpoint quality and scene understanding", In VAST 2005: Eurographics Symposium Proceedings, Pisa (Italy), novembre 2005, pp. 67 – 73.

- [Sokolov & al. 06]** Dmitry Sokolov, Dimitri Plemenos, Karim Tamine, "Viewpoint quality and global scene exploration strategies", International Conference on Computer Graphics and Applications (GRAPP 2006), Setubal (Portugal), February 2006.
- [Sowa 95]** J. Sowa, "Distinction, combination and constraints", proceedings of IJCAI-95, Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing.
- [Studer & al. 98]** Rudi Studer, V. Richard Benjamins, Dieter Fensel, "Knowledge Engineering: Principles and Methods". Data and Knowledge Engineering, 25 (1998), pp. 161 – 197.
- [Sun – JFC 06]** Sun Microsystems, Java Foundation Classes (JFC/Swing)
<http://java.sun.com/products/jfc/>
- [SUO 06]** Standard Upper Ontology Working Group, <http://suo.ieee.org>
- [Synergy 06]** Synergy homepage : <http://synergy2.sourceforge.net/>
- [Steuer 92]** Jonathan Steuer, "Defining Virtual Reality: Dimensions Determining Telepresence", Journal of Communication, 42 (4), Automne 1992, pp. 73 – 93.
- [Stewart & al. 99]** Jason Stewart, Benjamin Beredson, Allison Druin, "A single Display Groupware : A model for Co-present Collaboration", proceedings of Human Factor in Computing Systems (CHI'99), ACM Press, p. 286 – 293.
- [Tacla & Enembreck 05]** Cesar Augusto Tacla, Fabrício Enembreck, "An awareness mechanism for enhancing cooperation in design teams", 9th International conference on Computer Supported Cooperative Work in Design proceedings, Coventry, United Kingdom, 24 – 26 mai 2006, p. 920 – 925.
- [Theoktisto & Fairén 05]** Víctor Theoktisto, Marta Fairén, "Enhancing collaboration in virtual reality applications", Computer & Graphics n°29 (2005), pp. 704 – 718.
- [Thouvenin & al. 03]** Indira Thouvenin, Marie-Hélène Abel, Bruno Ramond, Abir Qamhiyah, "Environment Improvements for a Better Cooperation in Multi-Culture Collaborative Mechanical Design", In CSCWD 2002, Rio de Janeiro – Brazil, 25 – 27 septembre 2002.
- [Uschold & Gruninger 96]** Mike Uschold, Michael Gruninger, "Ontologies: Principles, Methods and Applications", Knowledge Engineering Review, Volume 11, n°2, juin 1996.
- [Verlinden & al. 93]** Jouke Verlinden, David Bolter and Charles van der Mast, "Virtual Annotation: Verbal Manipulation in Virtual Reality", European

Symposium on Simulation (ESS'93), 25 – 28 octobre 1993, Delft, Pays-Bas.

- [Veron 97] Mathieu Veron, "Modélisation de la composante annotative dans les documents électroniques", DEA, ENIB – ENSEEIHT – IRIT, Toulouse, 1997, 53p.
- [W3C 04a] W3 Consortium, OWL Web Ontology Language Overview, W3C Recommendation, 10 février 2004. <http://www.w3.org/TR/owl-features/>
- [W3C 04b] W3 Consortium, OWL Web Ontology Language Reference, W3C Recommendation, 10 février 2004. <http://www.w3.org/TR/owl-ref/>
- [W3C 04c] W3 Consortium, "Resource Description Framework (RDF): Concepts and Abstract Syntax", W3C Recommendation, 10 Février 2004, <http://www.w3.org/TR/rdf-concepts/>
- [W3C 04d] W3 Consortium, "RDF Vocabulary Description Language 1.0: RDF Schema", W3C Recommendation, 10 Février 2004, <http://www.w3.org/TR/rdf-schema/>
- [W3C 06a] W3 Consortium, Annotea Home Page : <http://www.w3.org/Annotea/>
- [W3C 06b] W3 Consortium, Amaya Home Page : <http://www.w3.org/Amaya/>
- [Wolfe 02] Joanna Wolfe, "Annotation technologies: A software and research review", Computers and Composition, n°19 (2002), p. 471 – 497.
- [Yahoo] Yahoo! Directory, <http://dir.yahoo.com/>
- [Yoshida & al. 00] Ryo Yoshida, Takaaki Murao, Tatsuo Miyazawa, "3D web environment for knowledge management", Future Generation Computer Systems 17 (2000), pp. 73-78.
- [Yoshioka & al. 04] Masaharu Yoshioka, Yasuhi Umeda, Hideaki Takeda, Yoshiki Shimomura, Yutaka Nomaguchi, Tetsuo Tomiyama, "Physical concept ontology for the knowledge intensive engineering framework", Advanced Engineering Informatics n°18 (2004), Elsevier eds., pp. 95 – 113.
- [Zacklad & al. 03] Manuel Zacklad, Myriam Lewkowicz, Jean-François Boujut, Françoise Darses, Françoise Détienne, "Formes et gestion des annotations numériques collectives en ingénierie collaborative", IC2003 proceedings, 1 – 4 juillet 2004, Laval, France.
- [Zacklad 07] Manuel Zacklad, "Annotation : attention, association, contribution", in P. Salembier et M. Zacklad eds, Annotations dans les Documents pour l'Action. Lavoisier, Paris : 29-46.

