



Annotations gestuelles pour capitaliser les interactions en environnement virtuel informé: Application à la maintenance industrielle

Jérôme Olive

► To cite this version:

Jérôme Olive. Annotations gestuelles pour capitaliser les interactions en environnement virtuel informé: Application à la maintenance industrielle. Apprentissage [cs.LG]. Université de Technologie de Compiègne, 2010. Français. NNT: . tel-00761106

HAL Id: tel-00761106

<https://theses.hal.science/tel-00761106>

Submitted on 4 Dec 2012

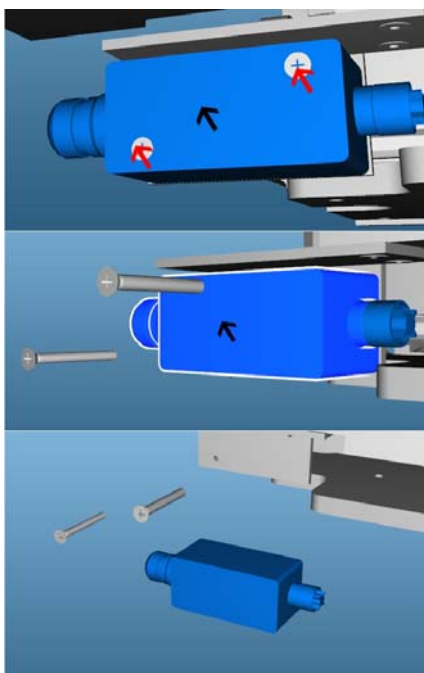
HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

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 **Jérôme OLIVE**

Annotations gestuelles pour capitaliser les interactions en environnement virtuel informé : Application à la maintenance industrielle

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



Soutenue le 14 avril 2010

Spécialité : Technologies de l'Information et des Systèmes

D1855

UNIVERSITÉ DE TECHNOLOGIE COMPIÈGNE

N° attribué par la bibliothèque

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

THÈSE

pour obtenir le grade de

Docteur de UTC

Spécialité : **Informatique**

préparée au laboratoire **Heudiasyc**

dans le cadre de l'École Doctorale **Université de Technologie Compiègne**

présentée et soutenue publiquement

par

Monsieur Jérôme OLIVE

le 14/04/2010

Titre:

**Annotations gestuelles pour capitaliser les interactions en
environnement virtuel informé : Application à la
maintenance industrielle**

Directeur de thèse: **Indira Mouttapa Thouvenin**

Jury

Mme. Annie Lucianni,	Rapporteur
M. Jean-Pierre Jessel,	Rapporteur
M. Ryad Chellali,	Examineur
M. Charles Lenay,	Examineur
Mme. Indira Mouttapa Thouvenin,	Examineur

Merci à vous

Tout d'abord je tiens à remercier Indira Mouttapa Thouvenin qui a dirigé mes travaux durant ces années de thèse, pour ses conseils, son soutien et sa confiance.

Merci aux membres du jury de thèse et particulièrement à Annie Luciani et Jean-Pierre Jessel d'avoir accepté d'être mes rapporteurs et pour leur relecture assidue de mon manuscrit.

Merci à Rogelio Lozano-Leal et Ali Charara pour l'accueil au sein du laboratoire Heudiasyc.

Merci aussi à Thierry Wippf et Louis Forzy, directeurs successifs de l'usine de Continental de Clairoix de m'avoir accueilli pour cette thèse CIFRE.

Merci Charles Lenay et Olivier Gapenne pour leur soutien et accueil au sein du groupe CRED du laboratoire Costech pour la fin de cette thèse.

Merci à Bruno Ramond et Benoit Eynard pour leur accueil au sein du département Génie des Systèmes Mécaniques.

Merci à mes amis et collègues de la salle I101 (Mehdi, Atman, Loïc, Manu, Geoffrey, Guillaume et Amel) et de la salle K100 (Dominique, Fabien, Fabrice et Loïc) pour leur aide technique ou simplement pour leur bonne humeur.

Merci à toi Julie d'avoir été patiente et de m'avoir toujours soutenu.

Et tout cela n'aurait pas été possible sans le soutien et les encouragements permanents de mes parents. C'est à eux que je dois le plus grand MERCI.

Résumé

Annotations gestuelles pour capitaliser les interactions en environnement virtuel informé : Application à la maintenance industrielle

Cette thèse porte sur la capitalisation de connaissances en environnement virtuel informé (EVI) pour la formation à la maintenance industrielle. Un EVI est un environnement virtuel doté de modèles à base de connaissances dans lequel il est possible à la fois d'interagir et de permettre des comportements par interprétation de représentations dynamiques ou statiques. Cependant, aucun système ne propose aujourd'hui de capitaliser les gestes en environnement virtuel. À la suite de la création et de l'étude d'une formation à la production de pneumatique par la réalité virtuelle, nous avons engagé un travail sur la capitalisation de connaissance *in virtuo*. Notre approche est de considérer le geste technique, chorégraphique ou de communication comme une connaissance à part entière. Cette connaissance empirique est habituellement associée au mouvement du corps, d'où la notion de cognition incarnée. Nous proposons un modèle d'annotation gestuelle permettant une capitalisation du geste, sous la forme d'une extension des annotations 3D. Un prototype basé sur ce modèle a été développé (Ptolémée), et permet la capitalisation et le partage de connaissances pour la maintenance industrielle. Les perspectives principales de nos travaux sont l'interaction naturelle, le paramétrage des annotations pour leur réexploitation et enfin l'assistance dynamique à l'apprentissage en EVI.

Abstract

This thesis relates to knowledge capitalisation in informed virtual environment (IVE) for industrial maintenance training. An IVE is a virtual environment including knowledge based models in which it is possible to both interact and allow behaviours by interpretation of dynamic or static representations. Today there is no system proposing a gesture capitalisation in virtual environments. Following the creation and study tire production training by virtual reality, we have initiated a work on knowledge capitalisation *in virtuo*. Our approach is to consider gesture : technical, choreographic or communication gesture as knowledge. This empirical knowledge is usually associated to body movements : this is the concept of embodied cognition. We propose a model of gestural annotation allowing a capitalisation of the gesture as an extension of 3D annotations. A prototype based on this model has been developed (Ptolémée), and allows knowledge capitalisation and sharing of for industrial maintenance. The main perspectives of our work are natural interaction, knowledge capitalisation and finally dynamic assistance for training in IVE.

Table des matières

Merci à vous	3
Résumé	5
Abstract	7
Table des matières	9
Table des figures	15
Liste des tableaux	19
Avant propos	21
I RVPI	23
1 Formalisation du savoir chez Continental Clairoix	25
1 Contexte du projet RVPI	25
2 Méthodologie de conception d'un environnement virtuel de formation	28
2.1 Une co-conception entre l'université et l'usine	29
2.2 Une méthodologie de conception	29
2.3 Extraction des données pour la formation	31
2.3.1 Analyse de la formation existante	31
2.3.2 Extraction du savoir technique	32
2 RVPI : une nouvelle formation assistée par la réalité virtuelle	33
1 RVPI une formation complète	33
1.1 Les cahiers pédagogiques	33
1.2 Le plan de formation par la RV	33
1.3 L'espace formation et le banc physique	34
2 Les modules pédagogiques du simulateur	34
2.1 La visite virtuelle	35

2.2	Le processus de confection	36
2.3	Le mode dégradé	36
2.4	Les réglages de la machine	37
2.5	Le self-contrôle	38
2.6	Le suivi de formation	38
3	Fonctionnement du simulateur	38
3.1	Architecture du simulateur	38
3.2	Connexion OPC	39
3.3	Interface utilisateur	40
3.4	Le moteur comportemental de RVPI	40
3.5	Généricité du simulateur	41
3.5.1	le fichier de dépendance	42
3.5.2	le fichier cinématique	42
3	Bilan de cette nouvelle formation	45
1	Un simulateur de formation efficace	45
2	Un simulateur qui manque d'évolutivité	47
3	Valorisation et déploiement	47
II	Problématiques : la maintenance en environnement virtuel informé	51
4	Maintenance et environnement virtuel	53
1	La conception	53
1.1	Le design	53
1.2	Le prototypage	54
2	Les opérations de management	54
2.1	La planification	54
2.2	La simulation	54
2.3	La formation	54
3	Les processus manufacturiers	55
3.1	L'usinage	55
3.2	L'assemblage	55
3.3	La maintenance	55
5	Geste et connaissance en Environnement virtuel	59
1	Environnement informé et connaissances situées	59
1.1	IRVE	60
1.2	Interactive Objects	60

1.3	VEHA	61
1.4	Annotated Worlds	62
1.5	SmartObjects	63
1.6	V3S	63
1.7	RVPI	63
1.8	MATRICES	64
1.9	EVI : Connaissances, Capitalisation et Interaction	64
2	L'interaction, un geste ?	66
2.1	Taxonomies de Bowman sur l'interaction	66
2.1.1	Mouvement	66
2.1.2	Manipulation	67
2.2	Taxonomie de Poupyrev	68
2.3	Interaction et éinaction	69
3	Geste	69
3.1	Le geste comportemental	70
3.2	Le geste de la performance	72
3.3	La notation chorégraphique	72
3.3.1	La notation Laban	73
3.3.2	La notation Conté	77
3.3.3	La notation Benesh	78
3.3.4	La notation Eshkol-Wachmann	81
3.3.5	La notation Sutton	81
3.3.6	Conclusion sur la notation chorégraphique et gestuelle	84
3.4	Conclusion sur la représentation du geste en environnement virtuel	85
3.5	Limitation du geste en EV	86
6	Problématiques	87
1	Problématique industrielle	87
2	Problématique scientifique	89
III	Annotations gestuelles	91
7	Modèle d'annotation gestuelle	93
1	Annotation 3D	93
1.1	Modèle d'annotation 3D	93
1.2	La temporalisation	95
1.3	La contextualisation	96
TABLE DES MATIÈRES		11

2	Annotation 3D étendue	98
2.1	Le processus d'annotation : une donnée à capitaliser	98
2.2	Le geste comme contenu d'annotation	100
2.2.1	Le geste dans le monde réel et le geste dans le monde virtuel	100
2.2.2	Capitalisation du geste en environnement virtuel	101
2.3	Annotation de lien	104
2.3.1	L'assemblage en environnement virtuel	104
2.3.2	L'annotation de lien	104
2.3.3	Comment représenter l'annotation de lien	104
2.3.4	La lecture d'une annotation de lien	106
3	Conclusion	107
8	Ptolémée	109
1	Architecture	109
1.1	Le client	110
1.2	Le serveur	110
1.3	La communication	111
2	Cas d'application d'un environnement informé	111
2.1	Un environnement de visualisation	111
2.2	Un environnement d'assemblage	112
2.3	Un environnement de capitalisation	112
2.4	Un environnement d'apprentissage	113
3	Connaissance située	113
4	Conclusion	115
9	Conclusion et perspectives	117
1	Conclusion	117
1.1	RVPI	117
1.2	Un modèle d'annotation gestuelle	119
2	Perspectives	119
2.1	Évaluations	119
2.1.1	Expérimentations	119
2.1.2	Validation industrielle	120
2.2	Annotations sensori-motrices	120
2.3	Annotations intelligentes : <i>Smart Annotation</i>	121
2.4	Modification du contenu des annotations gestuelles	121

IV	Bibliographie et annexes	123
	Bibliographie	125
A	Arborescence des modules	133
B	Revue de presse de RVPI	135
C	SportWriting : Skateboard	143

Table des figures

1.1	Machine de confection de pneu 2ème temps - PU15SB	26
1.2	Coupe d'un pneumatique après vulcanisation	27
1.3	RVPI simulateur de formation à la conduite de la PU15SB	28
1.4	Méthodologie suivie pour la création de RVPI	30
1.5	Extrait du simogramme de la PU15Sb en mode de fonctionnement normal	32
2.1	Espace formation : à gauche une ancienne machine comme banc phy- sique	35
2.2	Module visite virtuelle de RVPI	36
2.3	Exemple d'un des modules de test de RVPI	37
2.4	Pupitre de la marque Beckof similaire à celui de la PU15SB	38
2.5	Architecture du simulateur RVPI	39
3.1	Prévision de la durée de la nouvelle formation	46
3.2	Comparaison efficience entre l'ancienne et la nouvelle formation RVPI	46
3.3	Déploiement de la formation RVPI	48
5.1	Taxonomie des textes en environnements virtuels Bowman	61
5.2	Diagramme de packages du méta-modèles VEHA.	62
5.3	Les EVI selon leurs 3 composantes	65
5.4	La boucle «perception, cognition, action» passant par le monde virtuel	66
5.5	Taxonomie du mouvement selon Douglas A. Bowman	67
5.6	Taxonomie de la sélection et de la manipulation selon Douglas A. Bowman	68
5.7	Schéma général de la théorie sensori-motrice de la perception	69
5.8	Point de vue d'un utilisateur de l'interface de Virstoria (extrait de [Kendira, 2010])	71
5.9	Orchesographie tablature de la Branle de Montarde	73
5.10	Système Feuillet : Table des pirouettes	74
5.11	Sténochorégraphie : exemples tirés de l'ouvrage	75

5.12	Laban - Position dans l'espace	76
5.13	Laban - Hauteur	76
5.14	La partition du système de notation Laban.	76
5.15	Exemples de partitions Laban	77
5.16	Division du corps humain selon le système de notation Conté	78
5.17	Les directions intermédiaires du système Conté	79
5.18	Les fléchissements du système Conté	79
5.19	Division du corps humain selon la notation de Benesh	79
5.20	Les pictogrammes de profondeur selon la notation de Benesh	79
5.21	Positionnement des membres selon la notation de Benesh	80
5.22	Chemins des membres selon la notation de Benesh	80
5.23	Exemple de notation du système Benesh	81
5.24	Exemple de notation du système Eshkol-Wachman	82
5.25	Système de référence du système Eshkol-Wachman	82
5.26	Exemple de partition DanceWriting	83
5.27	Exemple de partition SignWriting	83
5.28	Taxonomie pour la capitalisation gestuelle	86
6.1	Capture d'écran de 3DVIA Composer de Dassault Système	88
7.1	MATRICS extrait de [Aubry, 2007]	94
7.2	L'annotation gestuelle vue par MATRICS	94
7.3	Modèle d'annotation 3D extrait de [Aubry, 2007]	95
7.4	Ajout de la temporalisation	96
7.5	Modèle d'annotation 3D étendue	97
7.6	Cheminement pour la création d'annotation	99
7.7	Le processus de création d'annotation	99
7.8	Enchaînement création d'annotation	100
7.9	Exemple de capture de mouvement utilisé dans la danse	102
7.10	Exemple d'analyse de gestes	103
7.11	Arbre d'assemblage virtuel	105
7.12	Parenté dans le moteur 3D	105
8.1	Schéma d'ensemble de l'architecture de Ptolémée.	109
8.2	Capture d'écran du client WEB de Ptolémée.	110
8.3	Exemple de lecture d'annotation. En haut et au milieu lecture des annotations de liens des vis. En bas lecture de manipulation.	114
A.1	Liste des modules du simulateur RVPI	134

C.1	SportWriting : Skateboard figure 1.	143
C.2	SportWriting : Skateboard figure 2.	144
C.3	SportWriting : Skateboard figure 3.	144
C.4	SportWriting : Skateboard figure 4.	144
C.5	SportWriting : Skateboard figure 5.	145
C.6	SportWriting : Skateboard figure 6.	145
C.7	SportWriting : Skateboard figure 7.	145
C.8	SportWriting : Skateboard figure 8.	146
C.9	SportWriting : Skateboard figure 9.	146
C.10	SportWriting : Skateboard figure 10.	146
C.11	SportWriting : Skateboard figure 11.	147

Liste des tableaux

5.1	Critères composant les annotations de Doyle	62
5.2	Avantages et inconvénients des systèmes de notation chorégraphique .	85

Avant propos

Ce mémoire de thèse présente mes travaux réalisés grâce à un financement CIFRE au sein de la compagnie Continental France SAS et plus particulièrement de l'usine de pneumatiques Continental de Clairoix (60). Mon laboratoire d'accueil était le Laboratoire Heudiasyc au sein de l'Université de Technologie de Compiègne.

La première partie de mémoire est consacrée au projet RVPI (Réalité Virtuelle pour la Production Industrielle). Parallèlement à cette thèse de doctorat, j'ai participé à ce projet en tant que développeur et l'ai suivi tout au long de ma thèse : j'en ai effectué la maintenance, j'ai participé à son déploiement et à son transfert. Il a nourri ma réflexion durant ces années.

Cette partie est constituée d'une description de ce projet, tant du point de vue de la conception que de la pédagogie. Elle décrit module par module l'application, et est suivie d'une description plus technique et enfin des résultats.

La seconde partie de ce mémoire pose les bases de notre réflexion scientifique et théorique. Après un état de l'art sur la maintenance industrielle et la réalité virtuelle nous dégageons notre problématique : la capitalisation des connaissances liées à la maintenance en environnement virtuel informé. Cette problématique nous conduit à concevoir un modèle d'annotation gestuelle et son application à la maintenance, illustrée par le prototype Ptolémée.

Dans la troisième partie, nous présenterons nos contributions concernant un système d'annotations gestuelles appliquées à la maintenance. Certaines fonctionnalités du prototype Ptolémée n'ont pu être implémentées pour des raisons de temps. Néanmoins nous ouvrons des perspectives détaillées quand à de futurs développements reposant sur les annotations gestuelles.

Première partie

RVPI

Chapitre 1

Formalisation du savoir chez Continental Clairoux

1 Contexte du projet RVPI

Le projet RVPI¹ est une collaboration entre l'Université de technologie Compiègne et l'usine Continental de Clairoux² appartenant au groupe Continental GmbH³. Cette collaboration avait pour but de réduire le temps de formation et d'augmenter le niveau de connaissance des opérateurs sur une machine complexe. Cette machine nommée PU15SB (voir figure 1.1) fait partie des machines de nouvelle génération au sein de l'entreprise Continental. Son utilisation se fait au stade de la confection deuxième temps d'un pneumatique (assemblage de différentes pièces constituant les pneumatiques, notamment la bande de roulement, les flancs...). Cette machine a la particularité d'être très impressionnante pour un novice. En effet, d'une part son encombrement est conséquent. D'autre part c'est aussi une machine très automatisée donc beaucoup d'éléments de celle-ci sont en mouvement. Commencer une formation directement sur une machine telle que la PU15Sb peut être déroutant pour un nouvel opérateur.

D'autre part le poste sur la PU15Sb a été identifié comme étant un poste posant des problèmes au niveau qualité. En effet, ce poste est un poste clé dans le processus de confection de pneumatiques. Il concerne l'assemblage final du pneumatique avant vulcanisation⁴. C'est à ce niveau de la production qu'il y a le plus de pièces

1. RVPI site Web : <http://www.hds.utc.fr/RVPI/>

2. L'usine de Clairoux est située 5 km au nord de Compiègne.

3. GmbH : Gesellschaft mit beschränkter Haftung (de l'allemand signifiant littéralement « société à responsabilité limitée », ou SARL en français)

4. La vulcanisation est le procédé chimique consistant à incorporer un agent vulcanisant (soufre, le plus souvent) à un élastomère brut pour former après cuisson des ponts entre les macromolécules. Cette opération rend le matériau moins plastique mais plus élastique.

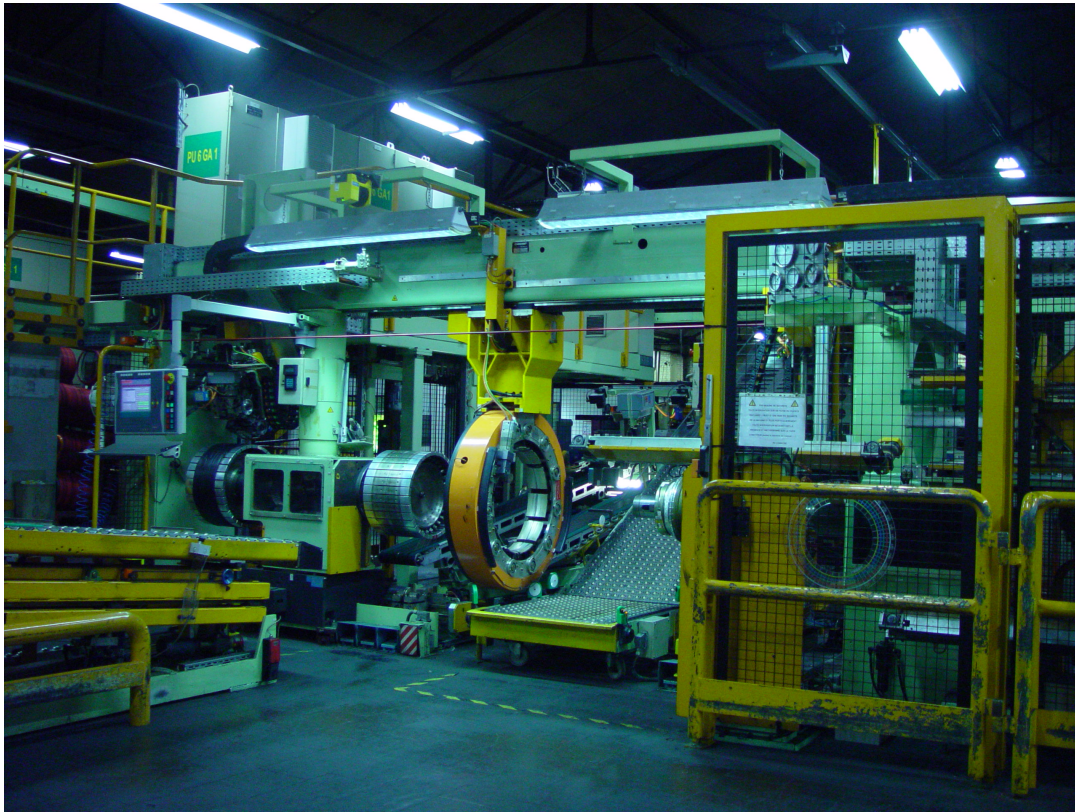


FIGURE 1.1 – Machine de confection de pneu 2ème temps - PU15SB

de pneumatique assemblées entre elles. Un défaut d'assemblage peut entraîner un défaut de structure et donc une mise au rebut d'un produit. Des problèmes d'uniformité et le balourd sont identifiés comme étant issu de la confection second temps. Le centrage des *breakers*⁵, la pose du *spool-bandage*⁶ et la pose de la bande de roulement⁷ doivent être parfaits (c'est au millimètre près). Du fait de la complexité et précision de cet assemblage (voir assemblage d'un pneumatique figure 1.2), un nombre assez important de rebuts sont issus de cette étape. En les réduisant on augmente ainsi la productivité de ce poste ainsi que de l'ensemble de la chaîne. Pour réduire ces défauts d'assemblage, l'opérateur doit avoir une meilleure connaissance du processus de confection du pneumatique et une meilleure connaissance des possibilités de la machine qu'il conduit. Apprendre à régler finement sa machine et comprendre l'influence des paramètres de réglage doit permettre d'éviter beaucoup d'erreurs d'assemblage.