ANNEXES

Annexe 1 : Glossaire

Le but de ce glossaire est double : il permet d'une part d'expliquer les termes que nous n'avons pas détaillés dans le corps de ce mémoire, et d'autre part, il donne une définition des concepts introduits par nos recherches.

Alpha : voir « Couche Alpha »

Annotation : une annotation est une marque ou un document ayant les propriétés suivantes : elle se rapporte à un autre document ou à une partie d'un autre document (la cible) et résulte d'une activité ou sert à une activité concernant ce document ; elle est non dissociable, mais cependant distincte de sa cible.

Annotation 3D : une annotation 3D est une annotation dont la cible est une entité 3D et contextualisée par rapport à cette entité 3D.

B-Rep : ce terme vient de l'anglais « Boundary REPresentation », il désigne un représentation des objets 3D basée sur la définition de la surface de ceux-ci.

B.S.C.W. : Basic Support for Collaborative Work. Il s'agit d'un environnement, basé sur une interface Web, permettant la collaboration entre les participants d'un projet donné.

C.A.R.V. : Conception Assistée par Réalité Virtuelle. La CARV a pour objectif de rendre l'utilisation d'environnements de réalité virtuelle partie intégrante du processus de conception.

C.A.V.E. : Le CAVE est un environnement immersif de visualisation constitué de plusieurs murs d'images (généralement entre trois et six) à affichage stéréoscopique. Ces murs entourent l'utilisateur.

C.H.I. : Computer/Human Interface, Computer/Human Interaction, voir I.H.M.

Contextualisation (dans un espace 3D) : la contextualisation d'une information dans un monde 3D est le résultat de l'opération visant à enrichir cette information via des données propres à ce monde 3D. De manière plus simple, contextualiser une information dans le monde 3D, c'est lui ajouter des informations la liant à ce monde.

Couche Alpha : pour représenter les couleurs telles qu'elles sont affichées par un moniteur, on utilise une représentation par couche de couleurs rouge, vert et bleu. A ces trois couches est souvent associée une quatrième couche, appelée « alpha » représentant le niveau de transparence du pixel.

C.S.C.W : Computer Supported Collaborative Work. Le CSCW désigne l'étude de la manière dont les gens travaillent collaborativement par le biais de technologies informatiques appropriées.

C.S.G. (Constructive Shape Geometry) : un objet 3D est dit C.S.G. lorsqu'il résulte de la combinaison d'autres objets. Les opérations permettant de combiner ces objets sont : union, intersection, différence.

C.V.E. (Collaborative Virtual Environment) : Environnement Collaboratif Virtuel (E.V.C.) en français. Environnement permettant à plusieurs utilisateurs d'échanger des informations et de collaborer dans un environnement virtuel.

Deck 2D : composante de l'environnement Matrics fournissant une interface 2D à l'utilisateur, lui permettant en particulier de visualiser le détail des annotations, et de naviguer dans l'ontologie.

Diagramme d'environnement « en pieuvre » : il s'agit d'un outil d'analyse fonctionnelle qui, en identifiant les différents éléments en relation avec l'objet de la conception, ainsi que les relations qu'ils entretiennent avec le système, permet au concepteur d'identifier les fonctions de son produit.

D.M.U. : Acronyme de « Digital Mock-Up » ou maquette numérique.

E.V.C. : voir C.V.E.

H.U.D. : Head-Up Display. La méthode HUD d'affichage des informations 2D dans l'environnement 3D consiste à disposer les informations 2D sur un plan en surimpression et indépendant de l'espace 3D. [Chen & al. 04]

I.H.M. : le sigle I.H.M. (C.H.I en anglais) peut recouvrir deux significations proches, mais néanmoins distinctes : interface homme-machine ou interactions homme-machine. Ces deux termes désignent globalement le même terme de recherches, mais apportent la nuance suivante : dans l'expression « interface homme-machine », l'accent est mis sur le dispositif utilisé pour faire interagir l'humain avec la machine, dans l'expression « interactions homme-machine », l'accent est mis sur l'acte d'interaction lui-même.

I.R.V.E. : Information-Rich Virtual Environment. Un I.R.V.E. désigne un environnement virtuel présentant simultanément un environnement réaliste (qui existe ou pourrait exister dans le monde réel) et des informations abstraites liées à cet environnement réaliste.

Isométrique (déplacement) : un périphérique de pointage est dit isométrique lorsque le déplacement du curseur (ou autre entité à l'écran) n'est pas lié au déplacement du périphérique, mais à la pression exercée sur ce dernier. Exemple : joystick, SpaceMouse.

Isotonique (déplacement) : un périphérique de pointage est dit isotonique lorsque le déplacement du curseur (ou autre entité à l'écran) est directement lié au déplacement du périphérique. Exemple : souris, capteur 3D.

K.I.F. : Knowledge Interchange Format. KIF est un format de représentation des connaissances, sur lequel est en particulier basé Ontolingua.

Modèle : dans le cadre de ce mémoire le terme « modèle » peut prendre trois sens distincts :

- **Modèle d'annotation 3D** : au cours de nos recherches, nous avons développé un modèle d'annotation 3D, basé sur trois composantes : la forme, les méta-données, et la spatialisation.
- **Modèle de connaissances** : dans l'environnement Matrics, les annotations sont liées à un modèle de connaissances représenté par une ontologie.
- **Modèle 3D** : un modèle 3D est la représentation géométrique du produit. Lorsque le terme « modèle » est suivi d'un nom d'objet (par exemple « le modèle du vélo »), il s'agit de son modèle 3D, et non de sa représentation dans le modèle de connaissances.

Ontologie et ontologie : le terme « Ontologie » (avec un « O » majuscule) est utilisé pour faire référence à la notion philosophique. Le terme « ontologie » (avec un « o » minuscule) est quant à lui utilisé pour désigner une approche informatique de représentation des connaissances.

O.W.L. : OWL (Web Ontology Language) est un langage de représentation d'ontologies, proposé par le W3C (World Wide Web Consortium) et dérivé de XML. C'est l'un des langages les plus répandus pour représenter des ontologies.

Point de vue géométrique (d'une annotation 3D) : le point de vue géométrique d'une annotation 3D est défini par les coordonnées de la caméra au moment où l'annotation a été créée.

Point de vue (cognitif) : un point de vue est la position (ensemble de connaissances) qu'à un individu sur un sujet donné.

Présentiel : une situation de collaboration est dite présentielle lorsque les personnes participant à la réunion sont toutes situées au même endroit. A opposer à « collaboration à distance ».

S.G.D.T. : Système de Gestion de Données Techniques. Cet acronyme correspond à un système permettant la gestion de la majorité des informations concernant la conception d'un produit : les informations C.A.O. d'une part, mais aussi les différentes versions du produit, leur documentation, la logique de conception (« design rationale »), etc.

Soupe de polygones : on dit qu'un objet est représenté sous la forme d'une soupe de polygones lorsque les seules informations disponibles pour représenter cet objet sont la liste des polygones, ainsi qu'éventuellement des informations sur les matériaux/textures. Le problème principal d'un objet représenté en soupe de polygones est qu'il n'y a aucune information permettant de structurer cet objet (groupement des polygones pour former les composantes de l'objet).

Stéréoscopie : la stéréoscopie désigne toute technique consistant à afficher pour chaque œil la même image, mais prise sous un angle de vue légèrement décalé. Ce léger décalage reproduit le décalage naturel de point de vue géométrique qui existe entre chaque œil et fait que les images apparaissent en relief.

T.C.A.O. : Travail Collaboratif Assisté par Ordinateur. Acronyme francophone pour C.S.C.W. (voir l'entrée « C.S.C.W. » pour plus de détails).

Utilisateur : personne utilisant un système. Dans le cadre de l'environnement Matrics, le terme « utilisateur » désigne l'utilisateur de Matrics (i.e. le concepteur du produit), et non l'utilisateur final du produit.

W.W.D. : Within World Display. Ce terme désigne une méthode d'affichage des informations 2D dans l'environnement 3D. Cette méthode consiste à afficher les informations 2D sur des plans faisant partie de l'environnement 3D [Chen & al. 04].

Annexe 2 : Questionnaire utilisé pendant l'expérimentation

Vous trouverez ici le questionnaire qui a été donné aux utilisateurs pour l'expérimentation de validation de l'intégration des connaissances dans l'environnement Matrics. Plus d'informations sur le déroulement de l'expérimentation est disponible au chapitre 8.

Nom : Prénom :
Branche³² : Semestre : Filière :

----- Première partie : projet ATTELAGE -----

1. Retrouver une information précise

Montrer l'annotation mettant en avant le fait que l'attelage doit être perçu comme fiable.

TITRE DE L'ANNOTATION :

2. Trouver toutes les annotations ayant le même thème général

Vous devez dresser la liste de tous les matériaux utilisés pour la réalisation de l'attelage.

LISTE DES MATERIAUX UTILISES :

3. Trouver toutes les annotations ayant le même thème général

Expliquez le choix des couleurs sur ce produit.

EXPLICATION :

4. Trouver toutes les annotations portant sur un type de pièce

Trouver toutes les annotations qui parlent des poignées de l'attelage.

LISTE D'ANNOTATIONS :

³² La branche, à l'UTC, désigne la spécialité à laquelle l'étudiant appartient. Pour cette expérience, les deux branches auxquelles appartenaient les étudiants étaient : GM (Génie Mécanique) et GSM (Génie des Systèmes Mécaniques).

5. Identifier les risques potentiels pour l'utilisateur

Pouvez-vous dire comment sont pris en compte les aspects de sécurité du passager ?