C'est pour toutes ces raisons, que nous avons proposé de créer un simulateur (voir figure 1.3) de cette machine PU15Sb pour permettre d'augmenter le ni-

5. *Breaker* : bande de caoutchouc dans laquelle sont insérés des fils métalliques.

6. *spool-bandage* : bande de caoutchouc fine de caoutchouc venant s'enrouler au dessus des *breakers*.

7. Bande roulement : zone du pneumatique en contact avec la chaussée.

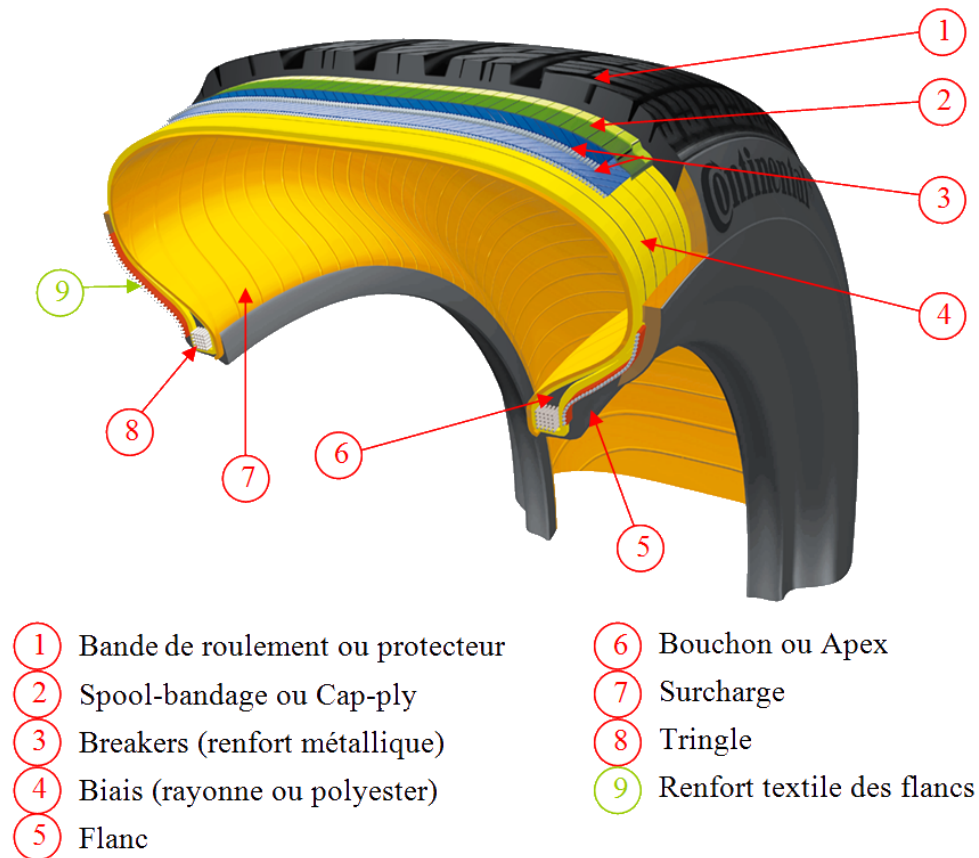


FIGURE 1.2 – Coupe d'un pneumatique après vulcanisation

veau de connaissance des opérateurs sur leur poste de travail et de dépasser leur appréhension.

Pour réduire le temps de formation et augmenter le niveau de connaissance des opérateurs le choix a été fait de refondre entièrement la formation qui avant s'effectuait sur papier et à l'oral. En effet, l'ancienne formation reposait sur un classeur comportant uniquement les règles générales de sécurité et de comportement au sein de l'usine, il ne comportait rien de spécifique à la machine PU15Sb. La partie plus spécifique était dispensée par le formateur à l'oral et ne comportait pas vraiment de standard. L'évaluation de la capacité à la production du nouvel opérateur était laissée à l'appréciation du formateur.

Cette nouvelle formation est centrée sur un outil principal, un simulateur de formation utilisant la réalité virtuelle. Lors de cette formation les opérateurs doivent apprendre les différents organes de la machine de production, son cycle de production dans une configuration dite normale, les réglages qu'un opérateur doit savoir faire avant de lancer sa machine et les moyens de résoudre les dysfonctionnements les plus courants. Pour répondre à ces différents problèmes, l'UTC a conçu une application de réalité virtuelle, faisant dans un premier temps visiter à l'utilisateur la

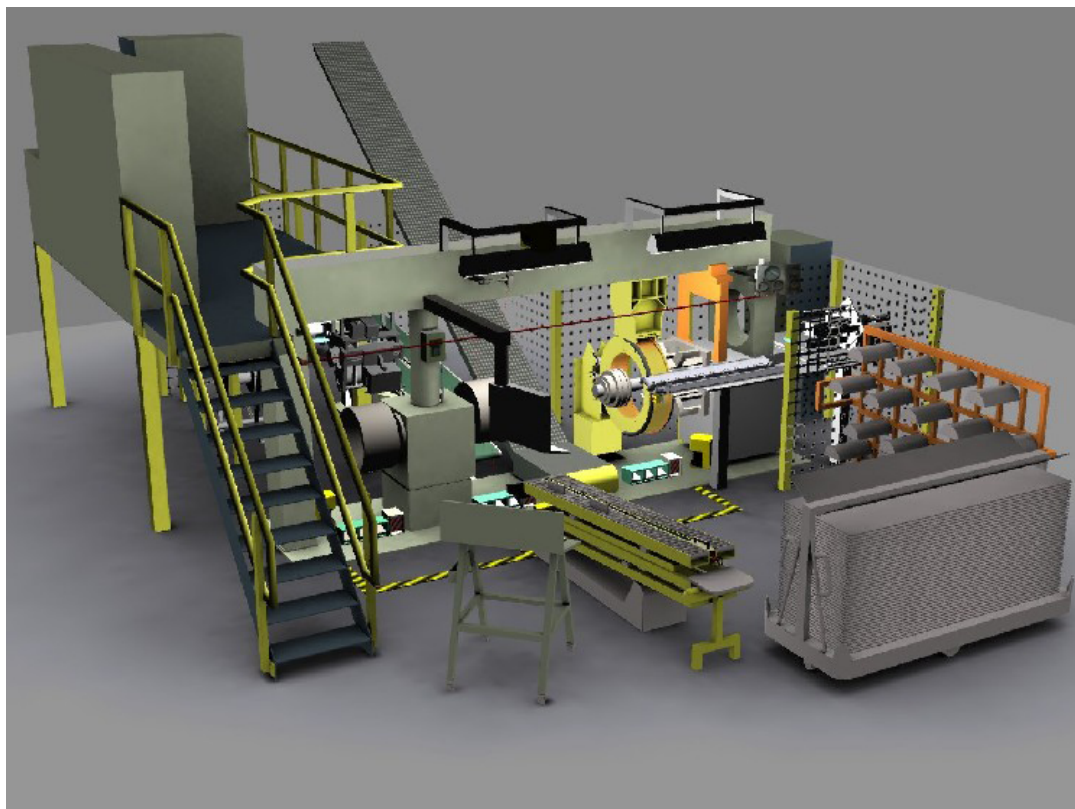


FIGURE 1.3 – RVPI simulateur de formation à la conduite de la PU15SB

machine. Ensuite l'opérateur visionne le cycle de la machine (d'un seul trait, puis étape par étape). Un test permet de contrôler la bonne acquisition des connaissances de l'utilisateur. On retrouve par la suite la même procédure de formation (visionnage, étape par étape et test) pour tous les modules du simulateur (dysfonctionnements et réglages).

2 Méthodologie de conception d'un environnement virtuel de formation

Comme expliqué à la section précédente ce projet de création d'une nouvelle formation est une collaboration entre deux entités bien distinctes, d'un côté le personnel de l'usine de Continental, de l'autre la cellule de réalité virtuelle de l'UTC. De cette collaboration doit émerger une nouvelle formation pour la conduite de la machine PU15Sb, mais pas seulement. C'est aussi le moyen pour les acteurs de ce projet de formaliser et partager leur savoir. Cette section présente les choix qui ont été faits pour permettre ce partage.

2.1 Une co-conception entre l'université et l'usine

Nous partons du principe que ce projet n'est pas le projet de l'une ou de l'autre entité. Il s'agit par conséquent d'un véritable processus de co-conception. Chacune des parties doit amener son point de vue sur le projet. L'UTC apporte son expertise sur les technologies de la réalité virtuelle et de la pédagogie. L'équipe Continental apporte son expertise sur les techniques de fabrication de pneumatiques ainsi que sur les machines de fabrication de ceux-ci. Du côté de l'UTC, les experts sont des développeurs, des ergonomes, des ingénieurs des systèmes mécaniques, des enseignants-chercheurs spécialistes des environnements virtuels de formation. Du côté de Continental, les experts sont des formateurs, des responsables de formation, des techniciens et ingénieurs de production et de maintenance. Ne parlant pas tous le même « langage », il a fallu que chacun découvre la discipline de l'autre. Cette découverte a lieu lors de réunions, visites d'atelier, démonstration de prototype de simulateur. De la même manière, qu'il a fallu aux concepteurs de l'UTC une visite de l'usine pour comprendre comment fonctionnait la production de pneumatique, il aura fallu que ceux-ci développent des petits démonstrateurs pour que le personnel de Continental puisse imaginer le potentiel d'un outil tel que la réalité virtuelle au service de la formation.

2.2 Une méthodologie de conception

Pour la conception (voir figure 1.4) de ce simulateur nous avons suivi une procédure [Olive *et al.*, 2006] bien précise. Dans un premier temps, un comité de pilotage a été formé afin de concevoir ce simulateur. Il regroupe tous les acteurs en relation avec ce dernier, à savoir les concepteurs de l'UTC, des opérateurs et des formateurs. La première étape de la conception a été une étude ergonomique du poste de travail effectuée par un cabinet indépendant.

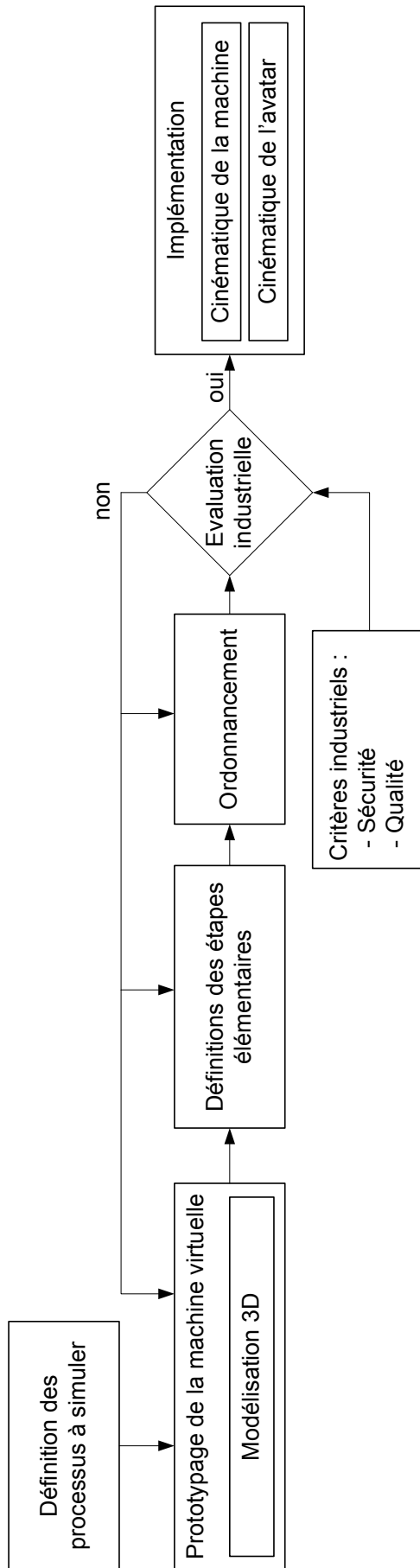


FIGURE 1.4 – Méthodologie suivie pour la création de RVPI

Suite à cette étude, le comité a défini les processus de fabrication sur machine devant être simulés. Suite à cela, une première machine virtuelle a été modélisée. Ensuite les processus de fabrication sont divisés en actions élémentaires (exemple : aller à tel organe de la machine, mise en route du tapis...). Ces actions sont ordonnancées selon le mode opératoire réel de la machine, il en résulte un simogramme (figure 1.5.) du fonctionnement de la machine. La machine virtuelle et le simogramme sont ensuite évalués selon des critères industriels de sécurité et de qualité. Dans le cas d'une évaluation négative, la conception est reprise à une étape précédente (exemple : il manque un organe de sécurité sur la machine virtuelle, nous devons reprendre la maquette virtuelle et ajouter l'élément manquant). Dans le cas d'une réponse positive, l'implémentation du module est lancée, avec la création des cinématiques de la machine et de l'avatar. Cela correspond à la mise en place des actions précédemment citées sur l'environnement virtuel.

2.3 Extraction des données pour la formation

2.3.1 Analyse de la formation existante

L'analyse de la formation précédente a été effectuée par Domitile Lourdeaux suivant une méthode d'analyse utilisée dans le projet APLG (Atelier Pédagogique Générique)[Burkhardt *et al.*, 2005]. Cette méthode est basée sur des questionnaires, des entretiens et des observations, et a permis de proposer des recommandations quant au contenu de la future formation. Les premières recommandations concernent ce que doit permettre le simulateur. La formation doit permettre :

- l'utilisation du pupitre en mode normal
- l'utilisation du pupitre en mode dégradé
- l'apprentissage du geste
- l'apprentissage du self-control

Le premier item concerne une utilisation du pupitre de commande en mode dit « normal », en usage courant. Dans ce mode, l'apprenant doit apprendre les commandes usuelles du pupitre comme : démarrer la production, faire des réglages. Le second item, l'utilisation du pupitre en mode dégradé a lieu en cas d'arrêt de production, par exemple lorsque l'un des sous-produits vient à manquer ou lors d'une rupture de gomme sur des dévidoirs ou encore après un arrêt à cause d'un passage dans une zone sécurité. L'apprentissage du geste, lui, concerne les gestes que l'opérateur doit effectuer pendant la production, ils sont de deux catégories : les déplacements pour aller chercher les sous-produits pour alimenter la machine et les gestes qu'il devra effectuer sur la matière elle même, comme reprendre des soudures de pièces de gommes. Le dernier item concerne le self-control : l'opération que l'opérateur doit ef-

fectuer avant la production pour être sûr que son poste de travail et la machine sont prêts pour la production. Cette étape oblige à contrôler les produits qui alimentent la machine et contrôler le bon réglage de la machine pour la série de pneumatiques à produire.

2.3.2 Extraction du savoir technique

L'extraction du savoir technique a été effectuée par Mehdi Sbaouni. Cette extraction a pour but de récolter les données concernant la cinématique de la machine et de l'opérateur selon le mode de fonctionnement normal dans un premier temps. Puis il a fallu définir la cinématique des cas dégradés. Cette cinématique comprend tous les mouvements de pièces et les déplacements et actions de l'utilisateur. Vous pouvez en voir un extrait sous la forme de simogramme en figure 1.5

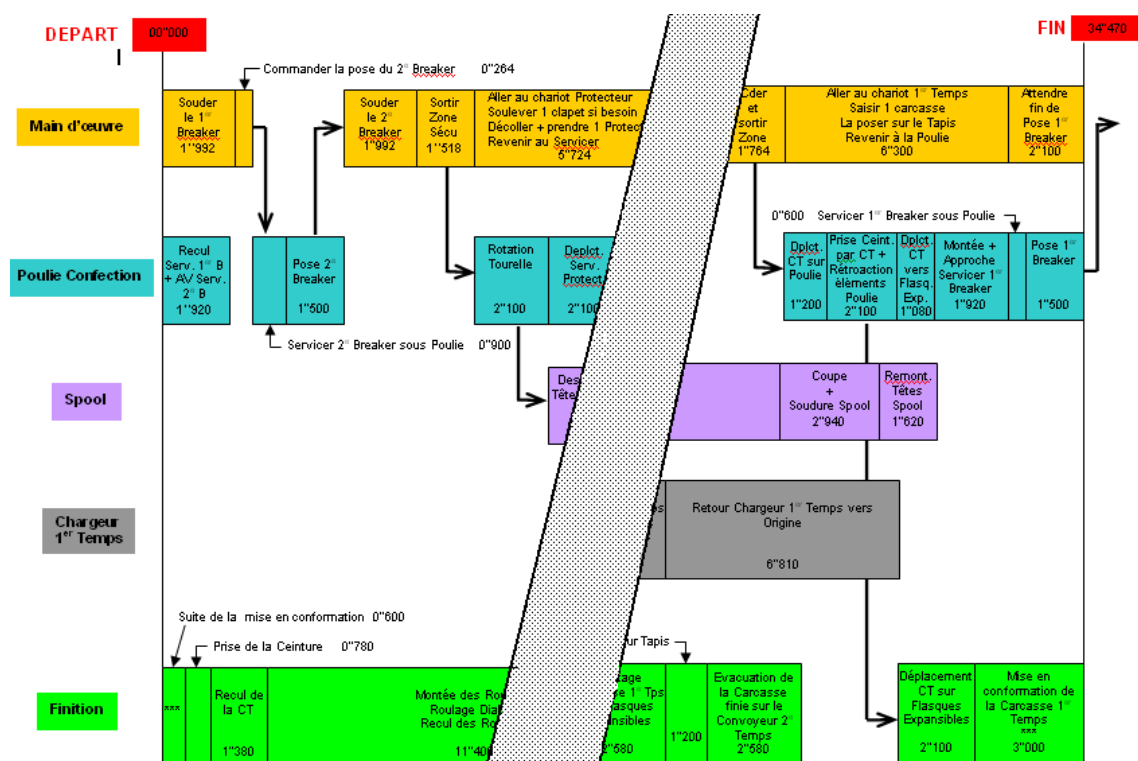


FIGURE 1.5 – Extrait du simogramme de la PU15Sb en mode de fonctionnement normal

Le simogramme présenté est très réduit et décrit les grands ensembles de la machine. Un autre plus précis avec tous les éléments actifs de la machine et modélisant aussi l'activité de l'opérateur est utilisé pour créer les scénarii de la simulation.

Chapitre 2

RVPI : une nouvelle formation assistée par la réalité virtuelle

1 RVPI une formation complète

Plus qu'un simulateur, le résultat du projet RVPI est une formation complète remaniée dans son ensemble.

1.1 Les cahiers pédagogiques

Les cahiers pédagogiques sont l'expression du contenu de la formation (notions abordées dans l'apprentissage, déroulement, discours du formateur,...) et sa transcription sous forme de fonctionnalités pour l'environnement de formation. La réalisation des cahiers pédagogiques a nécessité la mise en place de nombreuses réunions et entretiens de groupe dirigés par une spécialiste de la formation par la réalité virtuelle. Différents référents techniques de Continental ont participé à ces activités : responsable formation, techniciens production, qualité, temps méthode, formateur au poste,... Ces différentes entrevues se sont déroulées sur 4 à 6 semaines avec plusieurs sessions de 2H par semaine.

Les cahiers de formation reprennent les points abordés dans le simulateur et y ajoutent des informations supplémentaires concernant la sécurité, la qualité, les règles de l'entreprise. Ils font le lien entre le simulateur et l'environnement physique : le banc physique et la machine réelle.

1.2 Le plan de formation par la RV

L'utilisation du simulateur et des cahiers pédagogiques s'insèrent dans un plan de formation prédéfini guidant les formateurs dans leurs tâches. Il partitionne les

journées de formation en différentes sessions de une à deux heures. Ses sessions se partagent en exercices sur le simulateur, en travaux pratiques sur le banc physique pour apprendre les gestes techniques et en sessions de production sur la machine PU15Sb. Les premiers jours sont réservés aux travaux sur le simulateur et sur le banc physique avec un glissement progressif sur les sessions de production. Cette transition progressive permet à l'apprenant de se mettre en confiance face à la machine. Elle s'effectue sur les trois premières semaines, avec un temps total sur simulateur et banc physique équivalent à deux semaines. Les trois semaines suivantes sont passées sur machine de production en doublon avec un formateur. La formation est considérée comme terminée lorsque l'apprenant arrive à 100% d'efficacité, c'est-à-dire qu'il produit le nombre de pneus journalier suffisant.

1.3 L'espace formation et le banc physique

Le simulateur est placé dans un espace de formation au sein même de l'atelier de confection de l'usine de Clairoix. Cet espace a été spécialement créé pour accueillir le simulateur. Il est composé du simulateur à proprement dit (les deux blocs gris et bleu sur la figure 2.1, à gauche le pc industriel avec le pupitre, à droite le pc de simulation dans un meuble de protection). A droite en jaune nous retrouvons le banc physique, c'est une machine d'ancienne génération qui précédait la PU15Sb. Elle est utilisée pour entraîner les opérateurs aux gestes techniques et manuels. En effet, le toucher de la gomme des éléments de pneumatiques est une sensation qu'il est à l'heure actuelle impossible de simuler grâce à des interfaces de réalité virtuelle. C'est pourquoi nous avons pris le parti d'utiliser de vraies pièces de gommes sur une machine réelle. L'insertion du simulateur directement dans l'atelier de confection permet principalement d'habituer l'apprenant à son futur environnement de travail. Sons, mouvements des chariots, odeurs de la gomme sont autant de paramètres stressants auxquels l'utilisateur aura à faire face plus tard. Le second rôle de l'insertion du simulateur dans l'environnement réel est de permettre les allers retours entre machine virtuelle et machine réelle et de pouvoir tester de suite les connaissances apprises dans le virtuel.

2 Les modules pédagogiques du simulateur

Le simulateur est décomposé en 27 exercices et leçons. L'arborescence de ses éléments est disponible en annexe A. Ils sont regroupés en modules :

- Visite virtuelle
- Mode opératoire



FIGURE 2.1 – Espace formation : à gauche une ancienne machine comme banc physique

- Réglages
- Dysfonctionnements
- Self-Contrôle

2.1 La visite virtuelle

La visite virtuelle (voir figure 2.2) est un module qui permet à l'utilisateur de parcourir la machine virtuelle dans le but d'acquérir le vocabulaire propre à celle-ci, les différents éléments de la machine, leur but ainsi que des règles de sécurité et de qualité. Ici l'utilisateur a le choix entre deux modes. Le premier est un mode guidé, l'ordre de passage d'un élément à l'autre est figé ou scénarisé. L'utilisateur est observateur. Il a toutefois la possibilité de se déplacer autour d'un objet sélectionné, mais la visite suit quand même un chemin prédéfini, d'objet en objet. Le second mode est un mode de visite libre, l'utilisateur peut ici passer d'un objet à l'autre en cliquant dessus. Il a la possibilité d'utiliser des points de vue prédéfinis en cliquant sur les icônes en bas de l'écran. Ces points de vue ont été sélectionnés par les formateurs durant la phase de conception du simulateur. Les informations affichées sont les mêmes que dans le module précédent : la visite guidée.