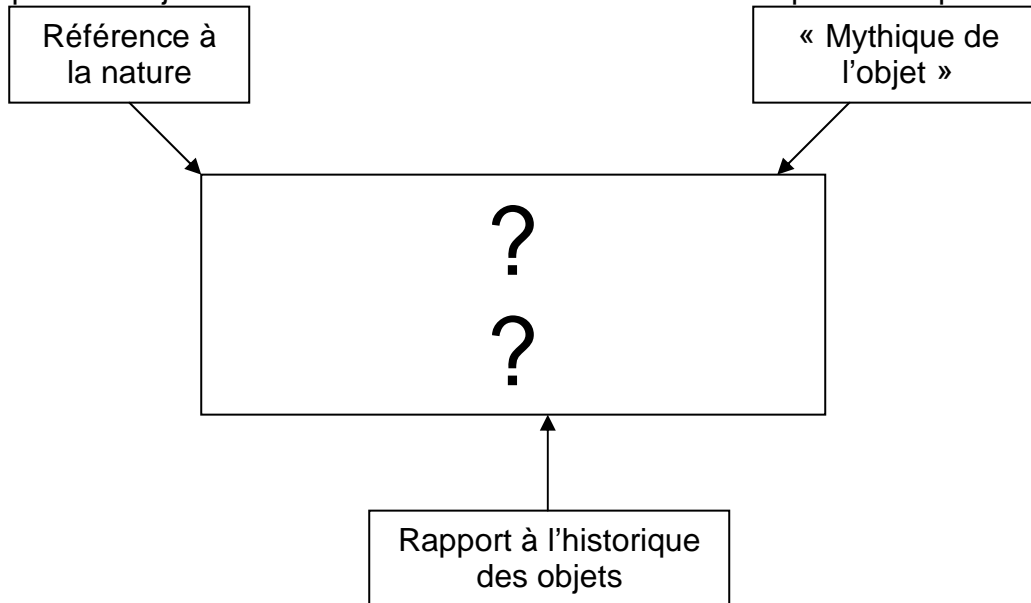
REPONSE :

6. Décrire la méthode ADEX

DESCRIPTION :

7. Mettre en lien des annotations

Les annotations « Référence à la nature », « Mythique de l'objet » et « Rapport à l'historique des objets » sont liées entre elles. Pouvez-vous expliciter ce point commun ?



COMPLEMENT :

8. Ecriture d'annotations sur un produit

Vous devez maintenant créer une annotation (placement + titre + texte + image) et la relier de manière pertinente au modèle de connaissances. Vous la placez où vous le souhaitez. Le thème de cette annotation est « le rôle de la toile tendue au dessus du passager ». Expliquez ensuite ce que vous avez fait et pourquoi.

TITRE DE L'ANNOTATION CREE :

EXPLICATION :

9. Argumenter sur le modèle

Trouver des arguments qui font que cet objet est sympathique et abordable.

ARGUMENTS :

----- Deuxième partie : projet EXOTIQUE -----

10. Utilité du modèle inconnu

Nous ne savons rien sur l'utilité du modèle que nous vous proposons. Pouvez vous nous expliquer de manière simple et précise l'utilisation pour laquelle il est destiné.

REPONSE :

----- Troisième partie : projet ATTELAGE+ -----

11. (Surcharge d'annotations) Recherche d'une annotation

Vous devez rechercher l'annotation qui définit les dimensions globales du produit.

REPONSE :

12. (Surcharge d'annotations) Trouver toutes les annotations ayant le même thème général

Listez toutes les annotations relatives au confort

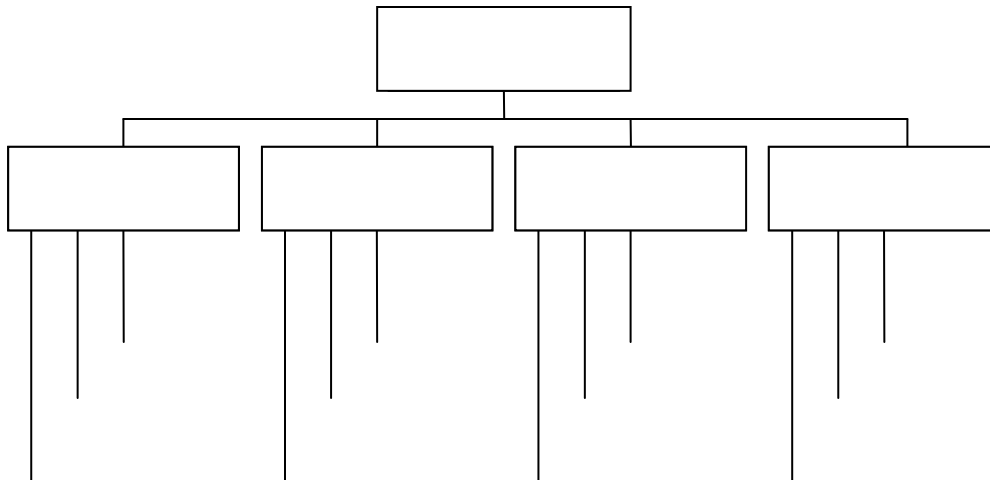
REPONSE :

----- Fin de l'exercice sur machine -----

13. Quels arguments pourriez-vous donner pour défendre le projet « attelage » devant un groupe d'investisseurs ?

14. Selon vous, à quels type d'utilisateurs le projet « attelage » est-il destiné ?

15. Pouvez-vous donner la fonction principale, les sous fonctions ainsi que des solutions sur l'attelage permettant d'y répondre ? (remplissez la table ci-dessous)



16. Définissez, au sens de l'application, ce qu'est un concept :

17. Que pensez-vous de l'utilité de Matrics ?

Très utile	Utile	Moyen	Faible	Très faible
------------	-------	-------	--------	-------------