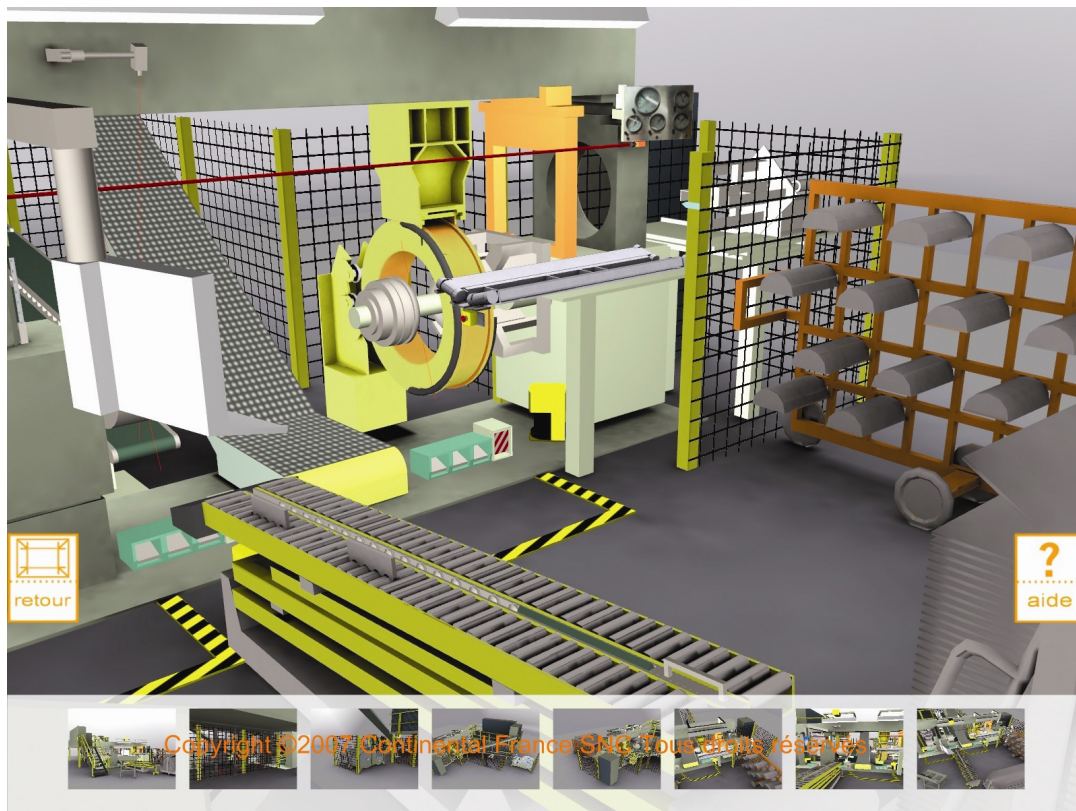


FIGURE 2.2 – Module visite virtuelle de RVPI

2.2 Le processus de confection

Le second module permet à l'utilisateur d'appréhender le processus de confection du pneumatique. Dans un premier temps, il consulte le mode opératoire d'une seule traite, afin de voir un cycle complet de la machine. Ensuite, chaque étape lui est détaillée dans un sous module dit « étape par étape ». Dans ce sous module, des médias sont présentés à l'utilisateur pour agrémenter la formation. Des textes permettent d'assimiler les notions de qualité, sécurité et production. Des images et des vidéos permettent d'approfondir des notions non simulées comme les défauts de matière ou les problèmes d'assemblage du pneu. Un dernier sous-module dit de « test » permet de contrôler les connaissances de l'utilisateur (voir figure 2.3). Il s'agit d'une sorte de questionnaire 3D dans lequel nous allons demander à l'apprenant de guider l'avatar et de choisir les actions à effectuer pour refaire un cycle complet de confection.

2.3 Le mode dégradé

Après ce module processus de confection, il y a des modules concernant des fonctionnements dégradés de ce processus, c'est-à-dire les dysfonctionnements. Ces modules se décomposent de la même manière que le module processus de confection

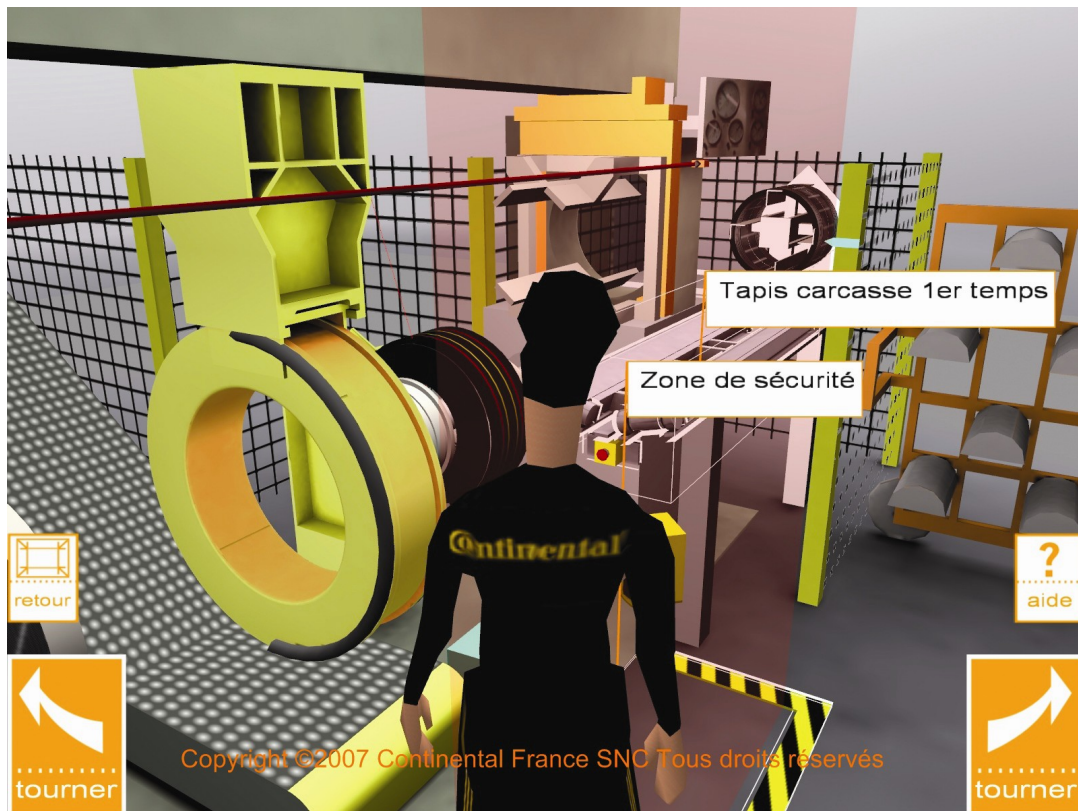


FIGURE 2.3 – Exemple d’un des modules de test de RVPI

exception faite du premier mode le « mode continu ». Dans ces modules, on joue à l’apprenant des scénarii de dysfonctionnements. Le module commence normalement, puis un événement intervient arrêtant le processus de fabrication. L’utilisateur devra remettre la machine en conformité pour la production. Certains dysfonctionnements nécessitent l’utilisation du pupitre de commande de la machine. Dans ce cas, lors des phases de test, l’utilisateur devra utiliser un vrai pupitre de commande relié au simulateur pour pouvoir résoudre le problème dans l’exercice simulé.

2.4 Les réglages de la machine

Ce module concerne les réglages de la machine. Ici l’apprenant va manipuler le pupitre (voir figure 2.4) ou des molettes virtuelles pour régler sa machine. Le parti pris est de permettre à l’utilisateur de visualiser ces réglages directement sur un sous-produit (par exemple : la modification des paramètres de longueur des *breakers*¹ influence la soudure *breaker* sur la ceinture²). De cette manière, l’apprenant comprend l’influence des paramètres modifiés par un jeu d’essais/erreurs pour obtenir le bon produit.

1. *Breaker* : bande de caoutchouc dans laquelle sont insérés des fils métalliques.

2. Ceinture : un des sous-élément conçu lors de la confection deuxième temps.



FIGURE 2.4 – Pupitre de la marque Beckof similaire à celui de la PU15SB

2.5 Le self-contrôle

Ce module concerne les opérations que l'opérateur doit effectuer avant de démarrer sa production. Il doit vérifier les étiquettes des chariots alimentant sa machine en pièces de pneumatiques. Elles doivent être conformes aux dimensions et modèles de pneumatiques qu'il s'apprête à fabriquer. Cette opération est essentielle et fait partie de la démarche qualité de l'entreprise.

2.6 Le suivi de formation

Le simulateur dispose d'un système de suivi de formation qui permet à l'apprenant et au formateur de suivre la progression de ce premier. Ce système est intégré au simulateur sous la forme d'un tableau dans une page web permettant une vue synthétique de la formation et de l'avancement du formé. Ces informations sont enregistrées dans une base de données et archivées à chaque fin de session sous forme de fichiers XML, XLS ou CVS au choix de l'administrateur.

3 Fonctionnement du simulateur

3.1 Architecture du simulateur

Le simulateur RVPI (figure 2.5) est composé de deux éléments physiques distincts. Le premier est un ordinateur industriel ayant pour interface le pupitre de commande réel de la machine de confection PU15Sb. Ce PC contient aussi l'automate de la machine. Il est relié à un autre PC, celui-ci de type grand public

contenant le simulateur proprement dit. La liaison est effectuée par une connexion standard réseau du type Ethernet. Sur ce second PC le simulateur est lui-même composé de deux éléments : une base de données et une interface de type WEB html. Cette interface WEB contient un module 3D (conçu avec le logiciel Virtools) pour la représentation interactive de la machine virtuelle ainsi qu'un module de suivi de formation. Cette interface est supportée par un serveur html Apache accompagné du module PHP. La base de données est, elle, supportée par le SGBD PostGreSQL. Elle contient toutes les informations relatives au suivi de formation et aux utilisateurs. Elle contient aussi tous les champs textes de l'interface WEB en plusieurs langues permettant ainsi un déploiement international. Une communication entre le module 3D et le pupitre de commande est présente. Elle a pour but de permettre au premier de relever les états du second et de pouvoir ainsi adapter l'état de la machine virtuelle à l'état de l'automate. Cette communication est assurée grâce à un plugin³ Virtools, développé en interne, implémentant le protocole OPC. Le protocole OPC est un standard de communication avec des automates industriels.

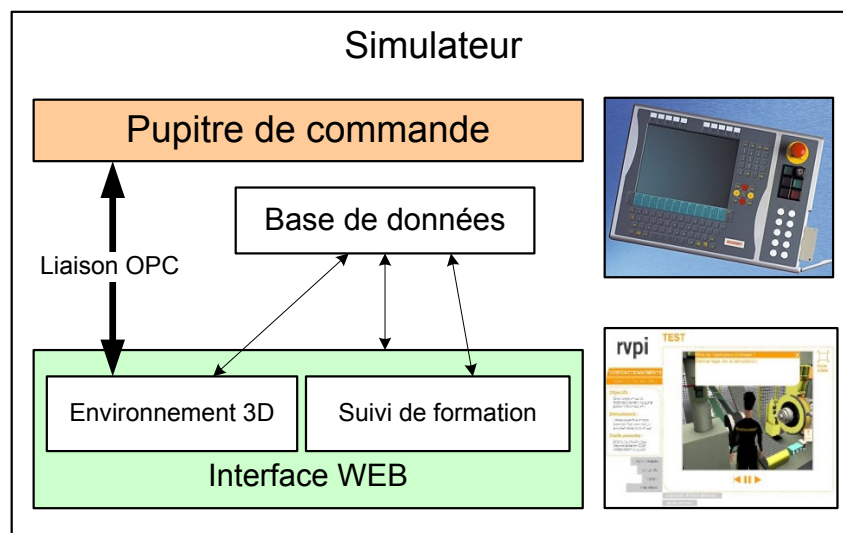


FIGURE 2.5 – Architecture du simulateur RVPI

3.2 Connexion OPC

OPC signifie « Openess, Productivity and Collaboration » et décrit une initiative pour la standardisation de l'échange de données dans l'automatisation. C'est le standard utilisé pour permettre la communication entre deux automates industriels. Nous avons développé un plugin pour le logiciel Virtools intégrant ce protocole, grâce auquel, à partir du module 3D, nous sommes capables de lire et écrire les états de l'automate contenu dans le pc industriel. Par conséquent, nous pouvons récupérer

3. plugin : extension

les actions effectuées sur le pupitre de commande et forcer l’affichage de celui-ci à configuration spécifique au cas étudié (par exemple : faire clignoter un voyant pour signifier à l’opérateur une erreur).

3.3 Interface utilisateur

Comme décrit dans la sous-section 3.1, l’interface utilisateur du simulateur est un site Web interne. Ce système offre plusieurs avantages. Premièrement, l’utilisation d’une technologie Web permet une grande souplesse de développement. En effet, le site intègre l’environnement 3D comme un objet, ce qui permet de le modifier sans toucher à l’interface globale du système. Ensuite cette technologie repose sur une base de données qui gère tout son contenu. On peut donc modifier rapidement l’ensemble des données dans l’interface. Par exemple, on peut traduire l’interface dans une autre langue rapidement. Une fonction de traduction rapide est d’ailleurs présente au sein de l’interface Web. Elle n’est disponible qu’aux administrateurs du simulateur. Le second avantage est que cette technologie Web permet une mise en ligne du système, par exemple sur l’intranet de l’entreprise, donnant à tous un accès à la formation. La base de données apporte aussi un avantage : elle permet de centraliser l’ensemble des informations relatives à la formation en un seul point, même s’il coexiste plusieurs simulateurs. Cela garantit le même contenu de formation pour tous. Enfin le principal avantage de cette interface est une acceptabilité rapide par les utilisateurs. En effet, elle ne nécessite que la souris pour naviguer, qui est une interface désormais connue du plus grand nombre.

3.4 Le moteur comportemental de RVPI

Pour développer l’environnement 3D de RVPI nous avons utilisé le moteur 3D Virtools. Virtools est un environnement de programmation permettant de rendre interactive des environnement 3D. Sa particularité est de permettre une programmation graphique par blocs. Nous avons utilisé ce logiciel pour créer le moteur de comportement de la machine virtuelle. Pour cela nous avons créé 2 types de composition⁴ : la première concerne les visites virtuelles, très simple, elle permet uniquement la navigation libre ou guidée et la sélection d’objets. La seconde composition permet de jouer des scénarii contenus dans des fichiers de dépendance externes (voir section 3.5.1). Beaucoup plus complexe, cette composition est le cœur du simulateur. Celle-ci interprète des fichiers de cinématique, regroupant les différents mouvements de pièces de la machine et de l’avatar, la lecture de média ou encore la demande de

4. Composition Virtools : C’est le type de fichier utilisé par Virtools, les « cmo ». Il contient maquette 3D, textures, shaders et script de comportement...

réponse à une question ou une procédure à effectuer sur le pupitre. C'est donc tout un scénario qui est lu par cette composition. Cette composition gère les modules de visualisation non interactive, de visualisation étape par étape et de test.

Un scénario est une séquence d'actions qui doivent être exécutées soit par le simulateur, soit par l'utilisateur. Cette lecture est régie par une horloge principale. A tout instant, on vient vérifier si le temps égrainé par l'horloge n'a pas dépassé le temps de départ d'une de ces actions. Si c'est le cas, on lance les différentes actions dont le temps départ est dépassé. Comme dans Virtools, le moteur événementiel est synchronisé avec le moteur graphique, la lecture du scénario ne peut se faire qu'une fois pour chaque image calculée, soit pour une simulation fluide à 60 Hertz (environ toutes les 16 ms). Pour lancer une action, le script qui gère l'horloge envoie un message à l'objet devant exécuter cette action. A la réception du message, un script associé à cet objet analyse le message et exécute l'action demandée. Ces actions sont de différentes natures. Elles sont, soit des commandes élémentaires de rotations ou translations, soit des actions plus spécifiques comme envoyer l'avatar vers une pièce de la machine ou encore déclencher une animation, par exemple faire un enroulage matière. Toutes ces actions sont enregistrées dans le fichier cinématique.

Il existe aussi deux autres compositions qui ont été créées spécialement pour les réglages. Elles sont spécifiques à ces modules. Reliées au pupitre, ces compositions ne traitent que des aspects très précis de la formation qui ne pouvaient être généralisés comme les autres. Elles interviennent sur des réglages très fins qui ne pouvaient être intégrés dans le modèle de la machine virtuelle, car ils influencent un comportement de la matière qu'il était difficile de traiter dans un module générique.

3.5 Généricité du simulateur

Comme expliqué dans les sections précédentes, le simulateur a été conçu avec le logiciel Virtools. Virtools permet deux choses : afficher un environnement virtuel et animer cet environnement suivant des comportements prédéfinis et les actions de l'utilisateur. Pour le projet RVPI, nous avons développé un moteur de comportement de la machine PU15Sb. Celui-ci permet d'animer le personnage et la machine, d'afficher des médias, d'interroger l'utilisateur. Pour éviter de tout coder directement dans Virtools, nous avons décidé de créer un moteur de comportement générique pour ce type de simulation. En soi, l'application créée avec Virtools est vide de contenu pédagogique (si l'on excepte la maquette virtuelle). Elle va venir puiser toutes ces informations à l'extérieur de l'application, dans des fichiers créés par nos soins. Ces fichiers sont rangés dans une arborescence représentant l'arborescence pédagogique du simulateur. Puis le contenu de chaque répertoire diffère en fonction

du type de module dont il s'agit. Les deux fichiers suivants sont les plus importants dans la simulation, les autres sont des dépendances de ceux-ci.

3.5.1 le fichier de dépendance

Le fichier de dépendance (`listdep.cfg`) relie un type de fichier, défini par son extension à un type d'objet dans Virtools. Ce fichier permet de déclarer le type de ressources qui seront utilisées dans le simulateur. Il définit aussi le chemin où ce type de dépendance doit être chargée. Par exemple la ligne ci-dessous indique qu'un fichier de type `idx` doit être chargé du répertoire « Texts Kinematics » dans objet Virtools « Array » (tableau) dont la première colonne « Debut » et dernière colonne « Fin » vont contenir des entiers (« Integer »).

```
idx Texts\Kinematics\ Array[Debut:Integer|Fin:Integer]
```

Pour fonctionner, ce fichier est associé dans Virtools à un script de chargement automatique de ces dépendances, créant l'objet qui va contenir les données. Ce script permet aux développeurs de s'affranchir de cette gestion de dépendances et permet une certaine souplesse dans l'arborescence des fichiers de dépendance du simulateur.

3.5.2 le fichier cinématique

Le fichier cinématique est une dépendance chargée par Virtools dans un tableau. Il contient toutes les actions de scénarisation du simulateur. En premier lieu il décrit tous les mouvement de la machine par des actions simples telle une rotation, une translation ou encore jouer des animation pré-calculée comme « enrouler le *breaker*⁵ ». Il contient aussi les déplacements de l'avatar par des ordres tel que « pierre va à tel point de la scène ». C'est ce même fichier qui commande aussi l'apparition de média tels que des vidéos ou textes. On retrouve aussi des points d'attente, lorsque l'on veut que ce soit l'apprenant qui donne l'ordre. Dans ce cas, la cinématique se coupe et attend une mise en état particulière comme un appui sur un bouton du pupitre. La ligne ci-dessous décrit une translation entre le temps 1 s et 250 ms et 2 s de l'objet `Servicer2Breaker` pour une durée de 750 ms de la position -0.3962,0.7872,2.9407 à -0.78778,0.70662,2.37072. Les autres paramètres ne sont pas utilisés.

```
translation 00m01s250ms 00m02s000ms Servicer2EBreaker 00m00s750ms  
-0.3962,0.7872,2.9407 -0.78778,0.70662,2.37072 0.0,0.0,0.0 0:0 1
```

5. *Breaker* : bande de caoutchouc dans laquelle sont insérés des fils métalliques.

Ce fichier cinématique est issu directement du simogramme pour les leçons non-interactives. Pour les autres leçons et exercices ce fichier est créé sur la même base en insérant de nouveaux ordres ou perturbations.

Chapitre 3

Bilan de cette nouvelle formation

1 Un simulateur de formation efficace

Le simulateur RVPI au départ avait pour but d'accompagner une nouvelle formation à la conduite de machine PU15Sb. L'objectif de cette nouvelle formation devait réduire la durée de formation de 8 à 6 semaines (voir figure 3.1 ainsi qu'augmenter le niveau de connaissances des nouveaux opérateurs. Dans les faits, la plupart des formations durent entre 4 et 5 semaines [Olive *et al.*, 2007]. C'est déjà un premier gain par rapport à la formation prévue et donc par rapport à la formation initiale. De plus grâce à l'utilisation du simulateur, la machine réelle est moins utilisée. En effet dans la formation initiale une machine réelle était nécessaire du début à la fin de la formation, soit pendant huit semaines. Dans la formation prévue seul 50% du temps de la formation est utilisé pour la conduite d'une machine réelle, 3 semaines contre 8 auparavant. Cela représente un gain supérieur à 60%. Dans la réalité nous pouvons même réduire cette période à 2,5 voir 2 semaines, donc presque un gain de 75% du temps. Cela est dû en grande partie à l'utilisation du simulateur dans les premières semaines.

La figure 3.2 présente la comparaison entre l'efficacité des opérateurs sur la machine durant la première formation et la seconde avec le simulateur. On peut remarquer que, par rapport à l'ancienne, les opérateurs présentent une capacité à la production dès les premiers jours bien supérieure. Cela signifie que lors des passages sur machine durant la formation les formés tiennent des cadences de productions équivalentes au minimum à 50% à une production normale. Cette amélioration permet un gain de production dès le premier jour de formation. Même si la progression de l'efficacité est inférieure par rapport à l'ancienne formation, le niveau d'efficacité est tellement supérieur dans cette nouvelle formation et cela dès le premier jour que l'on peut facilement en déduire que les opérateurs prennent bien plus rapidement en main la machine avec la nouvelle formation. De plus ces résultats ne comparent pas

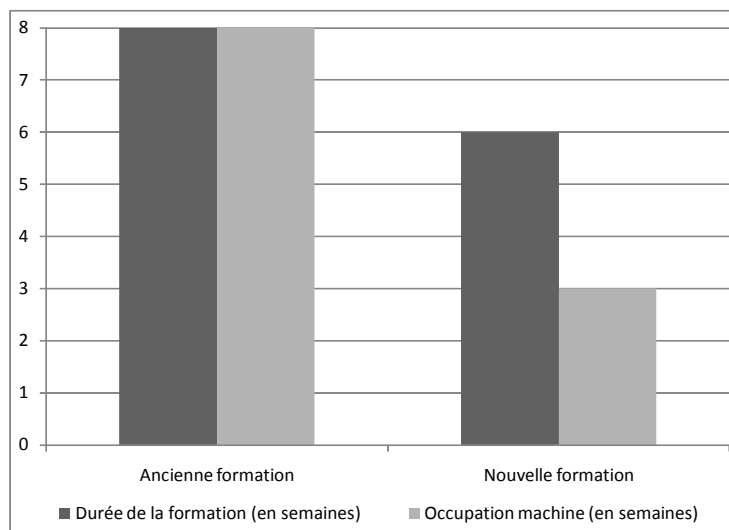


FIGURE 3.1 – Prévion de la durée de la nouvelle formation

d'autres paramètres comme le niveau de connaissance, qui ne peut-être comparé à l'ancienne formation car la nouvelle formation fait appel à des connaissances bien plus vastes que la première, notamment sur les réglages et dysfonctionnements.

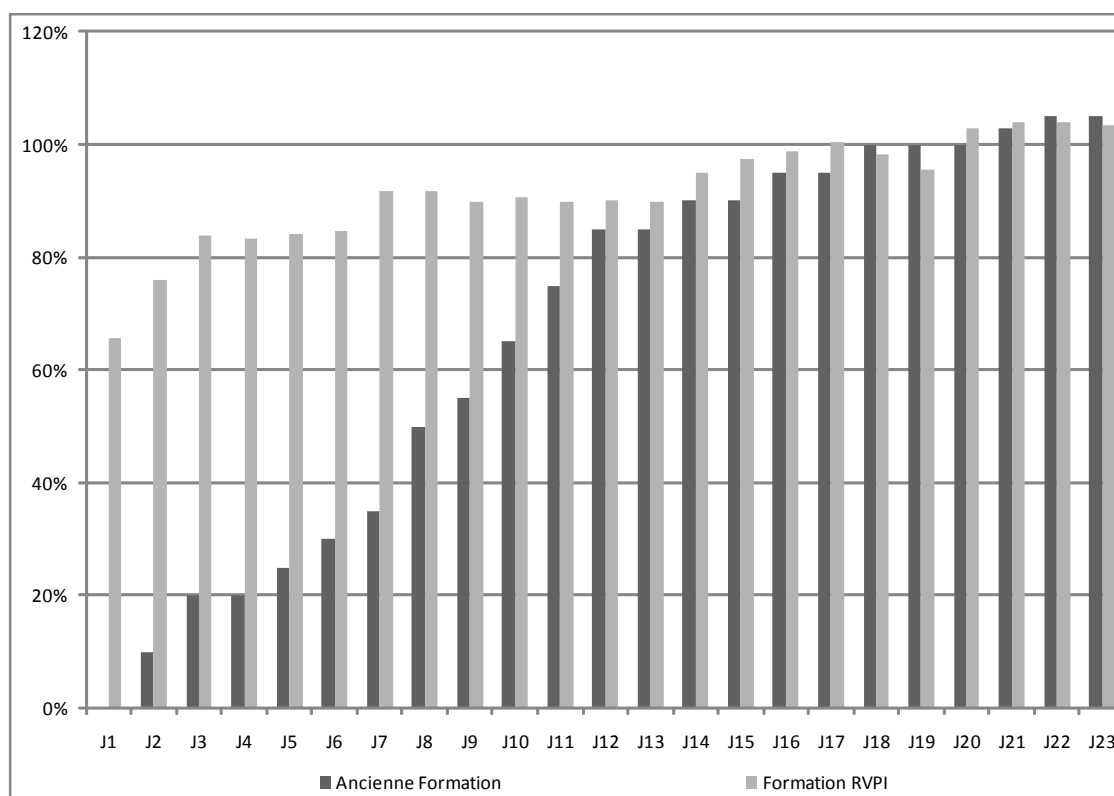


FIGURE 3.2 – Comparaison efficience entre l'ancienne et la nouvelle formation RVPI

Le gain de production grâce à la nouvelle formation a été estimé à 2200 pneus par formés, soit environ 4 jours.homme de production sur les 6 semaines de formation.

En plus, du gain de temps gagné sur la durée totale de la formation le simulateur permet de produire plus de pneus dès le début de la formation.

De plus récents résultats en Roumanie montrent que les opérateurs sont 54% plus efficaces lorsqu'ils passent sur machine et que le niveau de qualité augmente de 25% par rapport à la précédente formation directement sur machine. De même dans l'usine de Clairoix, le temps de formation est réduit de 50% et la machine est libérée pendant la formation sur simulateur.

2 Un simulateur qui manque d'évolutivité

Ce simulateur est comme nous l'avons vu plus haut une application très utile et qui a prouvé son efficacité. Toutefois celui-ci présente un inconvénient majeur : il est figé. Cette rigidité s'exprime en premier lieu dans le contenu de formation. En effet, même si l'architecture permet de construire une nouvelle formation sur ce système, malgré la généricité évoquée auparavant, le système ne peut être modifié que par les concepteurs. Toute modification est très coûteuse en temps et en investissement. Des modifications un peu plus complexes comme modifier une partie de la machine, changer le comportement d'un élément nécessite d'avoir des compétences en réalité virtuelle, voire même d'avoir appartenu à l'équipe de développement du simulateur. Même sans changer la machine virtuelle et son comportement, il est très difficile de modifier le contenu de formation. Ainsi dans le cadre d'une nouvelle formation ou d'un changement de procédure, le système doit être repris par les concepteurs. En effet, il n'y a pas d'outils intégrés pour la capitalisation de nouvelles connaissances (ajout de média, modification de l'ordre des opérations, ajout d'une opération). C'est un besoin exprimé par les utilisateurs finaux : les formateurs. Leur principale demande concerne le fait qu'ils ne peuvent pas modifier le simulateur eux-même-, notamment tout ce qui est procédure de confection.

Deux solutions ont été envisagées pour répondre à ce besoin :

- La création d'une jeune start-up Reviatech, dont la technologie est adaptée à l'évolution d'une formation sur machine industrielle ;
- nos travaux de recherche portant sur la capitalisation des connaissances en environnement virtuel informé.

3 Valorisation et déploiement

Outre son succès en tant qu'outil de formation dans l'usine Continental Clairoix, l'environnement de formation RVPI a reçu le prix Imagina 2008 de la meilleure performance dans la catégorie industrielle à Monaco le 31 janvier 2008.

Le simulateur est désormais déployé dans d'autres usines du groupe (voir carte figure 3.3). Il a subi pour cela des modifications spécifiques à ces usines. En effet, la machine PU15SB des usines de Timisoara (Roumanie) et Camaçari (Brésil) diffère de celle de Clairoix. Elle possède moins de systèmes automatiques (transporteur, chargeur...) et donc la morphologie de la machine change ainsi que la procédure qui en découle. Il a donc fallu faire des ajustements en commençant par modifier la maquette 3D, puis le cycle normal de production. Les autres procédures ont été modifiées suivant ce cycle de référence. La modification de la maquette n'a pas changé le cœur du système. Le moteur comportemental est resté le même. Seuls de nouveaux objets sont venus en remplacer d'autres. Ce qui a changé c'est évidemment les fichiers cinématiques qui dépendent fortement de la maquette virtuelle et des procédures qui sont différentes dans ces usines. Ce déploiement s'est finalement déroulé comme un mini projet RVPI, car il a fallu initier de nouveaux interlocuteurs à cette technologie. Mais nous avons déjà un bon exemple pour travailler de concert avec eux. Ici c'est par différence, avec le premier simulateur que nous avons travaillé. Dans un premier temps, les différences physiques de la machine ont été relevées. Cela nous a permis de définir une nouvelle maquette virtuelle, éléments par éléments. Puis, cette maquette a donné lieu à la définition d'un nouveau simogramme. C'est à partir de celui-ci que nous avons créé les nouveaux modules de formation. Pour ce qui est de la traduction en Roumain et Portugais le système n'a souffert d'aucune défaillance grâce à son système de dépendances externes. En effet tous les médias (textes, images, vidéos) du simulateur sont dans des fichiers externes classiques (.txt, .jpg, .avi).

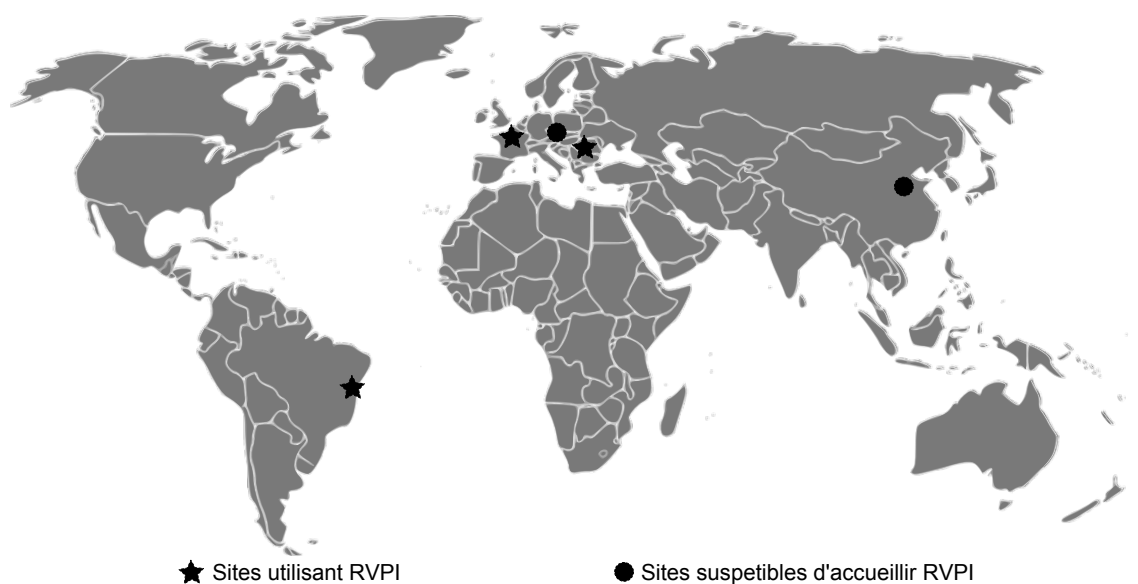


FIGURE 3.3 – Déploiement de la formation RVPI

Le projet RVPI, par son déploiement, au sein du groupe participe à la création

d'un standard de formation. L'extraction du savoir permet de fixer les procédures et interventions qu'un employé doit connaître sur la machine. Sa diffusion permet le partage d'une connaissance commune autour de cet outil.

L'environnement et le terreau créés par ce projet a permis la création d'une startup, lauréate du concours Oséo, Reviattech¹. Elle propose une nouvelle technologie qui permet de créer des formations 3D interactives autour de la simulation d'une machine industrielle, cette technologie permet au formateur de créer leur propre contenu de formation, basé sur la maquette virtuelle d'une machine ou chaîne de production.

Le projet RVPI a été cité dans plusieurs articles de presse disponibles en annexe B et plus récemment un article dans CAD Magazine relate ce projet avec Continental et notamment le dernier portage de RVPI en Roumanie.

Ce projet a permis au groupe Continental de découvrir les apports de la réalité virtuelle en formation. Désireux de poursuivre leur collaboration avec l'Université de Technologie de Compiègne dans un contexte mondial d'innovation, une réflexion a été menée en lien avec le centre de R&D du groupe à Hanovre. Les discussions entre les chercheurs de l'UTC et ceux de Continental ont permis de dégager les attentes du groupe en terme de maintenance : c'est l'objet de la seconde partie de mon mémoire.

1. Reviattech : <http://www.reviattech.com/>

Deuxième partie

Problématiques : la maintenance en environnement virtuel informé

Chapitre 4

Maintenance et environnement virtuel

Dans la première partie de ce mémoire, nous avons présenté un outil de formation pour la production. La question qui se pose maintenant est de proposer une formation plus précise concernant les dysfonctionnements au cours de la production. Les dysfonctionnements légers font partie de la formation à la production. Les dysfonctionnements plus lourds sont du ressort de la maintenance. Il est donc important de pouvoir adapter les techniques de réalité virtuelle à un autre domaine de l'industrie manufacturière : la maintenance. Selon [Mujber *et al.*, 2004], les applications de la réalité virtuelle et de la réalité augmentée liées dans le domaine de l'industrie manufacturière se divisent en trois catégories : la conception, les opérations de management et les processus manufacturiers.

1 La conception

Dans la première catégorie, la conception, [Mujber *et al.*, 2004] distinguent deux sous-groupes : le design et le prototypage. Ces deux catégories utilisent la réalité virtuelle de deux manières différentes.

1.1 Le design

Les environnements virtuels sont utilisés pour le design afin de partager un modèle d'objet(s) commun(s) aux différents acteurs de décision de la conception. On retrouve dans ce genre de projet un besoin de travailler ensemble. Afin de travailler autour d'une même maquette virtuelle, deux solutions sont envisageables. La première est représentée par les écrans de projection stéréoscopique où tous les concepteurs ont la même vision de la maquette. La seconde solution utilise des

systèmes collaboratifs permettant une collaboration distante, synchrone ou non, (IDVS [Lau *et al.*, 2003], MATRICS [Enembreck *et al.*, 2004, Aubry, 2007]).

1.2 Le prototypage

Le prototypage a pour but de mettre en situation un objet virtuel issu du design. Cette mise en situation permet de tester cet objet dans son futur environnement. Ici la réalité virtuelle évite de devoir construire une maquette réelle pour tester l'objet en environnement réel. Deux possibilités s'offrent à l'utilisateur : un objet virtuel dans un monde virtuel pour la réalité virtuelle ou un objet virtuel dans l'environnement réel pour la réalité augmentée.

2 Les opérations de management

Dans ce groupe, on distingue trois sous-groupes : la planification, la simulation et la formation. Ici on essaie de prévoir les comportements réels dans l'environnement virtuel.

2.1 La planification

La planification permet aux utilisateurs de prévoir un cycle de production dans son ensemble, de prévoir les flux de matériaux et de produits et les flux humains ainsi que de prévoir l'installation des différentes machines dans le but d'améliorer les temps de production et l'ergonomie de travail. Typiquement l'application d'usine virtuelle se place dans ce cas.

2.2 La simulation

La simulation utilise la réalité virtuelle comme support de visualisation de ses résultats pour avoir une meilleure vision d'ensemble des résultats ou pour convaincre que celle-ci est réaliste [Rohrer, 2000].

2.3 La formation

La formation en environnements virtuels immerge les opérateurs dans un environnement pouvant contenir l'ensemble du processus de fabrication. Dans cet environnement, l'utilisateur peut explorer ses propres choix sans risque pour lui-même ou pour la production [?].

Concernant plus précisément l'apprentissage du geste, le rapport [Dupuy *et al.*, 2000] propose une séparation entre apprentissage du geste et

apprentissage des connaissances. Par geste, ces auteurs entendent : manipuler une structure ou faire un geste précis ; par connaissance ils entendent : apprendre des concepts ou une manière de structurer son raisonnement.

3 Les processus manufacturiers

3.1 L'usinage

L'usinage virtuel est la visualisation d'une simulation d'une machine outil, spécifique à la production industrielle. Il permet de vérifier la bonne réalisation d'un objet par celle-ci et de tester sa configuration. Ce type de système est souvent relié à l'automate réel de la machine [Moore *et al.*, 2003].

3.2 L'assemblage

Dans ce sous-groupe, on utilise la RV pour simuler l'assemblage de deux pièces pour déterminer la meilleure manière d'assembler ces deux pièces et donc trouver le bon geste permettant un assemblage rapide comme dans le projet VADE [Jayaram *et al.*, 1999]. Lors de ce projet, il a été prouvé que l'utilisation des environnements virtuels comme aide à l'assemblage permet de diminuer les temps d'assemblage de 30%. De même, [Tang *et al.*, 2003] ont démontré que l'utilisation de la réalité augmentée diminue de 80% les erreurs d'assemblage. Par cette même technique, on peut prévoir les opérations de maintenance nécessitant un démontage/assemblage.

La société ICIDO [IC.IDO, 2009] propose une méthode d'assemblage - désassemblage par contraintes, où la manipulation des pièces qu'ils proposent repose sur des contraintes géométriques. Les pièces glissent les unes sur les autres selon leurs encombrements respectifs. Leur système ne possède pas d'interface haptique pour donner à l'utilisateur un retour d'effort correspondant aux collisions et aux frottements. Pour déplacer une pièce, l'utilisateur tire sur une pièce et celle-ci suivra automatiquement le chemin de moindre contrainte pour sortir de son emplacement.

3.3 La maintenance

La réalité virtuelle est utilisée pour visualiser tout le processus de maintenance afin de prévoir tout problème avant la production [Lee *et al.*, 2001]. Les principaux problèmes résolus par la réalité virtuelle pour la maintenance sont le plus souvent les problèmes d'accès. Par exemple, pour prévoir un démontage particulier, on va

utiliser conjointement des moteurs de simulations basés sur la physique pour gérer les collisions et l'haptique pour le ressenti et la manipulation. C'est le cas des projets de démontage de pièces mécaniques dans le PERF-RV [PERF-RV, 2004], comme par exemple, le démontage lève vitre de Renault Mégane ou d'une pièce d'un mât de réacteur d'A340 d'Airbus).

Les autres applications de la réalité virtuelle pour la maintenance sont plus orientées vers la formation.

La réalité augmentée, du fait de son intégration au réel, est plus souvent utilisée pour assister le chargé de maintenance à accéder à des informations directement dans l'environnement réel : guide pour l'extraction de pièce, vue en transparence à travers un objet, aide au diagnostique... Il existe plusieurs projets utilisant la réalité augmentée comme outils dédiés à l'aide à la maintenance.

Un des plus gros projets concernant la réalité augmentée et pour de la maintenance est ARVIKA [ARVIKA, 1999]. C'est un projet financé par l'état allemand permettant un support aux procédures à suivre en environnement industriel. Ce système a déjà plusieurs applications notamment dans l'aéronautique et dans la construction automobile. Le second STAR-MATE [Starmate, 2003, Schwald *et al.*, 2001, Schwald et de Laval, 2003] (SysTem using Augmented Reality for Maintenance, Assembly, Training and Education) propose d'aider les opérateurs de maintenance en proposant des guides à la pose et dépose d'éléments mécaniques ainsi que des documentations techniques, le tout agrémenté d'aides visuelles et sonores. Celui-ci est utilisé dans la construction aéronautique, optronique ou encore dans la maintenance nucléaire.

AMRA [Didier *et al.*, 2005] (Assistance à la Maintenance par la Réalité Augmentée) est un projet qui a pour but de fournir à l'opérateur de maintenance les informations nécessaires sur son poste de travail : base de données GMAO, plans, vidéos de démontage...

KARMA [KARMA, 1993] (Knowledge-based Augmented Reality for Maintenance Assistance) est un prototype d'aide à la maintenance d'imprimante permettant de visualiser en transparence l'objet maintenu et ses différents éléments, ainsi que leur chemin de pose et de dépose.

Plus récemment T.A.C. de [Bottecchia *et al.*, 2008] propose une assistance et une collaboration utilisant un système de réalité augmentée sans marqueurs et fortement axé sur la co-présence. Ce système utilise le paradigme d'interaction P.O.A [Bottecchia *et al.*, 2009] pour Picking Outlining Adding, qui permet à un expert d'ajouter du contenu sur la vue de l'intervenant de maintenance.

Une application très proche de cette dernière, le simulateur d'entraînement à la

maintenance [Pentenrieder *et al.*, 2009], est présenté dans le projet européen DiFac¹ (Digital Factory for human oriented production system), qui permet d'une manière similaire une collaboration entre agent de maintenance et expert.

Il y a donc déjà beaucoup d'applications de réalité virtuelle pour la maintenance. La plupart sont des outils de formation ou d'aide à la maintenance en temps réel (des guides virtuels), voire de l'assistance coopérative. Ces applications proposent des animations de démontage de pièces ou de l'assistance en ligne assistées par la réalité augmentée.

Cette analyse de l'état de l'art sur la maintenance nous a conduit à la question de la capitalisation des connaissances à travers un environnement virtuel dans l'optique de transmettre une meilleure compréhension d'un processus ou du fonctionnement d'un système, mais également de percevoir et de mémoriser des actions. Dans le cadre de la maintenance, les actions menées sont de l'ordre du geste technique. Cela nous amène donc à nous intéresser dans les chapitres suivants à cette question du geste.

1. DiFac site web : <http://www.difac.net/>

Chapitre 5

Geste et connaissance en Environnement virtuel

Comme nous l'avons conclu au chapitre précédent, il est nécessaire de pouvoir capitaliser le geste technique de maintenance. Ce chapitre abordera différents concepts permettant de créer un contexte scientifique et technique nécessaire pour les chapitres suivants concernant notre modèle de capitalisation du geste par les annotations gestuelles et son application : le logiciel Ptolémée.

La première section de ce chapitre portera sur les environnements informés (EVI) et sur la connaissance située. Après une définition de ces deux concepts, nous en donnerons des exemples et références.

La seconde section, s'attachera à décrire ce qu'est l'interaction en environnement virtuel et à faire son rapprochement avec le geste dans le réel.

La dernière section abordera les aspects de la capitalisation du geste et notamment son écriture. Les domaines de la danse et plus particulièrement de l'écriture chorégraphique et du geste performance avec la capture de mouvement par exemple en sport ou pour la création d'animation seront abordés.

1 Environnement informé et connaissances situées

Il y a différentes définitions pour les EVI (Environnement Virtuels Informés) dans la littérature.

[Aylett et Luck, 2000] décrivent un environnement virtuel intelligent comme l'intersection de la réalité virtuelle, de l'intelligence artificielle et de la vie artificielle.

[Bowman *et al.*, 2003] définissent un environnement virtuel largement informé permettant d'aider l'utilisateur et de lui fournissant des informations de façon

intégrée au monde 3D.

[Donikian, 2004] introduit l'EVI(Environnement Virtuel Informé) comme étant un environnement virtuel dont les modèles 3D contiennent non seulement la géométrie de la scène mais aussi toutes les informations pertinentes pour les entités comportementales à simuler comme les éléments symboliques ou sémantiques qui peuvent permettre à ces entités de percevoir, décider et agir.