18. Que pensez-vous de l'interface 2D ?

Très bonne Bonne Moyenne Faible Très faible

19. Que pensez-vous de l'interface 3D ?

Très bonne Bonne Moyenne Faible Très faible

20. Trouvez-vous que les annotations gênent la visibilité du modèle ?

Oui Non

21. Que pensez-vous de la maniabilité du système ?

Très bonne Bonne Moyenne Faible Très faible

22. Que proposeriez-vous comme améliorations ?

23. De quelles fonctions vous passeriez-vous dans l'interface 2D ?

24. De quelles fonctions vous passeriez-vous dans l'interface 3D ?

25. Vous diriez que la navigation autour du modèle 3D est :

Très intuitive Intuitive Moyenne Déconcertante Très déconcertante

26. Vous diriez que l'utilisation de 2 écrans est :

Très intuitive Intuitive Moyenne Déconcertante Très déconcertante

27. Vous diriez que l'utilisation de 2 programmes est :

Très intuitive

Intuitive

Moyenne

Déconcertante

Très déconcertante

28. Imaginez-vous d'autres domaines d'utilisation de Matrics ?

29. Avez-vous des remarques ?

----- Merci de votre participation -----

Annexe 3 : Résultats bruts de l'expérimentation sur l'utilisation du modèle de connaissances

Cette section donne les résultats bruts de l'expérimentation réalisée pour vérifier l'utilité de l'intégration du modèle de connaissances. Les résultats sont donnés tels quels et servent en particulier de référence pour la partie 8.4 qui les analyse et les interprète.

Résultats globaux :

Temps nécessaire pour réaliser les exercices

Les utilisateurs du groupe K ont mis en moyenne 46 minutes et les utilisateurs du groupe ¬K 42.5 minutes, ce temps nécessaire a été réparti de la manière suivante :

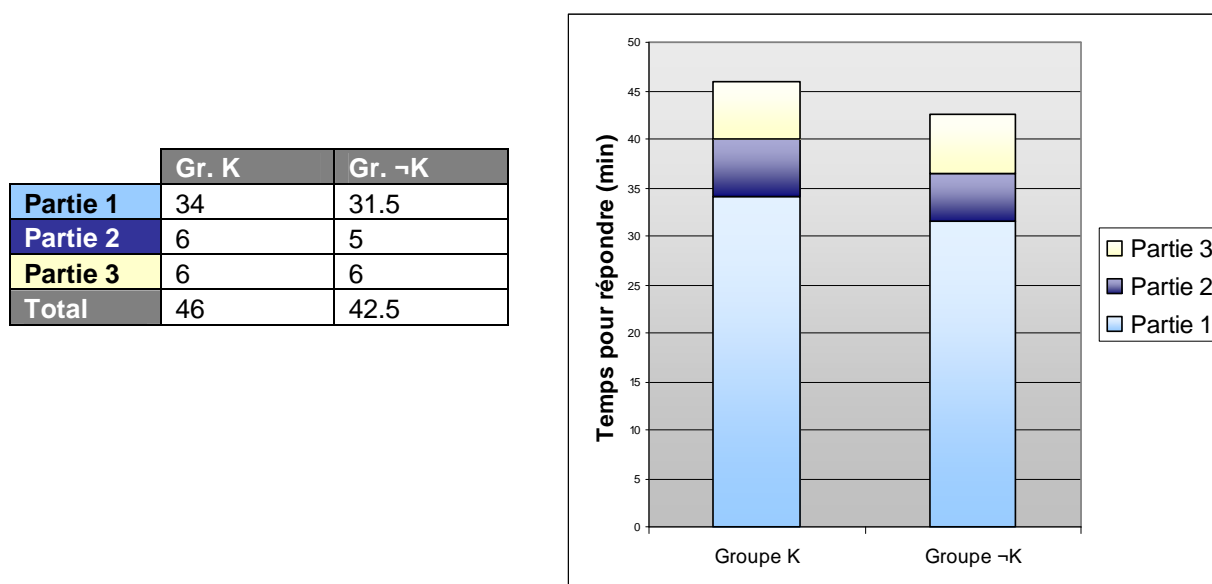


Figure 94 : temps nécessaire pour réaliser les exercices.

Nombre de réponses correctes

Le tableau ci-dessous donne le pourcentage de réponses données à chacun des exercices. Pour chaque question, quatre types de réponses sont possibles :

- Une réponse correcte et complète.
- Une réponse incomplète : les éléments donnés dans la réponse sont tous corrects, mais il manque des éléments de réponse supplémentaires.
- Une réponse fausse : si au moins un élément de réponse n'est pas correct.
- Sans réponse.

A noter que les questions 6 et 8 n'ont pas été comptabilisées dans ce tableau principalement du fait qu'il n'est pas possible de définir de manière claire une « bonne réponse » pour ces questions.

		Total	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q7	Q9	Q10	Q11	Q12
Groupe K	Correcte	69	90	20	90	80	70	70	60	20	100	90
	Incomplète	10	0	0	0	20	0	0	0	80	0	0
	Fausse	18	10	70	0	0	30	30	30	0	0	10
	Sans Réponse	3	0	10	10	0	0	0	10	0	0	0
Groupe -K	Correcte	27.5	25	75	0	0	25	25	0	25	100	0
	Incomplète	37.5	0	0	100	100	25	0	100	50	0	0
	Fausse	25	75	0	0	0	0	75	0	0	0	100
	Sans Réponse	7.5	0	0	0	0	50	0	0	25	0	0

Table 5 : classification des réponses données au questionnaire (en pourcentage).