La dernière définition nous vient de [Thouvenin, 2009] qui considère l'EVI comme un environnement virtuel doté de modèles à base de connaissance dans lequel il est possible à la fois d'interagir et de permettre des comportements par interprétation de représentations dynamiques ou statiques.

Il existe différentes formes d'EVI. On peut catégoriser les EVi en deux branches selon la cible des connaissances inscrites dans ceux-ci. La première cible est l'humain. Dans ce cas, on désire communiquer des connaissances à une personne soit dans le cadre d'un apprentissage soit dans le cadre d'une communication. La seconde cible est l'agent autonome. Ici, il s'agit de renseigner cet agent sur l'état du monde virtuel, pour lui permettre d'agir dans celui-ci. Ces connaissances permettent à l'agent, qui peut être un PNJ (personnage non joueur), d'avoir un comportement cohérent dans l'environnement, comme se comporter comme un humain.

1.1 IRVE

IRVE pour Informed-Rich Virtual Environnement [Bowman *et al.*, 2003] est un environnement enrichi d'informations (données) abstraites. Dans ce système, l'information se présente sous une forme textuelle. Bowman en tire même une taxonomie des techniques d'affichage du textes dans les IRVEs (voir figure 5.1).

1.2 Interactive Objects

Laurent Aguerreche [Aguerreche *et al.*, 2009] propose que les objets avec lesquels les utilisateurs vont interagir possèdent des informations sur la manière dont les outils virtuels vont réagir à eux. Pour cela, il fait la distinction entre l'outil virtuel d'interaction et l'interface "réelle" d'interaction. Par exemple le Wand¹ (l'interface) manipule le rayon virtuel dans le cas du ray-casting². L'objet va présenter à l'outil comment interagir avec lui (par exemple en agissant sur sa position). De la même manière l'objet en réponse à une manipulation peut agir sur l'outil (par exemple en

1. Un wand est un dispositif d'interaction utilisé en réalité virtuelle. C'est en fait une sorte de joystick (télécommande, baguette) comprenant des boutons et permettant de déplacer un pointeur en trois dimensions. Grâce à un capteur, l'ordinateur peut obtenir la position et l'orientation exacte du wand dans l'espace.

2. Ray-casting : Méthode de sélection d'un objet dans l'environnement grâce à un rayon virtuel

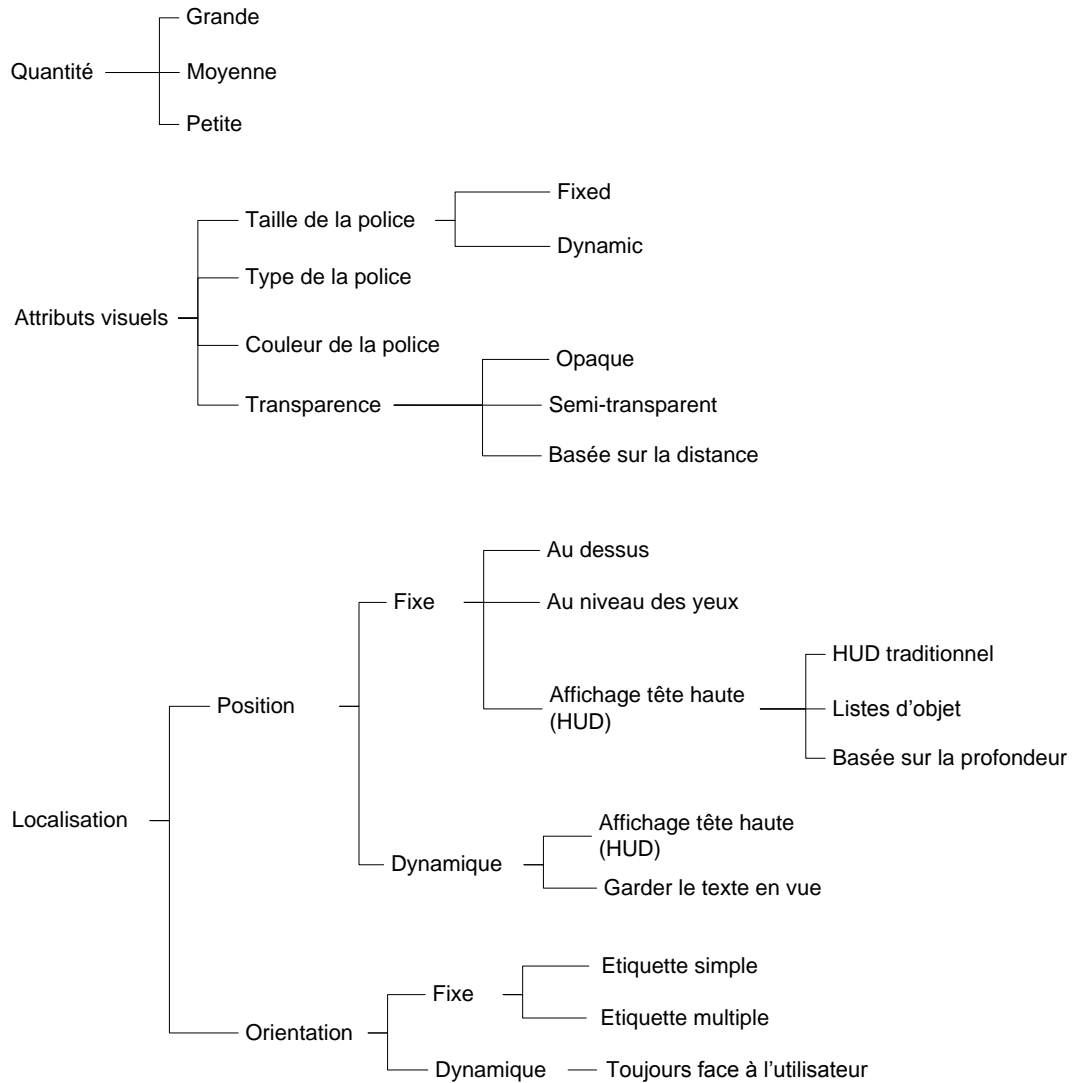


FIGURE 5.1 – Taxonomie des textes en environnements virtuels Bowman

déplaçant celui-ci ou en le déformant pour montrer une résistance). C'est donc bien un environnement informé, ici pour la manipulation, que propose l'auteur.

1.3 VEHA

Dans sa thèse [Septseault, 2007] propose un environnement virtuel informé basé sur le méta-modèle VEHA ³[Chevaillier et nad C.Septseault, 2009, Querrec, 2002, Buche, 2005]. VEHA est composé de 3 modules : Kernel, Entity, Behavior. Le premier module Kernel décrit les concepts et objets qu'un utilisateur peut manipuler dans l'environnement. Il est une restriction au Kernel de UML sur lequel est basé VEHA. Le module Entity décrit lui les différentes entités (objets 3D) qui peuvent composer un environnement virtuel. Il les décrit notamment topologiquement. Le

³. Virtual Environment for Human Activity

module Behavior s'intéresse lui aux comportements. La figure 5.2 présente comment sont connectés ces trois méta-modèles.

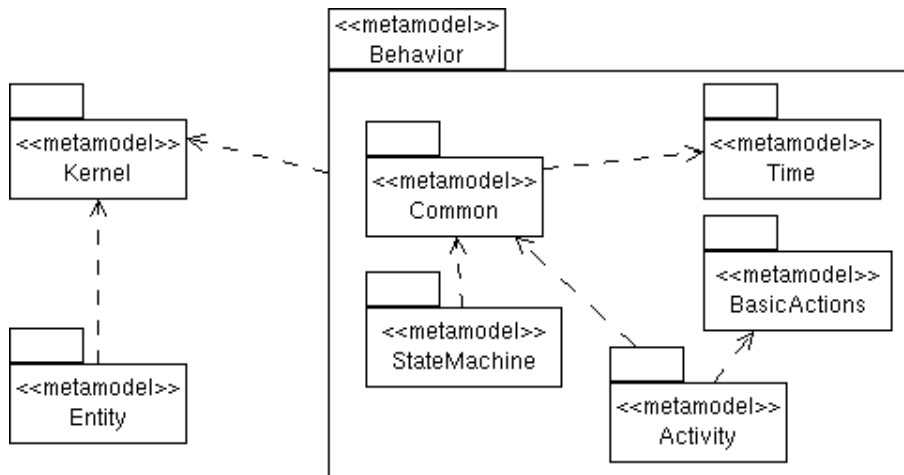


FIGURE 5.2 – Diagramme de packages du méta-modèles VEHA.

1.4 Annotated Worlds

Doyle [Doyle, 2004] dans sa thèse décrit un système d'annotations du monde pour permettre l'animation de personnages virtuels autonomes (PVA). Ce système se base sur une taxonomie de l'annotation qui lui permet de décomposer les annotations suivant plusieurs critères ou « dimensions ». Il met ses critères en « opposition » (voir table 5.1).

Descriptive		Directive	
Entité	Relation	Opération	Événement
Contenu	contexte	but	structure
Efficace		Affective	
Passive		Active	
Statique		Dynamique	

TABLE 5.1 – Critères composant les annotations de Doyle

La première dimension de l'annotation va indiquer au personnage virtuel autonome si l'annotation concerne un fait sans qu'il soit indiquer comment l'utiliser, l'annotation sera alors descriptive. Dans le second, cas elle sera directive et concernera un fait pour lequel le PVA devra modifier son comportement.

La seconde dimension indiquera le sujet de l'annotation. Celui ci peut être soit une entité (objet physique ou concept abstrait), soit une relation entre entités, une opération (action sur une entité) ou un événement (changement de l'environnement virtuel).

La troisième dimension concerne le contenu de l'annotation et informe si c'est une description, un contexte (indication sur la pertinence d'informations selon certaines circonstances), une intention (indique que certains éléments mènent à un but) ou encore une structure décrivant des connexions entre annotations.

La quatrième concerne la différence entre l'aspect opérationnel d'une information et l'aspect émotionnel ou qualitatif. Les deux dernières dimensions concernent la transmission et le stockage de l'annotation. Dans la première si une annotation est passive alors le PVA devra aller la lire, si elle est active elle se transmettra sans demande au PVA. La dernière indique si les informations contenus dans l'annotation sont amenées à changer au cours du temps.

1.5 SmartObjects

Le concept de Smart Object est initialement une idée de [Kallmann et Thalmann, 1999, Kallmann, 2001]. Il s'agit d'ajouter des informations aux objets dans le but d'orienter le comportement des personnages virtuels autonomes (PVA). Grâce à ces informations les personnages virtuels vont pouvoir aborder les objets par leur fonctions (cette poignée sert à ouvrir la porte) ou caractéristiques (cet objet pèse 50 kilogrammes) et adapter leur comportement en fonction de celle-ci (ouvrir la porte ne pas soulever un objet trop lourd). Tout cela dans le but d'avoir un environnement dont les comportements des personnages autonomes sont réalistes.

1.6 V3S

V3S (Virtual Reality for Safe Seveso Substractors)[Edward *et al.*, 2007, Edward *et al.*, 2008, Edward *et al.*, 2009] est un environnement virtuel d'apprentissage à la prévention des risques sur sites Seveso. Cet environnement utilise une représentation des connaissances par agents chaque objet ou personnage est un agent. Chacun porte des capacités décisionnelles en fonction de qui leur sont propres. Ils peuvent ainsi agir dans l'environnement (cas des personnages virtuels autonomes) ou modifier leur état (cas des objets) pour générer ou non des incidents.

1.7 RVPI

La description de RVPI a été faite dans la première partie de ce mémoire, mais pour rappel il s'agit d'un environnement virtuel de formation à la production de pneumatiques. Cet environnement a été développé à l'UTC pour la société Continental France SNC. Nous allons maintenant voir ce qui fait de cet environnement un

EVI. Tout d'abord, le projet RVPI a commencé par une récolte de connaissances avec les futurs utilisateurs du projet. Ces connaissances ont été ensuite reliées avec la maquette virtuelle de la machine. Cette liaison est faite de deux manières. La première est simplement de l'ordre de la localisation. Les connaissances ont été spatialisées dans l'environnement, comme par exemple dans la visite virtuelle où en cliquant sur un objet l'utilisateur peut avoir accès à son nom et différentes informations sur celui-ci. La seconde rajoute la notion de contexte. En effet, lors de la scénarisation des procédures d'apprentissage, les connaissances ont été ordonnées pour qu'elles n'apparaissent qu'à certains moments où après certaines actions. On peut donc parler pour RVPI de connaissances situées et donc décrire ce projet comme un EVI.

1.8 MATRICS

MATRICS (Managing Annotation for TRaining in Immersive Collaborative System) est un environnement de collaboration supporté par la réalité virtuelle. Cet environnement est le résultat de la thèse de Stéphane Aubry [Aubry, 2007]. Il se présente sous la forme de deux interfaces : l'environnement 3D et le deck2D.

Le premier permet de visualiser une maquette virtuelle en 3 dimensions et permet à l'utilisateur de naviguer autour de cette maquette (selon la métaphore de la caméra orbitale). L'utilisateur peut s'il le désire annoter la maquette virtuelle pour émettre des critiques ou commentaires la concernant. Ces annotations sont déposées à même le modèle 3D sous la forme de marques ou ancres. Le titre de l'annotation et aussi inscrit.

La seconde interface, le deck2D, permet de lire le contenu des annotations. Ce contenu peut être de nature très diverse. La possibilité d'annoter avec du texte, du son, de l'image ou de la vidéo est accessible à l'utilisateur.

Dans MATRICS la représentation des connaissances s'exprime sous deux formes. La première est une hiérarchie de concepts. Cette base de connaissances a été créée à priori en fonction du domaine. Ce sont des données métiers extraites d'entretiens entre concepteurs lors de séances de collaboration [Aubry *et al.*, 2005, Aubry, 2007]. La seconde provient de l'utilisation du système par les concepteurs d'un nouveau produit. En effet, MATRICS est un outil de collaboration asynchrone qui permet de capitaliser les échanges entre ces concepteurs. C'est autour d'une maquette virtuelle que se construisent de nouvelles connaissances.

1.9 EVI : Connaissances, Capitalisation et Interaction

On peut classer les EVI selon trois critères qui sont l'intégration des connaissances à priori dans l'environnement, la capitalisation de connaissances et l'inter-

action. Le premier critère décrit la proportion de connaissances représentées dans l'environnement avant son utilisation. Le second, la capitalisation, concerne la possibilité de l'utilisateur d'enrichir l'environnement. Et le dernier, l'interaction, concerne les modalités et libertés d'interaction de l'utilisateur avec l'environnement. Certains EVI privilégient une intégration à priori des connaissances par représentation statique. Ces systèmes ne permettent pas de capitalisation du savoir dans le but d'enrichir l'environnement. C'est le cas des systèmes de formation comme RVPI, V3S ainsi que les projets à base de Smart Objects. D'autres EVI, comme MATRICS, privilégient eux une intégration dynamique du savoir par l'interaction de l'utilisateur sur l'environnement. Dans ce cas, l'environnement est faiblement ou non informé au départ et va s'enrichir au fur et à mesure de l'activité de l'utilisateur. La capitalisation des connaissances dépend du couplage entre le système et l'utilisateur. La figure 5.3 propose une comparaison suivant leurs 3 composantes. On peut remarquer que les environnements qui ont le contenu le plus riche en quantité et complexité sont aussi ceux qui présentent le moins d'interaction pour l'utilisateur. De plus les EVI sont fort peu sollicités pour des actions de capitalisation de connaissances, les connaissances sont souvent acquises à priori de leur conception.

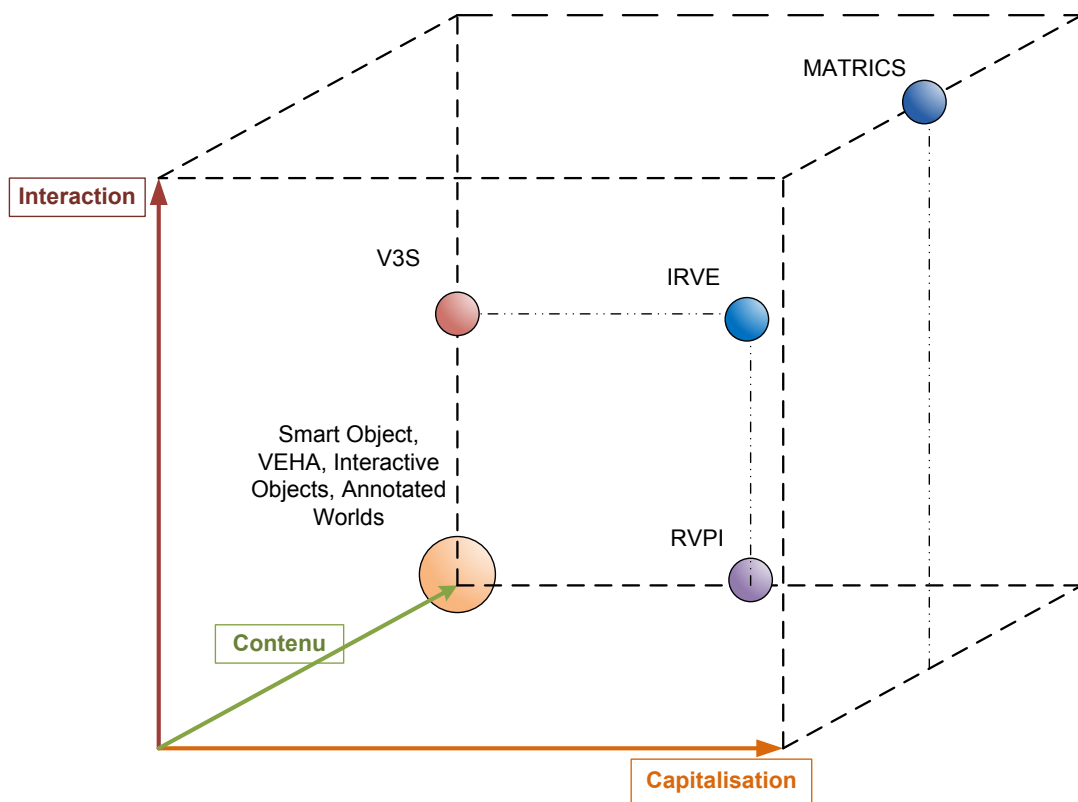


FIGURE 5.3 – Les EVI selon leurs 3 composantes

2 L'interaction, un geste ?

Le mot interaction désigne une action réciproque de deux ou plusieurs phénomènes, objets et/ou personnes. Dans notre cas, c'est l'interaction entre humain et environnement virtuel qui nous intéresse, c'est à dire de quelle manière l'humain agit sur l'environnement et de quelle manière l'environnement lui répond. Nous retrouvons ici la boucle action/perception (figure 5.4) chère au domaine de la réalité virtuelle. Cette

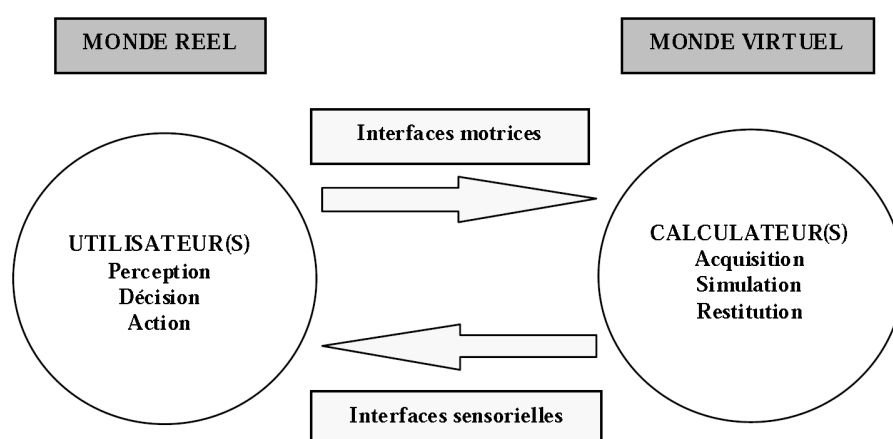


FIGURE 5.4 – La boucle «perception, cognition, action» passant par le monde virtuel

Parmi les nombreuses études concernant l'interaction. Nous nous sommes intéressé aux études de l'ergonomie de l'interaction en environnement virtuel. Différents auteurs ont créé des taxonomies de l'interaction. Le premier est Douglas A. Bowman [Bowman, 1999] qui a créé une taxonomie basée sur la tâche en environnement virtuel. Poupyrev [Poupyrev et Ichikawa, 1999] a créé une taxonomie basée sur la place de humain dans l'interaction et divise donc les interactions en deux catégories ego et exo-centrique.

2.1 Taxonomies de Bowman sur l'interaction

Douglas A. Bowman distingue dans les métaphores d'interactions [Bowman, 1999, Bowman *et al.*, 1999, Bowman *et al.*, 2004] celles se rapportant à des tâches de déplacement ou mouvement, de celles se rapportant à des tâches de sélection/manipulation.

2.1.1 Mouvement

Les interactions du mouvement sont classées en trois types : le choix d'une direction ou destination (cas de la téléportation), la sélection de la vitesse ou de

l'accélération et les conditions d'entrée relatives au mouvement. Chaque type correspond à une étape obligatoire pour réaliser un mouvement. La figure 5.5 référence ces étapes. Prenons par exemple une métaphore de téléportation, l'utilisateur pointera du regard un endroit dans l'environnement (choix de la cible), en appuyant sur un bouton (condition d'entrée), il déclenchera la téléportation immédiate au point ciblé (vitesse automatique).

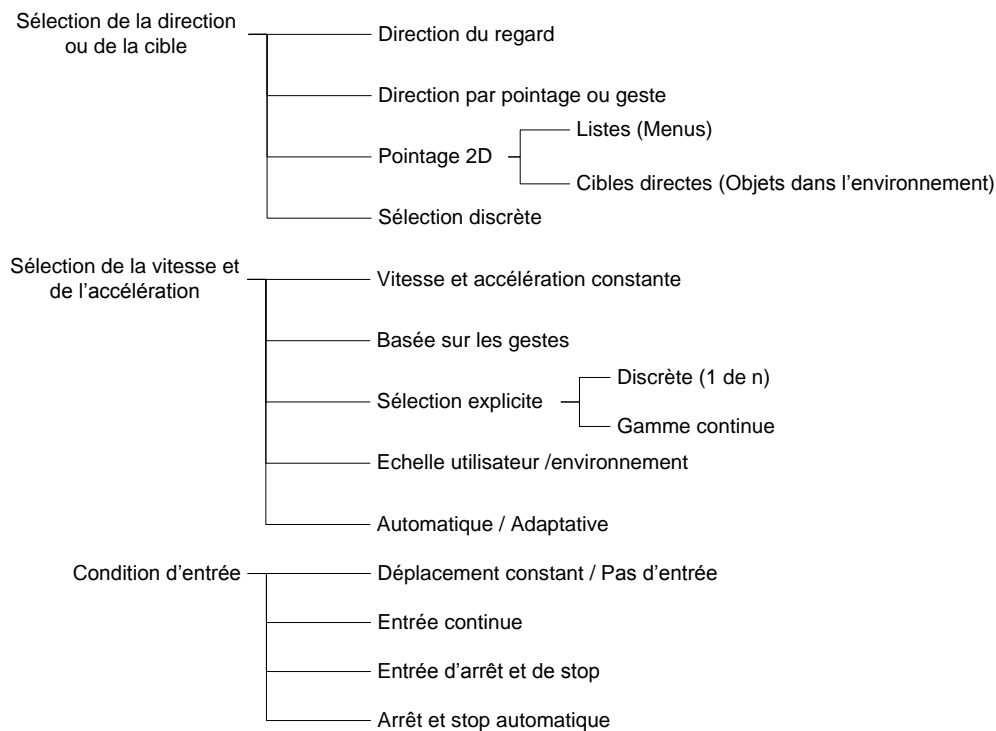


FIGURE 5.5 – Taxonomie du mouvement selon Douglas A. Bowman

2.1.2 Manipulation

Selon Bowman, ces interactions sont décomposées ici en trois étapes, qui ont ici une chronologie d'exécution : la sélection d'un objet, sa manipulation et sa libération. La figure 5.6 reprend cette taxonomie. Pour illustrer cette taxonomie prenons l'exemple de la métaphore du ray-casting (ou lancer de rayon). L'utilisateur à l'aide d'un périphérique de pointage va sélectionner un objet dans la scène. Des son interface sort un rayon virtuel (retour visuel) lorsque ce rayon touchera l'objet (indication de l'objet) il pourra appuyer un bouton de son interface pour sélectionner l'objet (indication de sélection). Lors de cette sélection, l'objet sélectionné sera attaché au rayon et suivra le rayon dans ses position et orientation (contrôle manuel), l'utilisateur peut voir l'objet suivre le rayon en temps réel (retour graphique). L'utilisateur pourra libérer l'objet en appuyant de nouveau sur le bouton. L'objet sera placé à l'endroit exact où il se trouvait avant d'être lâché.

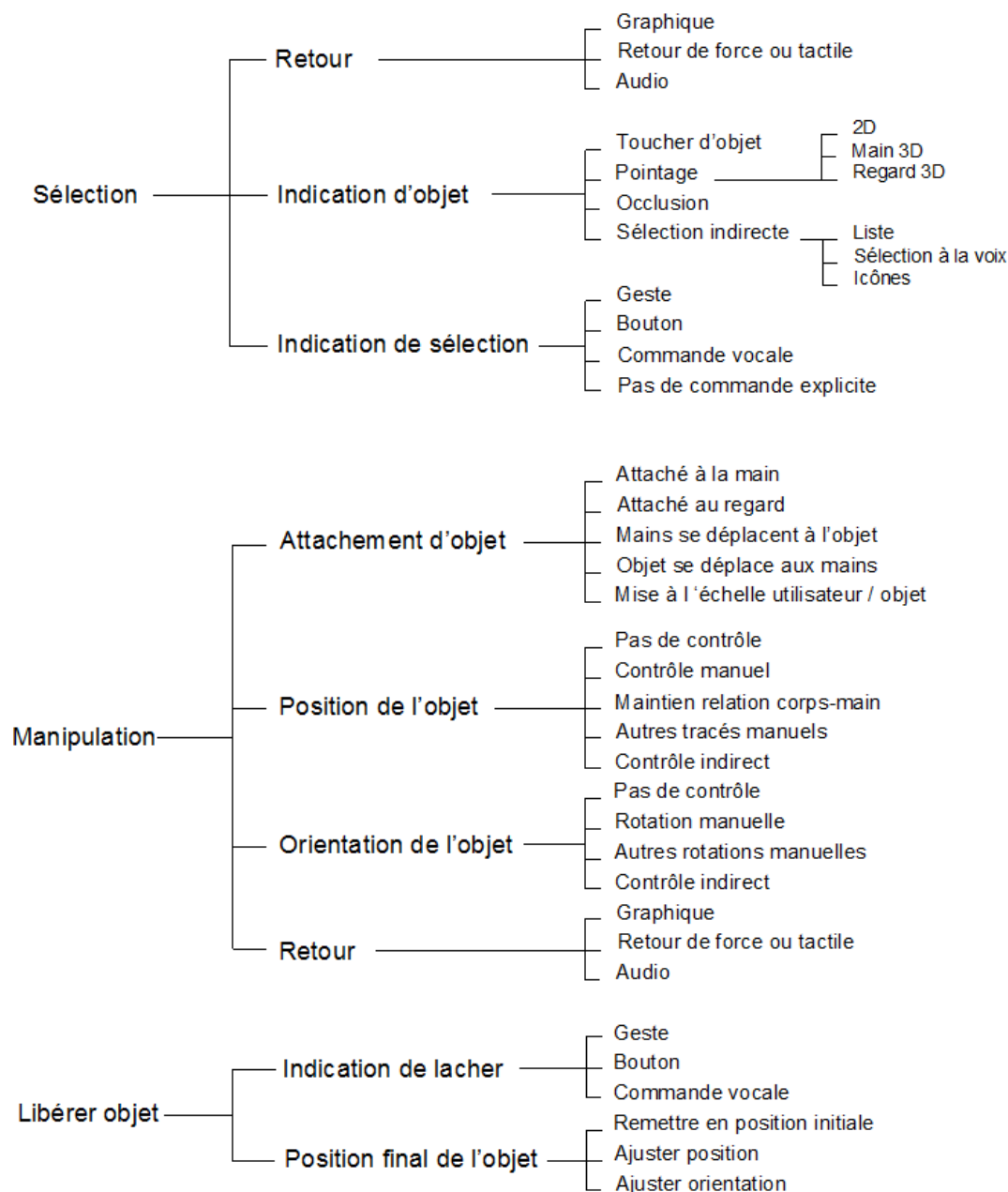


FIGURE 5.6 – Taxonomie de la sélection et de la manipulation selon Douglas A. Bowman

2.2 Taxonomie de Poupyrev

La taxonomie de Poupyrev [Poupyrev et Ichikawa, 1999] ne s'intéresse qu'aux interactions de manipulation. Il les classe en deux catégories (exocentriques et égocentriques) :

- exocentrique : qui n'est pas centré sur l'utilisateur mais sur l'objet ou la scène
- égocentrique : qui est centré sur l'utilisateur.

La première catégorie indique que l'utilisateur agit sur l'environnement de l'extérieur et ne fait pas partie intégrante de l'environnement. C'est le cas où l'échelle de l'uti-

lisateur est bien plus grande que celle de la scène (interaction WIM : World In Miniature décrite au chapitre suivant). Dans le cas de l'interaction egocentrique, l'utilisateur agit à la même échelle que la scène, comme dans une manipulation naturelle à la main ou encore dans le ray-casting, où les mouvements de l'utilisateur sont à la même échelle dans l'environnement virtuel.

2.3 Interaction et éinaction

Le paradigme de l'éinaction se base sur la théorie sensori-motrice de la perception (voir figure 5.7), c'est à dire que la perception que l'on a d'un milieu ne peut exister que grâce à une boucle sensori-motrice. L'humain en agissant sur le monde va recevoir en retour de son action des sensations couplées à ces actions. Dans ce paradigme, la perception ne peut se faire sans ce couplage action/sensation. Ce couplage peut notamment être réalisé par un dispositif technologique prothétisant alors l'utilisateur. Par exemple, une représentation visuelle peut être donnée à un utilisateur par une camera retransmettant par des picots tactiles la position dans l'espace des objets, si l'utilisateur peut manipuler la caméra [y Rita *et al.*, 1969].

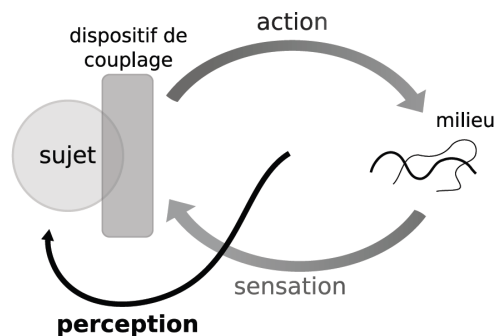


FIGURE 5.7 – Schéma général de la théorie sensori-motrice de la perception

Si l'on reprend la figure 5.7 on peut voir que ce couplage est très proche de la « boucle perception, cognition, action » (figure 5.4) chère à la réalité virtuelle. Ici l'interface de couplage pourrait être représentée par les interfaces de réalité virtuelle (systèmes de visualisation immersifs, interface de manipulation...). Dans ce cas, les métaphores d'interaction citées plus haut (téléportation et ray-casting) se situeraient dans ce schéma dans la partie droite par rapport à l'interface de couplage, et feraient la liaison entre monde réel (les interfaces) et monde virtuel (pointeurs, objets 3D...).

3 Geste

Dans de multiples domaines : le sport, la danse, l'ergonomie, la médecine ou encore l'industrie, le geste est considéré comme une connaissance. Dans ces domaines

le geste est une donnée qu'il faut conserver, archiver, écrire. Certains domaines sont plus en avance les uns par rapport aux autres. C'est le cas de la danse qui propose depuis déjà plusieurs années différents systèmes de notations des figures comme les pas de danse dans les notations les plus anciennes, des prototypes de trajectoires ou des configurations spatiales à atteindre comme dans les plus récentes . Ce sont des systèmes très proches de l'écriture musicale sur partition. Dans le domaine du sport, on utilise plutôt des systèmes d'enregistrements vidéo couplés à des systèmes de capture de mouvements. L'ergonomie et la médecine utilisent l'enregistrement des mouvements corporels à des fins de prévention et/ou de thérapie.

3.1 Le geste comportemental

Le geste dans le monde réel est associé au corps. La représentation anthropomorphique du corps dans l'environnement virtuel est l'avatar. L'avatar, en tant que représentation humaine dans l'environnement, permet de transposer le comportement physique humain. Le geste corporel de l'avatar peut se diviser en deux catégories. La première concerne les gestes de communication et plus particulièrement les gestes de communication non-verbale. Le second cas d'utilisation de l'avatar est l'interaction d'un personnage (pilote par un humain ou autonome) avec l'environnement pour exécuter une tâche : par exemple saisir des objets, aller vers un point, etc.

L'avatar dans les environnement collaboratif synchrone est le support de la communication entre humains (entre avatars). Le geste de communication non verbal supporte le discours. Il permet de le rythmer, de l'illustrer, de désigner. Il est utilisé sur les avatars dans les environnements de collaboration. Il permet une meilleure compréhension du discours.

[Kipp *et al.*, 2008, Neff *et al.*, 2008] ont une approche par fonction du geste. Ils ont créé une grammaire du geste de communication qui permet de faire jouer à un avatar des gestes en fonction du discours de l'utilisateur et de son profil d'orateur. Ces fonctions sont paramétrables pour modifier l'étendue et les vitesses de chaque geste.

Atman Kendira [Kendira, 2010] a créé Virstoria un environnement collaboratif de narration (*storytelling*) à base de cartes d'histoire. Le but de ce système est de construire à plusieurs une histoire de manière distante et collaborative. La figure 5.8 présente le point de vue d'un utilisateur dans Virstoria. Chacun des joueurs est derrière son ordinateur utilisant le périphérique classique souris et clavier pour jouer. Ils peuvent communiquer vocalement grâce à un système de voix sur IP. Chaque utilisateur est représenté par un avatar dans l'environnement. Le but ici est

de construire une histoire et non de « piloter » son avatar. Pour cela, l'application se déroule à la première personne. L'avatar est animé automatiquement suivant le moment de l'histoire et le type de carte jouée, en fonction du discours de l'utilisateur. Cette animation n'est pas aléatoire. Elle est commandée par un noyau composé d'un réseau dynamique bayésien. En fonction des paramètres de l'environnement le réseau bayésien va déterminer la probabilité qu'un geste apparaisse plutôt qu'un autre. Ensuite un tirage au sort pondéré sur ces probabilités est effectué pour choisir le geste approprié. Les gestes sont des gestes manuels. Ils sont divisés en quatre catégories (catégorisation DAMP) :

- les déitiques : gestes permettant le pointage d'objets ou de personnes
- les adaptateurs : gestes d'autocontact
- les métaphoriques : gestes symbolisant un élément du discours (exemple : lever la main pour dire « grand »)
- les ponctuateurs : gestes qui rythment le discours



FIGURE 5.8 – Point de vue d'un utilisateur de l'interface de Virstoria (extrait de [Kendira, 2010])

3.2 Le geste de la performance

Le geste dans le sport n'a pas la même finalité que dans le geste comportemental. On cherche en priorité le geste « parfait », le geste de meilleure efficacité, le « geste de performance ». C'est dans cet objectif que l'on équipe les sportifs de combinaisons de capture de mouvement pour pouvoir connaître la position de chacun des membres à tout moment. Ensuite ces mouvements captés sont analysés. Cette analyse va permettre de prodiguer des conseils au sportif pour lui permettre ainsi de s'approcher du geste parfait. Aujourd'hui, en plus de cette capture de mouvement, on ajoute aussi des données issues d'électromyogrammes [Matsukawa et Yokoyama, 2006] enregistrées pendant la séance permettant d'affiner les premiers résultats.

3.3 La notation chorégraphique

La notation du geste en danse permet la capitalisation et la transmission des chorégraphies. Comme la danse accompagne bien souvent la musique, c'est assez naturellement que les systèmes d'écriture de la danse ont été associés aux partitions musicales. La correspondance est d'autant plus prononcée que note, hauteur et tempo y sont représentés.

Les premières traces de ce type de notation se retrouvent en 1589 dans l'Orchésographie par Jehan Tabourot connu sous le pseudonyme de Thoinot d'Arbeau[d' Arbeau, 1589], chanoine de Langre. Ce recueil regroupe l'ensemble des danses pratiquées au XVIème siècle. Il y décrit les pas de base ainsi que les enchaînements (voir figure 5.9).

Au XVIIème siècle John Playford [Playford, 1651] introduit une notation un peu plus symbolique avec notamment la position des danseurs au début de la danse. En 1700, Raoul-Auger Feuillet chorégraphe publie la Chorégraphie, ou l'art de décrire la danse par caractères, figures et signes démonstratifs. Dans ce recueil, il décrit les danses en vue du dessus autour de lignes représentant les axes de la salle 5.10.

Arthur Saint Léon, est l'auteur en 1852 de La Sténochorégraphie, ou l'art de noter promptement la danse, il y décrit les positions du corps humain sur une partition en parallèle à la partition musicale. Ici bras, jambes, tête, et tronc sont représentés (voir figure 5.11. La sténochorégraphie sera améliorée par Friedrich Albert Zorn dans la Grammatik der Tanzkunst en 1887.

On distingue 5 systèmes contemporains de notation chorégraphique portant les noms de leurs créateurs : Laban (1928), Conté(1931), Benesh (1956), Eshkol-Wachman (1958) et Sutton (1972).

ORCHESOGRAPHIE

le premier au commencement, & ainsi chacun meyne le premier & le dernier a son tour : Et quand la dernière est venue a la primauté, & qu'elle a fait sa haye, elle se retreuve dernière comme elle estoit premierement : Lors les ioueurs d'instruments finissent le branle, duquel voicy la tabulature.

Tabulature du branle de la Montarde.

Air de ce branle. Pas & mouvements

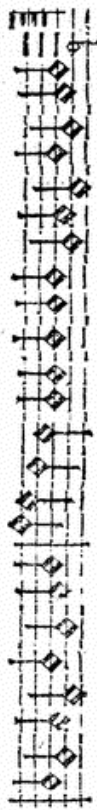
	Pied largy gaulche.	Ces quatre pas fōt vn double a gaulche.
	Petit fault.	
	Pied droit approché.	
	Petit fault.	
	Pied largy gaulche.	Ces quatre pas fōt encore vn double a gaulche.
	Petit fault.	
	Pieds ioincts.	
	Petit fault.	
	Pied largy gaulche.	Ces quatre pas fōt encore vn double a gaulche.
	Petit fault.	
	Pied droit approché.	
	Petit fault.	
Pied largy gaulche.		
Petit fault.		
Pieds ioincts.		
Petit fault.		

FIGURE 5.9 – Orchesographie tablature de la Branle de Montarde

3.3.1 La notation Laban

La notation Laban [Laban, 1971, Loke *et al.*, 2005] (ou cinétographie labanotation) permet de transcrire le mouvement humain (corps) de manière graphique. Il a été inventé par Rudolf Laban dans les années 1920 pour écrire les chorégraphies à la manière d'une partition musicale. Il décrit les positions des jambes et des bras autour du repère humain.

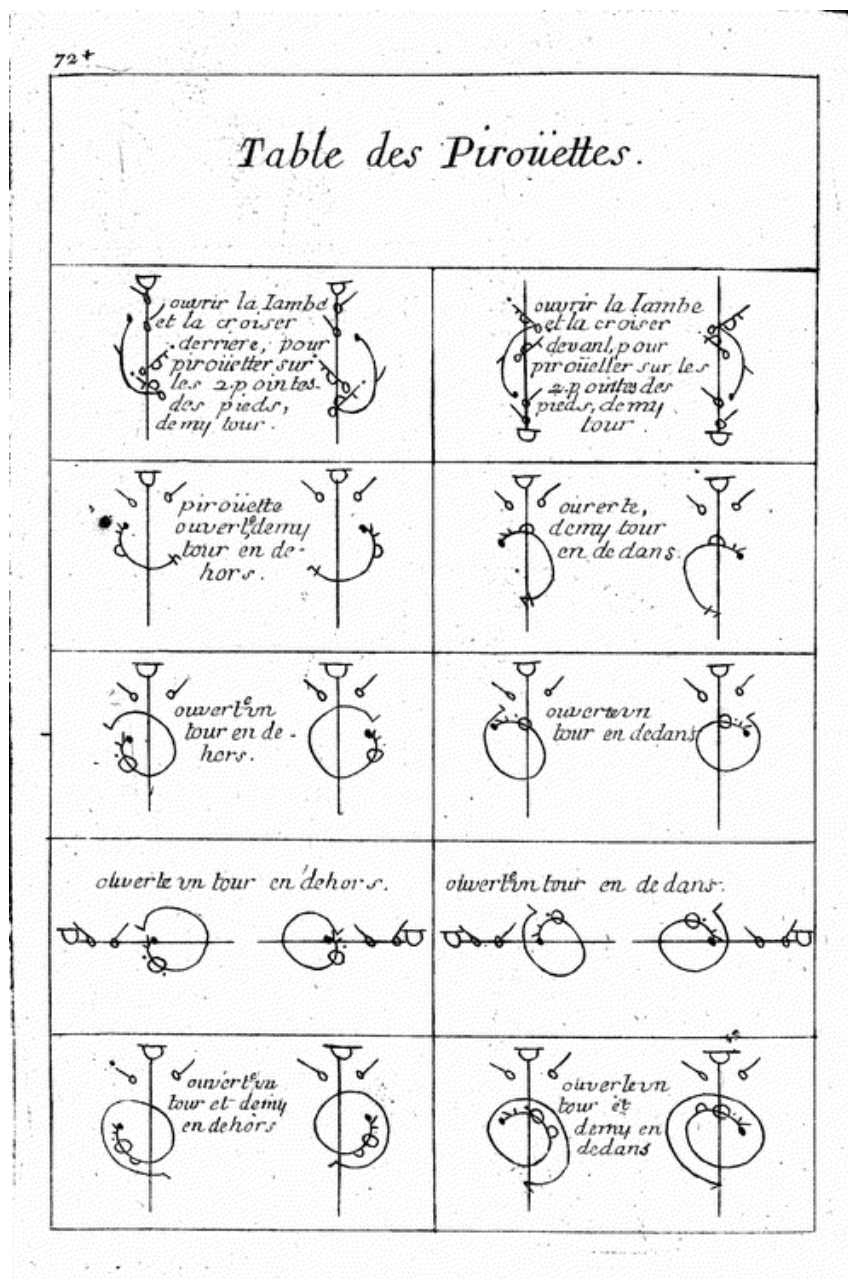


FIGURE 5.10 – Système Feuillet : Table des pirouettes

Position Si l'on fait l'analogie avec la musique, on peut diviser les mouvements en 9 notes par rapport aux positions finales des membres dans un plan parallèle au sol (voir figure 5.12). Chacune de ses positions est symbolisée par une forme. Il faut aussi noter que les positions avant et arrière possèdent deux symboles pour le membre droit et le membre gauche. La position centrale est celle du tronc. Un bras en position centrale sera le long du corps.

Hauteur Pour représenter la hauteur du membre en plus de sa position dans un plan, il faut changer le motif de remplissage des symboles. On utilisera les symboles

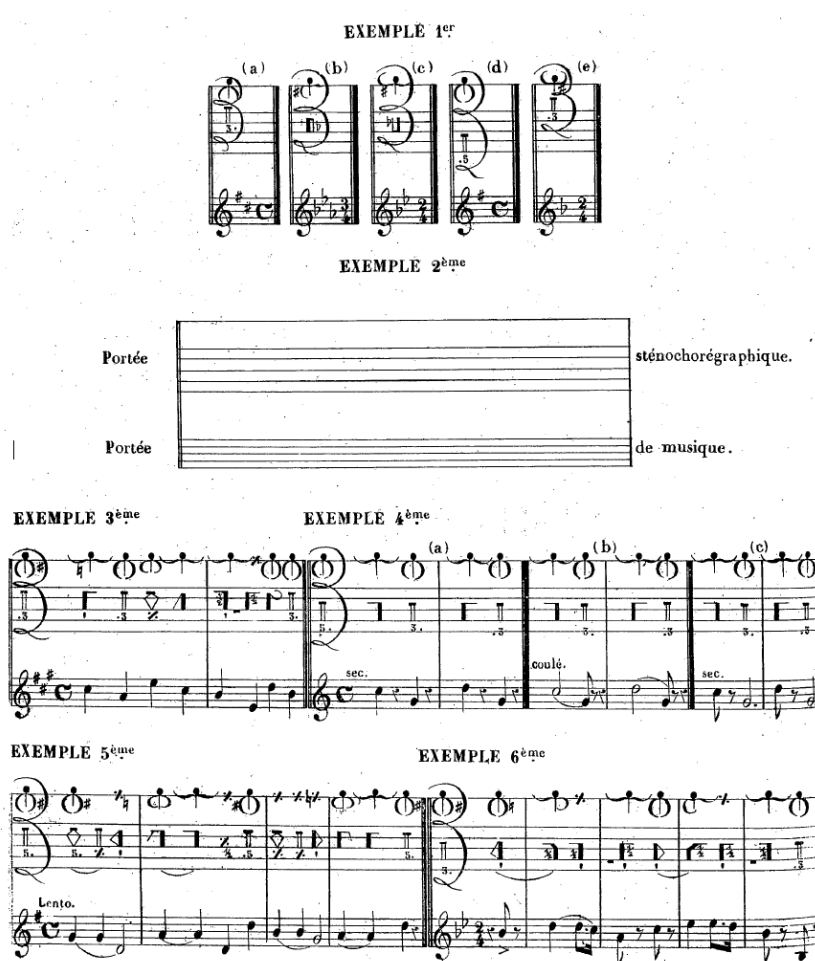


FIGURE 5.11 – Sténochorégraphie : exemples tirés de l'ouvrage

pleins pour signifier une position basse, avec un point central pour une position moyenne et rayés pour les positions hautes (voir figure 5.13).