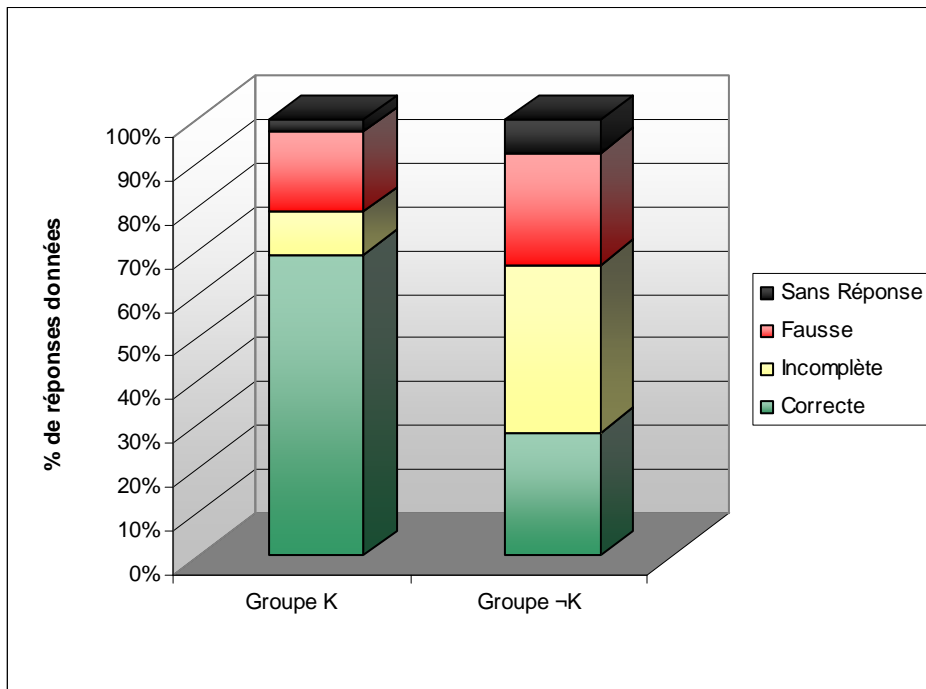


Figure 95 : résultats globaux concernant la qualité des réponses données.

Degré de certitude aux réponses

En plus de chaque réponse, les utilisateurs ont spécifié le degré de certitude qu'ils avaient pour la réponse qu'ils ont donnée. Cette certitude est exprimée en trois niveaux : +, ++ et +++

correspondant respectivement à des degrés de certitude faible, moyen et fort. La répartition de ces degrés de certitude est la suivante :

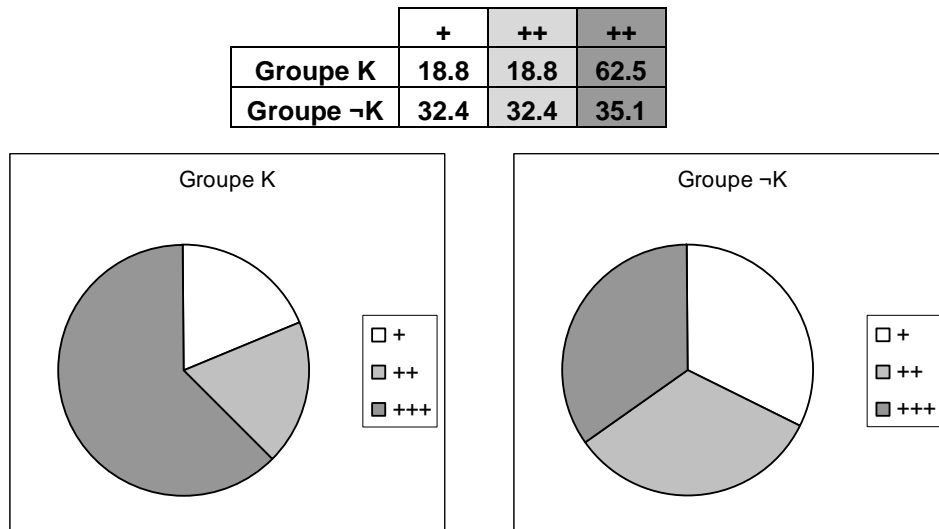


Figure 96 : degré de certitude aux réponses données aux exercices.

Nombre d'annotations consultées

Nous avons rajouté dans l'environnement Matrics une fonction de log (journal des opérations) enregistrant toutes les opérations réalisées pendant l'expérimentation. Nous avons à partir de cet log extrait le nombre de fois où une annotation à été consultée.

	Partie 1	Partie 2	Partie 3	Total
Groupe ¬K	38.5	7.5	9.5	55.5
Groupe K	38.7	7.9	7.6	54.2

Table 6 : nombre d'annotations consultées.

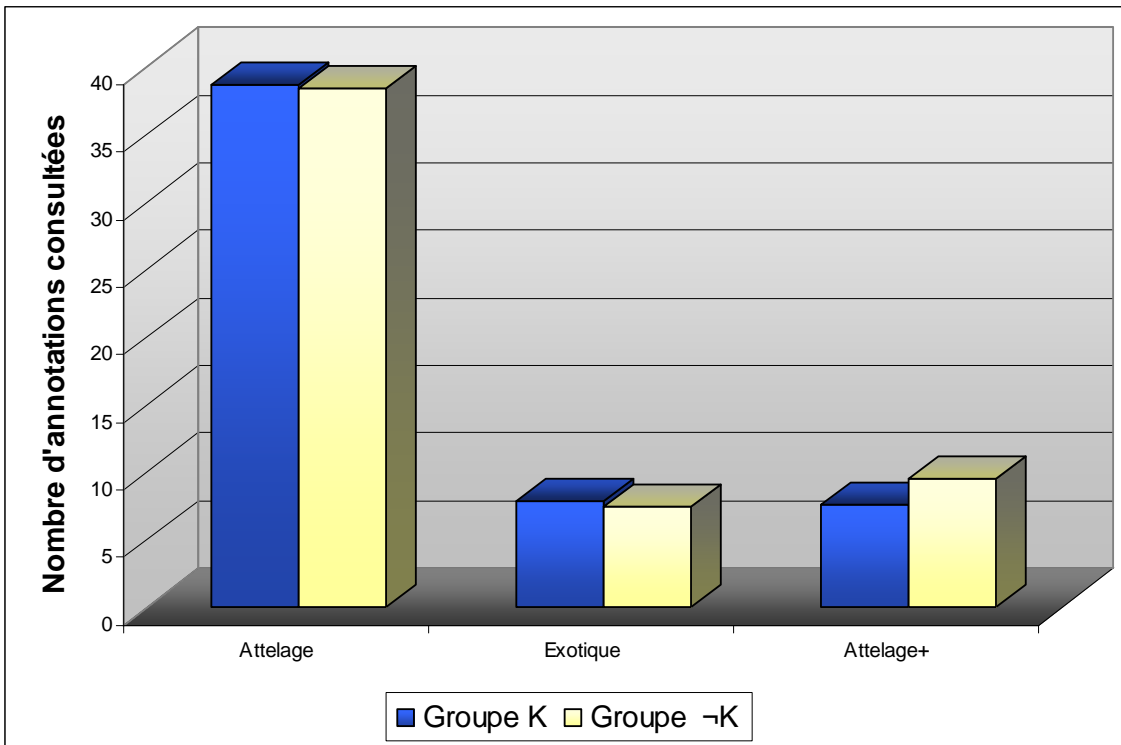














Figure 97 : nombre d'annotations consultées.



Réponses au questionnaire sur l'environnement Matrics




Que pensez-vous de l'utilité de Matrics ?		
Très utile		1
Utile		10
Moyen		3
Faible		0
Inutile		0





Que pensez-vous de l'interface 2D ?		
Très bonne		0
Bonne		4
Moyenne		10
Faible		0
Nulle		0




Que pensez-vous de l'interface 3D ?		
Très bonne		0
Bonne		9
Moyenne		4
Faible		1
Nulle		0

Trouvez-vous que les annotations gênent la visibilité du modèle 3D ?		
Oui		10
Non		4

Que pensez-vous de la maniabilité du système ?		
Très bonne		0
Bonne		9
Moyenne		5
Faible		0
Nulle		0

Vous diriez que la navigation autour du modèle 3D est :		
Très intuitive		2
Intuitive		9
Moyenne		3
Déconcertante		0
Très déconcertante		0

Vous diriez que l'utilisation de 2 écrans est :		
Très intuitive		5
Intuitive		5
Moyenne		2
Déconcertante		2
Très déconcertante		0

Vous diriez que l'utilisation de 2 programmes est :		
Très intuitive		0
Intuitive		9
Moyenne		4
Déconcertante		1
Très déconcertante		0

Que proposeriez-vous comme amélioration ?	
- Réponses classées par utilisateur - Utilisateurs sans réponse non affichés - Une astérisque (*) indique un utilisateur du groupe « -K »	
1	Faire en sorte que les annotations (titres) ne soient pas sur le modèle 3D que l'on observe. Améliorer la navigation dans les concepts
2*	Moteur de recherche Modèle de connaissance

	Gestion des annotations
3	La liste des concepts en ordre alphabétique Des boutons qui permettent le retour vers les pages précédentes
4*	Éléments en surbrillance dans le modèle 3D Hiérarchisation des fonctions en 2D Lien entre les fonctions dans l'annotation
5*	Moteur de recherche des mots Un classement par mots-clés hiérarchisé Mettre des filtres sur les annotations (surcharge, manque de visibilité) + de couleur sur le modèle exotique
6	2 écrans : pas pratique Interface à améliorer (plus clair, plus lisible, moins "GI" ³³)
7	Une bonne interface qui différencie mieux annotations et concepts. Plus intuitif en 2D
8	Manque un menu répertorié sur le côté de la fenêtre
9	Arborescences plus étendues Affichage des annotations dans l'interface 3D gênantes Lister par ordre alphabétique Affichage sur demande des annotations dans l'interface 3D
10	Pouvoir faire marche arrière Les textes des concepts ne sont pas entièrement visibles.
11	Même fonction pour le déplacement (Catia ...)
12	Pour interface 2D : regrouper les fonctions -> retrouver en haut de la page quelques fonctions clés, go up pas optimisé. Pour interface 3D : juste garder les flèches des annotations non utilisées et supprimer les titres, optimiser la sélection des flèches
13	Revoir l'affichage des annotations (pas tout afficher d'un coup) Améliorer les spécifications de produit dans Matrics

³³ GI : référence au « génie informatique » de l'UTC.