En ajoutant la hauteur, on obtient en tout 27 notes qui décrivent l'ensemble des positions des membres autour du corps. Mais il manque les enchaînements entre ses positions.

Tempo et enchaînement Le système de notation Laban utilise une partition verticale, la lecture s'effectue du bas vers le haut. Elle est divisée en 4 parties (symétrique deux à deux. Voir figure 5.14). La ligne médiane représente le plan sagittal du corps humain (séparant le corps en deux parties gauche et droite). Le long de cette ligne nous pouvons représenter les informations de transfert (les points d'appui au sol). En allant vers l'extérieur, nous retrouvons les informations des jambes et derrière les lignes extérieures se trouve la zone réservée aux bras.

Chaque symbole est déposé dans une des six colonnes. Elle désigne par sa forme et par son " remplissage " la position finale du membre concerné. On enchaîne donc les positions une à une. La durée du mouvement pour passer d'une position à une

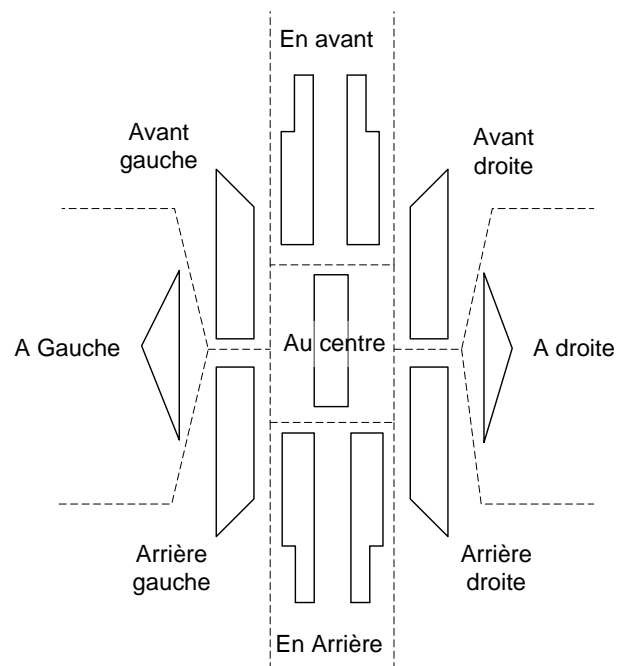


FIGURE 5.12 – Laban - Position dans l'espace

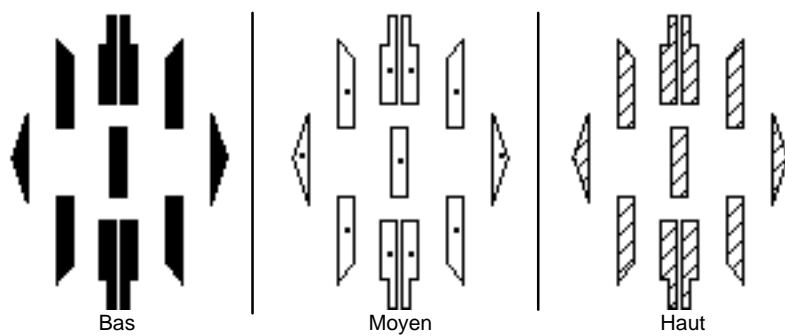


FIGURE 5.13 – Laban - Hauteur

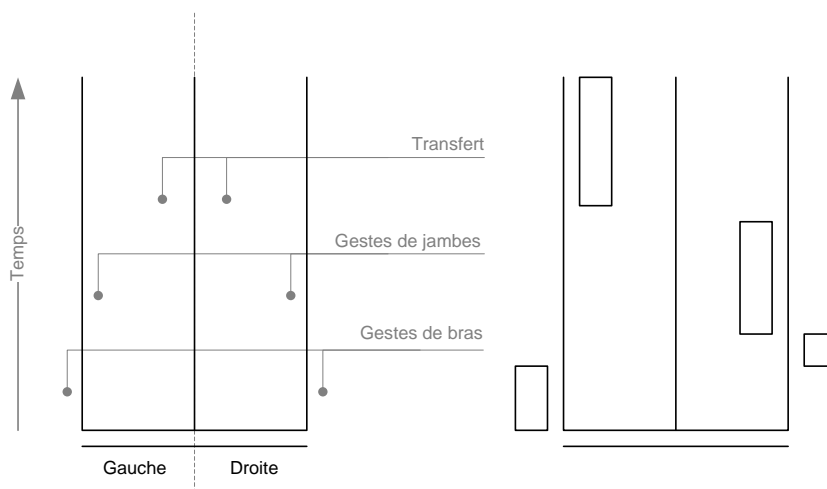


FIGURE 5.14 – La partition du système de notation Laban.

autre correspond à la longueur du symbole de la seconde. Ainsi plus un symbole sera allongé plus le mouvement sera lent. Sur la figure 5.15, on retrouve à droite la partition de la marche. On peut reconnaître des mouvements vers l'avant du point d'appui. La seconde partition correspond à des mouvements de bras en simultané. Bras droit : vers l'avant niveau moyen, au niveau de l'épaule - en haut à la verticale - à droite niveau moyen - en bas à la verticale (bras pendant sous l'épaule, soit la position "normale" du bras).

Bras gauche, simultanément au bras droit : à gauche niveau moyen - en haut à la verticale - vers l'avant niveau moyen - en bas à la verticale.

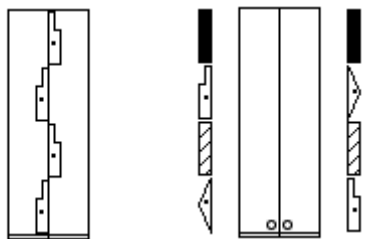


FIGURE 5.15 – Exemples de partitions Laban

Analyse Ce système de notation gestuelle propose de transcrire les mouvements du corps par une série de points clés représentant les positions successives des membres du corps. Dans notre cas, ce système n'est pas exploitable. En effet, celui-ci ne concerne que deux types de membres (bras et jambes) si l'on excepte les positions de transfert. Les symboles utilisés ainsi que la partition ne sont pas utilisables pour d'autres cas que le corps humain en entier.

Sources L'ensemble des figures de ce chapitre sont extraites ou inspirées du site : [http ://notation.free.fr/lablan/](http://notation.free.fr/lablan/)

3.3.2 La notation Conté

Le système de notation Conté est l'œuvre de Pierre Conté (1891 - 1971) compositeur et chorégraphe. Il s'intéresse aux travaux de Laban mais n'y adhéra pas, notamment car il a étudié la biomécanique et considère que le système Laban ne retranscrit pas bien la physique du corps. De plus, il cherche à associer encore plus la musique au mouvement. Il créa donc son propre système de notation [Conté, 1954] proche du système musical qui lui est cher en tant que compositeur.

La division verticale Le système Conté repose sur une division verticale du corps (voir figure 5.16), en distinguant les membres du côté gauche de ceux du côté

droit et écrit sous la forme de partitions avec un portée à 9 lignes. Les cinq du bas représentent les jambes (les appuis gauche droit et les jambes libres), tout en haut deux représentent les bras (gauche et droit). au centre on retrouve le tronc et la tête.

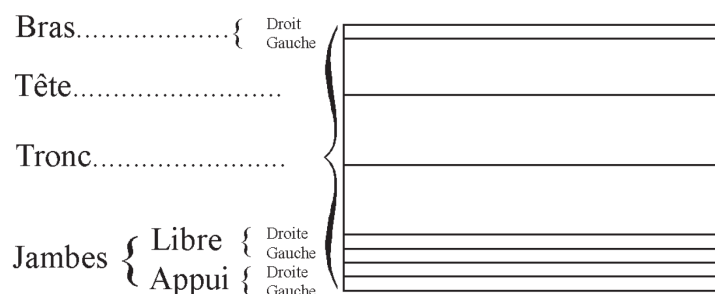


FIGURE 5.16 – Division du corps humain selon le système de notation Conté

Enchaînement et tempo Le système Conté reprend exactement le système musical. Les notes rythment les mouvements : une ronde vaut 2 blanches, 4 noires, 8 croches, etc. Les silences sont aussi représentés pour chaque note.

Directions, fléchissements et contacts Les principales directions des membres sont décrites par des chiffres :

- 0 = pieds sur place, bras le long du corps,
- 1 = vers l'avant du corps,
- 2 = vers le côté,
- 3 = vers l'arrière,
- 4 = position après rotation à droite ou à gauche (s'applique surtout au buste, au bassin et à la tête).
- 5 = prolongement du haut du corps.

Les directions intermédiaires (voir figure 5.17) sont-elles représentées par des couples de chiffres. Un couple barré représente la position médiane entre les deux représentées par les chiffres. Un couple non barré représente la position médiane entre la position du couple barré et la position du premier chiffre.

Chaque membre peut être fléchi. Un fléchissement (voir figure 5.18) est représenté par une série de chevrons, un chevron représentant 30° .

3.3.3 La notation Benesh

La notation Benesh [McGuinness-Scott, 1983], inventée par Rudolf Benesh en 1955, permet comme l'annotation Laban de transcrire le mouvement humain. Graphiquement ce système ressemble aux partitions musicales. Il décrit le mouvement par rapport au plan frontal (voir figure 5.19).

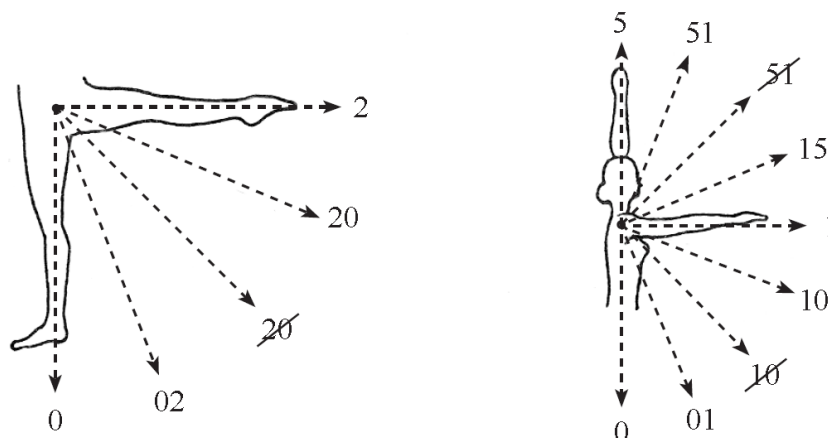


FIGURE 5.17 – Les directions intermédiaires du système Conté

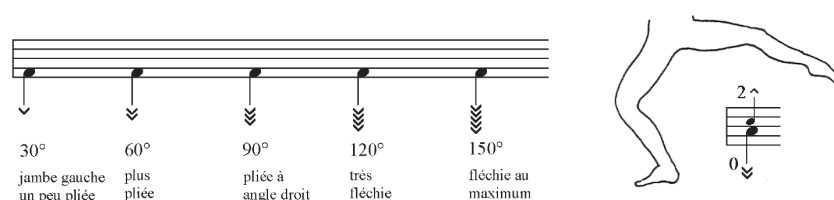


FIGURE 5.18 – Les fléchissements du système Conté

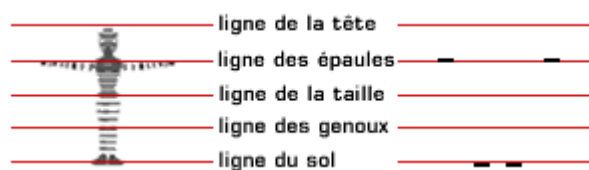


FIGURE 5.19 – Division du corps humain selon la notation de Benesh

La division verticale La notation Benesh repose sur une découpe de l'espace vertical, en cinq lignes distinctes inspirée par le schéma de proportion du corps humain dessiné par Léonard de Vinci. On y réduit le corps à l'essentiel, les membres (bras et jambes) sont représentés par de simples pictogrammes.

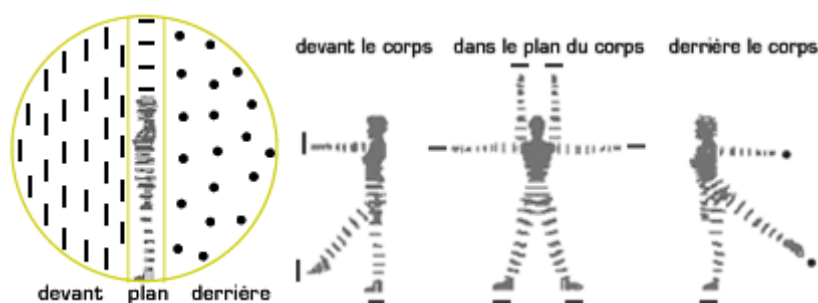


FIGURE 5.20 – Les pictogrammes de profondeur selon la notation de Benesh

La profondeur Pour différencier la position en profondeur, on utilise ici différents pictogrammes (voir figure 5.20). Le trait horizontal représente un membre dans le plan frontal. Le point représente une position postérieure et un trait vertical représente une position antérieure.

Enchaînement Le système Benesh comme le système Laban propose de décrire le mouvement du corps humain par étapes successives. Chaque extrémité (main et pied) est représentée par son pictogramme pour la profondeur à une position pour la hauteur sur la portée. On ne représente que les membres qui ont bougé (voir figure 5.21).

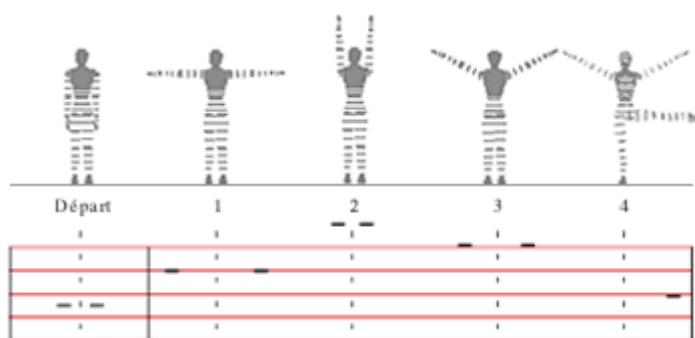


FIGURE 5.21 – Positionnement des membres selon la notation de Benesh

Pour permettre la vision du mouvement on rajoute les chemins suivis par les membres pour passer d'une étape à une autre (voir figure 5.22).

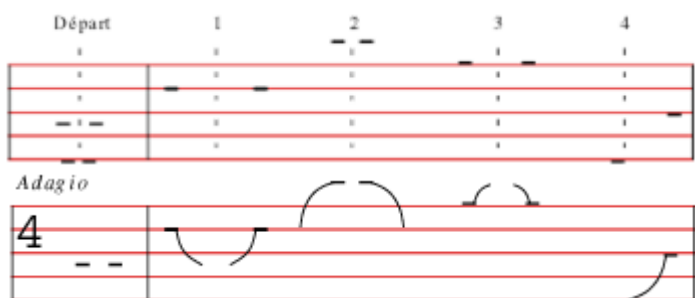


FIGURE 5.22 – Chemins des membres selon la notation de Benesh

La figure suivante (figure 5.23) présente un exemple de partition complète utilisant le système Benesh.

Analyse Ce système propose comme le système Laban une représentation du mouvement, en suivant les membres bras et jambe et plus particulièrement leur extrémités. La symbolique et la partition utilisée sont le point bloquant pour une utilisation générique. En effet il faudrait augmenter le nombre de pictogrammes pour

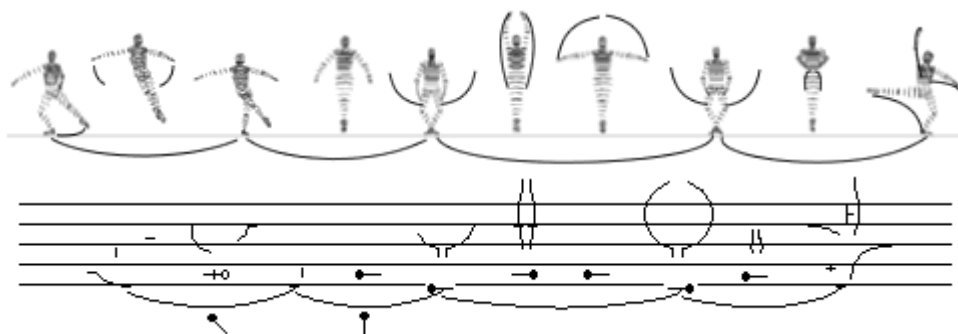


FIGURE 5.23 – Exemple de notation du système Benesh

pouvoir différencier plus de parties du corps (avant bras, doigts...). De plus, l'échelle de la partition n'est adapté qu'à l'ensemble du corps et non pas à des partie plus fine (seulement la main) ou à des espace plus grand (environnement complet). On ne connaît que la position du corps dans son repère local et non pas dans le repère global de la scène.

Source L'ensemble des figures de ce chapitre sont extraites ou inspirées du site : <http://notation.free.fr/benesh>

3.3.4 La notation Eshkol-Wachmann

Le système de notation du mouvement Eshkol-Wachman (EWMN : Eshkol-Wachmann movement notation)[Eshkol et Wachman, 1958] a été créé par la chorégraphe Noa Eshkol et l'architecte Abraham Wachmann en 1958. Ce système, plus qu'un système de notation chorégraphique, est un système de notation du mouvement du corps humain. Il est écrit et non dessiné. Il se base sur une décomposition du corps membres et articulations, sur une sorte de partition (voir figure 5.24), et sur un système de référence sphérique (voir figure 5.25).

Ce système n'est pas exclusif à la danse. Il est aussi utilisé pour d'autres domaines comme le langage des signes et dans l'étude et la détection de certains autismes comme le syndrome d'Asperger [Teitelbaum *et al.*, 2004].

3.3.5 La notation Sutton

La notation Sutton (Sutton Movement Writing) a été inventée par Valerie Sutton en 1972. Cette notation permet de transcrire les mouvements du corps. Cette notation a été introduite en premier sous le vocable DanceWriting. Des chercheurs en langage des signes intéressés par cette notation lui ont demandé d'adapter son système de notation au langage des signes. Cela à ensuite donné en 1974 SignWriting, la première notation du langage des signes utilisée au monde. De ces deux

	.	:	:	.	:	P	.	:	.	:	.	:	.	:
L. Arm	$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	$4 \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	$4 \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\uparrow \begin{pmatrix} 4 \\ 4 \end{pmatrix}$		$\uparrow \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$					$\uparrow \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$			F
	$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$	\rightarrow	R	\rightarrow	\uparrow	R	$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$			
R. Arm	$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	$4 \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	$4 \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\uparrow \begin{pmatrix} 4 \\ 4 \end{pmatrix}$							$\uparrow \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$			F
	$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$	\leftarrow	R	\leftarrow	\uparrow	R	$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$		$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$			
U. Body							$\uparrow \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$		$\uparrow \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$		$\uparrow \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$		$\uparrow \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\uparrow \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$
$\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \uparrow \downarrow$	$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$			$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix} X$	R	$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	\uparrow	R	$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	\uparrow	R	$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\uparrow \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	R
R. Leg	$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$					$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	\uparrow	R	$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	\uparrow	R	$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\uparrow \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	R
	$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$					$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$	\uparrow	R	$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$	\uparrow	R	$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\uparrow \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$	R
L. Leg	$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$					$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	\uparrow	R	$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	\uparrow	R	$\begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\uparrow \begin{pmatrix} 4 \\ 0 \end{pmatrix}$	R
	$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$					$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$	\uparrow	R	$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$	\uparrow	R	$\begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$	$\uparrow \begin{pmatrix} 2 \\ 0 \end{pmatrix}$	R

FIGURE 5.24 – Exemple de notation du système Eshkol-Wachman

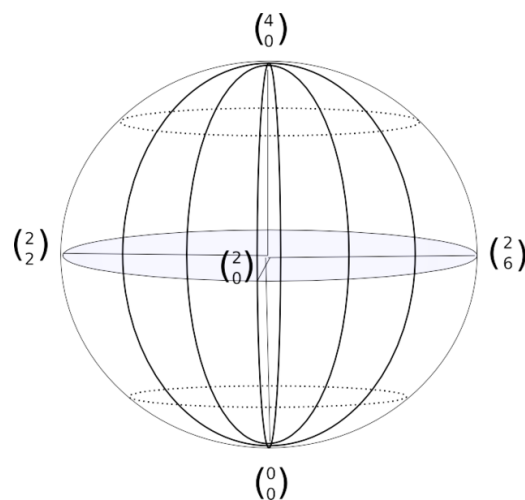


FIGURE 5.25 – Système de référence du système Eshkol-Wachman

notations en ont découlées trois autres MimeWriting dédié au mime, SportsWriting dédié au mouvement sportif et ScienceWriting dédié à l'écriture des mouvements corporels pour l'étude scientifique, ergonomique et médical.

DanceWriting DanceWriting (voir figure 5.26) est le premier système de notation inventé par Valerie Sutton. On peut voir des similitudes avec le système Benesh. En effet on représente également les pieds et les mains du danseur sur une portée de cinq lignes (sol, genoux, hanche, épaule et tête). Mais on y décrit de plus la position des épaules, des hanches, des genoux et du cou.