Annexe 4 : Comparatif d'environnements d'annotations

Cette annexe présente une sélection d'environnements d'annotations qui nous paraissent pertinents. Le grand nombre d'environnements existants nous empêche de couvrir une partie importante du domaine, et a fortiori d'être exhaustif, mais la liste ci-dessous essaye de représenter dans la mesure du possible la variété des environnements existants.

Amaya/Annotea	Utilisation : Collaborative URL/Références : http://www.w3.org/Amaya/ , [Kahan & al. 01] Outil généraliste/spécialisé : généraliste. Type de média annoté : Document HTML (avec Amaya) Forme de l'annotation : Document HTML Logiciel spécifique à l'annotation : Non (navigateur web) Ancre : Explicite, Uni-cible, standard XPointer
BSCW	Utilisation : Collaborative URL/Références : http://bscw.fit.fraunhofer.de/ Outil généraliste/spécialisé : généraliste. Type de média annoté : Documents quelconques Forme de l'annotation : Texte. Logiciel spécifique à l'annotation : Non (environnement de collaboration) Ancre : Implicite.
Catia/Atelier DMU	Utilisation : Collaborative URL/Références : http://www.3ds.com/home Outil généraliste/spécialisé : spécialisé (conception de produits). Type de média annoté : Produit Forme de l'annotation : Texte, dessins à main levée, images, sons. Logiciel spécifique à l'annotation : Non (logiciel de conception) Ancre : Explicite, Multi-cibles
DocAnnot	Utilisation : Collaborative URL/Références : [Bringay 06] Outil généraliste/spécialisé : spécialisé (gestion du dossier médical patient). Type de média annoté : Dossier patient (texte structuré + images) Forme de l'annotation : Texte. Logiciel spécifique à l'annotation : Non (logiciel de gestion de dossier patient) Ancre : Explicite, Uni-cible

IDT	Utilisation : Collaborative URL/Références : [Latch Craig & Zimring 02] Outil généraliste/spécialisé : généraliste. Type de média annoté : Scène 3D. Forme de l'annotation : Texte, objets 3D (surrogats). Logiciel spécifique à l'annotation : Oui Ancre : Explicite, Multi-cibles.
Matrics	Utilisation : Collaborative URL/Références : ce rapport. Outil généraliste/spécialisé : spécialisé (conception collaborative de produits). Type de média annoté : Objet 3D Forme de l'annotation : Texte, sons, images. Logiciel spécifique à l'annotation : Oui Ancre : Explicite, Uni-cible
Photoshop	Utilisation : Collaborative URL/Références : http://www.adobe.com/products/photoshop/ Outil généraliste/spécialisé : spécialisé (édition graphique). Type de média annoté : Image 2D Forme de l'annotation : Texte, audio. Logiciel spécifique à l'annotation : Non (édition graphique) Ancre : Explicite, Uni-cible
Rhino	Utilisation : Collaborative URL/Références : http://www.rhino3d.com/ Outil généraliste/spécialisé : spécialisé (conception). Type de média annoté : Objet 3D Forme de l'annotation : Textes courts, marqueurs. Logiciel spécifique à l'annotation : Non (création d'objets 3D) Ancre : Explicite, Uni-cible
SpacePen	Utilisation : Collaborative URL/Références : [Jung & al. 02a], [Jung & al. 02b] Outil généraliste/spécialisé : généraliste. Type de média annoté : Objets 3D Forme de l'annotation : Objets 3D, dessins à main levée, texte.

Logiciel spécifique à l'annotation : Oui.

Ancre : Implicite, Multi-cibles

TK3 Reader

Utilisation : Individuelle/Collaborative

URL/Références : <http://www.nightkitchen.com/>

Outil généraliste/spécialisé : généraliste.

Type de média annoté : Fichiers multimédia (textes, images, vidéos ...)

Forme de l'annotation : Texte.

Logiciel spécifique à l'annotation : Non (logiciel de lecture de fichiers multimédia)

Ancre : Implicite, Uni-cible

Word

Utilisation : Collaborative

URL/Références : <http://office.microsoft.com/>

Outil généraliste/spécialisé : généraliste.

Type de média annoté : Textes + images.

Forme de l'annotation : Texte.

Logiciel spécifique à l'annotation : Non (logiciel de bureautique)

Ancre : Explicite, Uni-cible

XLibris

Utilisation : Individuelle

URL/Références : [Golovchinshy 99], [Schilit & al. 98]

Outil généraliste/spécialisé : généraliste.

Type de média annoté : Texte + images.

Forme de l'annotation : Dessins à main levée.

Logiciel spécifique à l'annotation : Oui.

Ancre : Implicite, Multi-cibles