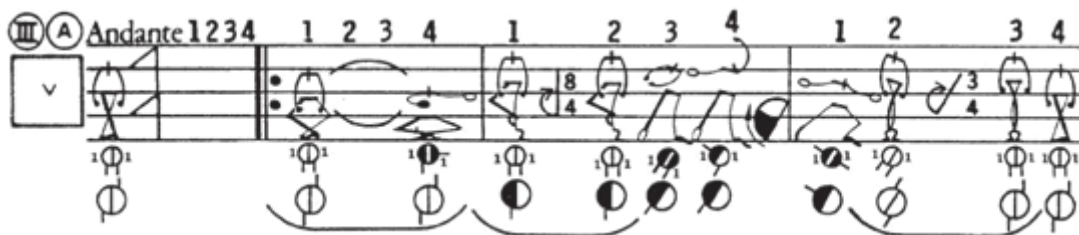


FIGURE 5.26 – Exemple de partition DanceWriting

SignWriting SignWriting (voir figure 5.27) est un langage de représentation du langage des signes. Il se base sur une symbolique du visage et des mains. On y retrouve les expressions du visage (sourcils et bouche) ainsi que les positions des doigts et des mains par rapport au visage. De plus, les mouvements de ces dernières sont eux aussi symbolisés par des pictogrammes. Les points de contact sont aussi symbolisés sur le visage par des petits cercles. Cette écriture du langage des signes est la plus répandue dans le monde. Elle est utilisée pour l'apprentissage ainsi que pour la capitalisation et la conservation du discours des signes. En effet, chaque pays ou groupe géographique possède (souvent en fonction de la langue orale officielle) sa propre langue des signes. Ce mode d'écriture ne se focalise pas sur le sens du discours mais sur sa forme gestuelle. Il est donc adapté à l'enregistrement de tous les langages des signes. Comme ce mode d'écriture est très courant, il y a eu beaucoup d'effort pour la création d'outils d'édition de celui-ci. Il existe notamment des outils informatiques permettant d'utiliser des bibliothèques de signes (a fortiori de gestes) pour faciliter la création de manuscrit numérique sur la langue des signes. Cette capitalisation numérique se fait sous la forme d'un langage informatique SWML (Sign Writing Modeling Language), dérivé du XML.

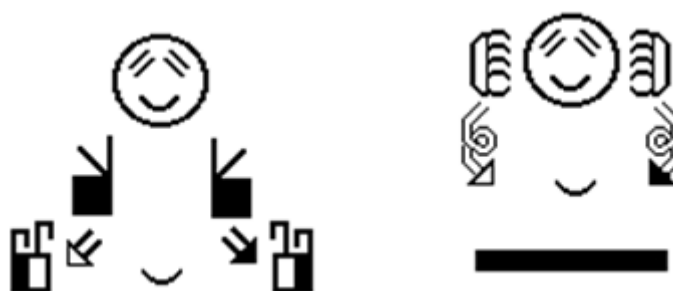


FIGURE 5.27 – Exemple de partition SignWriting

MimeWriting, SportWriting et ScienceWriting : Le MimeWriting, SportWriting et ScienceWriting [Sutton, 1977] sont des dérivés des deux premiers. Le MimeWriting est un mélange du DanceWriting et du SignWriting. Il permet de décrire

l'ensemble du corps (visage et doigts compris) pour le théâtre ou le mime. Il peut aussi décrire les accessoires (chapeau, canne...). Les deux derniers, ScienceWriting et SportWriting (voir exemple d'utilisation du SportWriting pour la pratique du skate-board Annexe C), sont identiques. Seules leurs applications changent. Ils permettent tous deux de décrire la position d'un corps ou partie d'un corps dans l'espace (à la manière du DanceWriting) on peut y adjoindre des accessoires (planche de skate pour l'exemple du SportWriting) ou des outils pour une étude ergonomique (ScienceWriting). Le ScienceWriting est par exemple utilisé pour décrire les mouvements des animaux lors des parades amoureuses.

Analyse Par rapport aux deux précédentes la méthode Sutton semble plus souple car elle a été adaptée à beaucoup de cas différents pas seulement la danse. Beaucoup plus permissive on peut ajouter des objets autres que le corps humain. L'exemple du SignWriting qui a son propre langage informatique de description, nous donne à penser que cette approche pourrait être utilisée dans notre cas de capitalisation gestuelle. En effet, la symbolique utilisée est très simple et est localisable (position des mains par rapport à la tête, point de contact sur l'objet). On a aussi pu voir que l'ajout d'objets externes était tout à fait possible, ce qui permet de palier au problème des deux autres notations gestuelles, c'est-à-dire la représentation exclusive du corps.

3.3.6 Conclusion sur la notation chorégraphique et gestuelle

La notation gestuelle est utilisée principalement en danse mais aussi en ergonomie et dans d'autres domaines. Cette technique a la particularité de ne pas capitaliser précisément. Ici la capitalisation s'effectue de manière symbolique. C'est une grammaire du geste. Dans les trois techniques vues précédemment, chaque symbole représente un geste avec le trio membre, position, tempo. Ici la notation ne sert que de support de sens et donne une ligne globale à suivre. Ainsi le lecteur comme en musique a libre interprétation de la « partition » lue.

Comme une partition musicale, ces systèmes de capitalisation sont des retranscriptions. Leurs écritures se font par composition. C'est une écriture plus qu'un enregistrement au sens où c'est l'humain qui retranscrit ce qu'il voit, comme dans le cas de l'annotateur Laban, ou ce qu'il propose comme dans le cas du chorégraphe. De plus dans l'état actuel, ils ne sont pas extensibles, car très centrés sur leur domaine spécifique. Il n'y a malheureusement pas de généralité dans leur utilisation.

Avantages	Inconvénients
Symbolique Retranscription (partition)	Peu extensible Non-automatisable

TABLE 5.2 – Avantages et inconvénients des systèmes de notation chorégraphique

3.4 Conclusion sur la représentation du geste en environnement virtuel

La plus grande difficulté avec la capitalisation du geste est de choisir entre un enregistrement du geste (point par point) et le résultat de l'analyse du geste. Dans le premier cas, lors de la lecture du geste capitalisé, nous nous trouvons dans le cadre d'un jeu de la trace discrétisée. Il faut alors que la fréquence de capture soit au moins égale à la fréquence de lecture (25 hertz pour un rendu visuel). Dans le second cas, la lecture de l'analyse du geste s'apparentera à une réinterprétation. Comme dans ce cas il y a une interprétation, nous ne sommes pas sûr que le geste interprété respecte le geste enregistré/analysé. Pour illustrer cela on peut utiliser comme exemple la capture de mouvement pour le premier cas et la notation de danse (Labanotation) pour le second. La capture de mouvement enregistre un geste discrétisé et sera réutilisé par exemple en sport ou en animation 3D. L'annotation de danse elle ne va conserver que des états du mouvement sans décrire exactement la position d'un membre à chaque instant, mais donner plutôt une figure à réaliser.

Il existe donc deux manières de capitaliser le geste : l'un par enregistrement, l'autre par analyse et enregistrement symbolique donnant lieu à interprétation. Toutefois dans le geste analysé, nous pouvons encore distinguer deux autres catégories de mode capitalisation analyse. La première consistera en une analyse fine géométrique (du type rotation/translation ou mise en équation) cette approche est proche de la robotique. La seconde pour la danse tend à décrire le geste en lui donnant un nom ou un symbole par exemple : mouvement de balancier, ici cela serait plus une approche symbolique du geste. Le terme décomposition est certainement plus adéquat à la place d'analyse pour le premier cas.

Si on résume, il en ressort une taxonomie des méthodes de capitalisation du geste. La figure 5.28 résume cette taxonomie. La capitalisation d'un mouvement peut être quantitative. Ici on enregistre le maximum de positions du corps pour les rejouer telles quelles. Le nombre d'enregistrement est donc dépendant des performances des instruments de capture utilisés. Dans le second cas, la capitalisation est dite qualitative. Et elle procède d'une analyse des mouvements capturés. Cette analyse, peut-être une décomposition en une succession de transformations élémentaires (rotation et translation) comme dans l'analyse robotique ou une décomposition en une

succession de symboles décrivant des états ou figures à atteindre comme en notation chorégraphique.

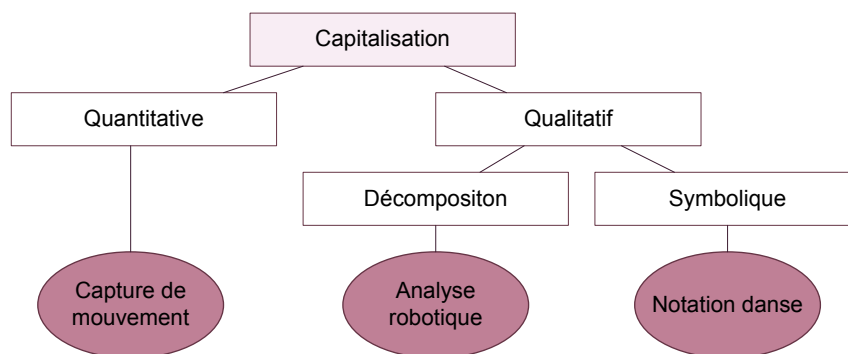


FIGURE 5.28 – Taxonomie pour la capitalisation gestuelle

3.5 Limitation du geste en EV

Il n'est pas prévu dans notre étude d'étudier le geste au sens d'un geste sportif ou d'un geste technique. En effet, nous pourrions enregistrer les mouvements de l'utilisateur dans le monde réel par un système de capture de mouvement, mais dans ce cas, nous enregistrerions la façon dont l'utilisateur interagit avec les interfaces et non avec pas le monde virtuel. En se basant sur la définition de [Luciani *et al.*, 2006] : « *Thus, we call "gestures" all the motions that can be applied as an input signal, i.e. as a "cause of a performance", whatever the producing system is (human beings or other objects).* ». Nous considérerons que le geste en EV se limite à la sélection, la manipulation d'objets et au déplacement de l'utilisateur. De plus nous prendrons le parti de n'enregistrer que le résultat de ces gestes : la sélection d'un objet en soi, le changement de position de celui-ci et le changement de point de vue.

Chapitre 6

Problématiques

1 Problématique industrielle

Lors du projet RVPI, il a été décidé de limiter au nombre de huit les exercices de résolution de dysfonctionnements. Ce choix est venu du principe que l'on devait trouver une limite entre les dysfonctionnements courants qu'un opérateur doit être en mesure de résoudre seul et les dysfonctionnements exceptionnels ou trop compliqués pour être résolus par l'opérateur. Par défaut, ces dysfonctionnements ou pannes pour les cas bloquant la production trop longtemps sont résolus par le service maintenance. La PU15Sb est une des machines les plus complexes de l'usine. Sa complexité est due à une forte automatisation. A la livraison, cette machine n'est livrée qu'avec des plans sommaires d'implantation. Très peu de documentation est fournie. Ce manque de documentation force les techniciens à s'autoformer à la maintenance de cette machine. Ce constat est vrai pour la plupart des machines de l'usine. Chacun construit son expérience métier « sur le tas ». S'il existe une base de données regroupant l'ensemble des opérations de maintenance, il n'existe pas de mutualisation des connaissances métier. Les connaissances sont détenues par les techniciens sans être partagées. Chacun se spécialise sur un ou plusieurs types de machines, rencontre des pannes et donc des cas de maintenance différents. Toutes ses connaissances ne sont pas partagées et encore moins capitalisées.

Ce manque d'information, voire de formation, est une perte considérable de temps et donc d'argent. Chaque arrêt de machine provoque une rupture de production. La tâche des techniciens de maintenance est donc de répondre la plupart du temps dans l'urgence à une panne, si l'on exclut les maintenances préventives. S'ils ne disposent pas du savoir permettant de résoudre ce problème ou d'un moyen d'obtenir cette information rapidement, ils devront trouver la solution par eux-même et donc résoudre le problème à tâtons. Cela est dommageable, d'autant qu'un de ses collègues aura certainement déjà rencontré ce problème.

On pourrait penser développer une formation comme dans le cadre du projet RVPI, utilisant un simulateur regroupant les interventions de maintenance à effectuer sur un type de machine. Toutefois, comme nous l'avons vu au chapitre précédent, il est très difficile pour une personne extérieure au développement du projet de recréer des leçons. Ce constat chasse tout espoir d'utiliser ce type de système pour capitaliser les connaissances des techniciens en interne. Pour répondre à ce problème, on pourrait décider de créer sur le modèle de RVPI toutes les leçons nécessaires à la maintenance et à la réparation d'une machine. Mais un autre problème est l'ampleur de la tâche. Prenons comme exemple la PU15Sb, qui, ne serait-ce qu'au niveau mécanique, est constituée de plusieurs milliers de pièces. Modéliser la machine dans son entier reviendrait à refaire une maquette CAO complète et donc démonter entièrement celle-ci pour cotation et modélisation.

L'idée est donc de proposer un outil permettant la capitalisation de ces connaissances à posteriori. En effet, aujourd'hui les tendances sont plus à penser les procédures de maintenance à priori, lors de la conception de la machine grâce par exemple à des logiciels intégrés aux outils de conception. Ainsi, 3DVia Composer¹ de Dassault Système² permet à la suite Catia de créer des documents, interactifs ou non, décrivant les procédures de maintenance (voir figure 6.1).

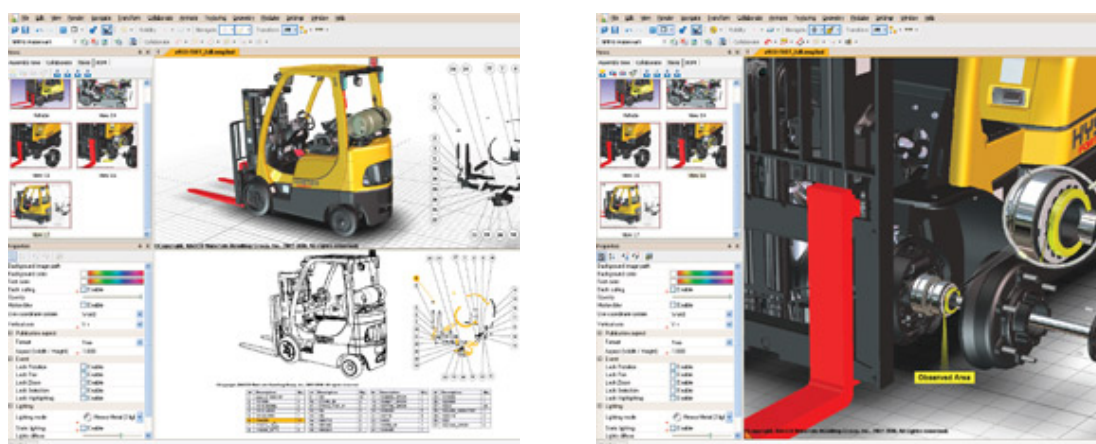


FIGURE 6.1 – Capture d'écran de 3DVIA Composer de Dassault Système

Mais malheureusement, ce type d'outil requiert un minimum de connaissances en CAO et, comme évoqué précédemment, une prise en charge dès la conception. Ce n'est pas notre cas. C'est pour permettre aux techniciens de pouvoir capitaliser leur expérience et connaissances actuelles, que nous proposons d'utiliser conjointement les techniques de la gestion de connaissances et de la réalité virtuelle pour répondre à ce problème.

1. 3DVia Composer : <http://www.3ds.com/products/3dvia/3dvia-composer>

2. Dassault Système : <http://www.3ds.com/>

2 Problématique scientifique

La réalité virtuelle propose à l'utilisateur des nouveaux modes d'interaction et de visualisation avec les objets virtuels. Ces techniques aujourd'hui très avancées ont été maintes fois étudiées. Il est aujourd'hui admis que la réalité virtuelle n'est plus seulement cela, au moins par le fait que les objets que l'on veut visualiser ne sont plus des copies de la réalité. On veut pouvoir afficher/naviguer dans un monde permettant d'accéder à des données normalement intangibles, non visibles, n'ayant pas de représentation ou manifestation matérielle. Considérons par exemple le concept d'affordance. L'affordance est la capacité d'un objet à suggérer sa propre utilisation. C'est un concept non représentable, si ce n'est par la simple forme de l'objet. En voyant la poignée d'une porte, nous savons tous comment nous en servir, mais un personnage virtuel autonome, lui, doit avoir la connaissance "*une poignée de porte sert à ouvrir la porte*" pour pouvoir ouvrir la porte dans l'environnement virtuel. Pour éviter que le personnage ne contienne ces informations, il est possible aujourd'hui que celles-ci soient portées par l'objet lui même, comme dans les Smart Objects de [Kallmann et Thalmann, 1999, Kallmann, 2001] et permettre donc au personnage d'appréhender la fonction de l'objet à son approche ou à sa vision. L'ensemble des objets de l'environnement portant des informations forment un environnement virtuel informé (EVI). L'information est spatialement attachée à un objet 3D, nous parlerons alors de connaissance située, car elle n'a de contexte qu'à cet endroit précis.

Nous proposons d'étendre ce concept de connaissances situées non plus aux personnages virtuels autonomes mais aux humains utilisateurs de l'environnement virtuel. Ces connaissances situées auront pour but d'enrichir l'environnement virtuel permettant la compréhension et l'apprentissage de concepts inconnus à l'utilisateur. Différents travaux sur les annotations 3D [Aubry, 2007] ont été suivis dans ce but, mais les connaissances capitalisées portaient sur des contenus statiques en regard de la dynamique de l'environnement : textes, images, sons, etc. Notre hypothèse est qu'il est possible de capitaliser des connaissances dynamiques par ce moyen. Par dynamiques, nous pensons à des connaissances qui modifient l'environnement. En environnement virtuel, les modifications de celui-ci sont, soit dues à des scénarisations ou animations prévues d'avance ou à dues des programmes et/ou agents³, soit dues à l'action humaine sur l'environnement. Cette action entraînant

3. Agent [Ferber, 1995] : On appelle agent une entité physique ou virtuelle :

- qui est capable d'agir dans un environnement,
- qui peut communiquer directement avec d'autres agents,
- qui est mue par un ensemble de tendances (sous la forme d'objectifs individuels ou d'une fonction de satisfaction, voire de survie, qu'elle cherche à optimiser),
- qui possède des ressources propres,

une réaction (visuelle, sonore, haptique...), on peut dès lors parler d'interaction. Et c'est cette interaction humaine dans l'environnement virtuel qui nous préoccupe et que nous désirons capitaliser. Pour cela nous prendrons le parti que l'interaction dans le virtuel est le pendant du geste dans le réel. Aussi au même titre que le geste est capitalisé et transmis dans de multiples domaines (danse, langage des signes, artisanat, sport...), nous désirons capitaliser l'interaction dans le virtuel, avec la particularité que le contenu enregistré sera associé à l'objet de cette interaction. Nous proposerons donc un modèle d'annotation gestuelle inspiré du modèle d'annotation 3D de S. Aubry, permettant de capitaliser ces interactions et de les restituer à un utilisateur à posteriori. Nous présenterons un premier prototype d'application de ce modèle dans le cadre de la maintenance industrielle mécanique : Ptolémée.

-
- qui est capable de percevoir (mais de manière limitée) son environnement,
 - qui ne dispose que d'une représentation partielle de cet environnement (et éventuellement aucune),
 - qui possède des compétences et offre des services,
 - qui peut éventuellement se reproduire,
 - dont le comportement tend à satisfaire ses objectifs, en tenant compte des ressources et des compétences dont elle dispose, et en fonction de sa perception

Troisième partie

Annotations gestuelles

Chapitre 7

Modèle d’annotation gestuelle

1 Annotation 3D

1.1 Modèle d’annotation 3D

Stéphane Aubry propose dans sa thèse un modèle d’annotation 3D qui repose sur la possibilité d’annoter une maquette virtuelle. La gestion du contenu des annotations est supportée par une ontologie de domaine. Ce modèle prend forme au sein de l’application MATRICS (Managing Annotations for TRaining In a Collaborative System) [Aubry, 2007]. MATRICS (voir figure 7.1) est un environnement virtuel collaboratif asynchrone, c’est à dire qu’il permet à plusieurs utilisateurs de collaborer dans un espace virtuel commun. Ici l’espace de travail est une maquette virtuelle d’un objet, autour de laquelle les utilisateurs vont partager leurs points de vue. Ce partage de connaissances se fait par l’intermédiaire d’annotations sur la maquette virtuelle. MATRICS est un EVI au sens où l’information partagée dans l’environnement est spatialisée et donc intimement liée à l’objet virtuel.

La spatialisation de contenu dans l’espace par l’intermédiaire d’ancres est le point central du modèle d’annotation 3D. Une annotation 3D est caractérisée par trois propriétés : la forme, la spatialisation et les métadonnées. La forme se décompose suivant le triplet : support, contenu et présentation. Le support est l’objet, matériel ou informatique, qui sera utilisé pour inscrire la connaissance à capitaliser. Le terme support a été choisi (à la place de média) par S. Aubry pour pouvoir aussi inclure les supports spécifiques de la réalité virtuelle tels que les marques 3D, les données à retour sensoriel et les gestes. C’est justement le geste qui nous intéresse. Dans MATRICS, les gestes sont porteurs de notions spatiotemporelles par exemple lors du déplacement du point de vue selon une certaine trajectoire, mais aussi de notions corporelles via par exemple une représentation du corps de l’utilisateur (voir figure 7.2). Le contenu représente les données ou connaissances incluses dans l’annotation.

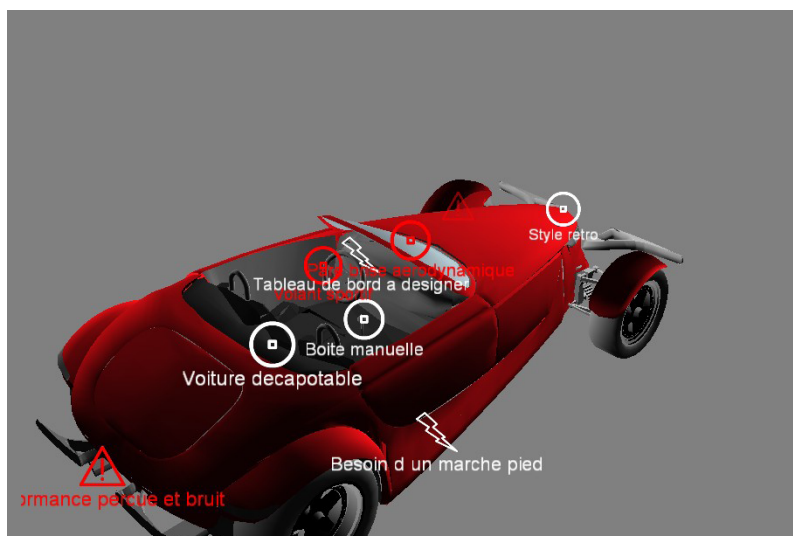


FIGURE 7.1 – MATRICS extrait de [Aubry, 2007]

La présentation est la forme dont sont rendues ces connaissances aux lecteurs.



FIGURE 7.2 – L'annotation gestuelle vue par MATRICS

Ce modèle ne prend en compte que des données statiques qui ne dépendent ni du temps et donc ni de la cinématique de l'objet étudié ou de l'utilisateur. Ce que nous proposons est justement de prendre en compte ce paramètre qu'est le temps. Cela change donc toutes les données qui peuvent être stockées dans une annotation 3D. La figure 7.3 décrit le modèle d'annotation 3D supportant MATRICS.

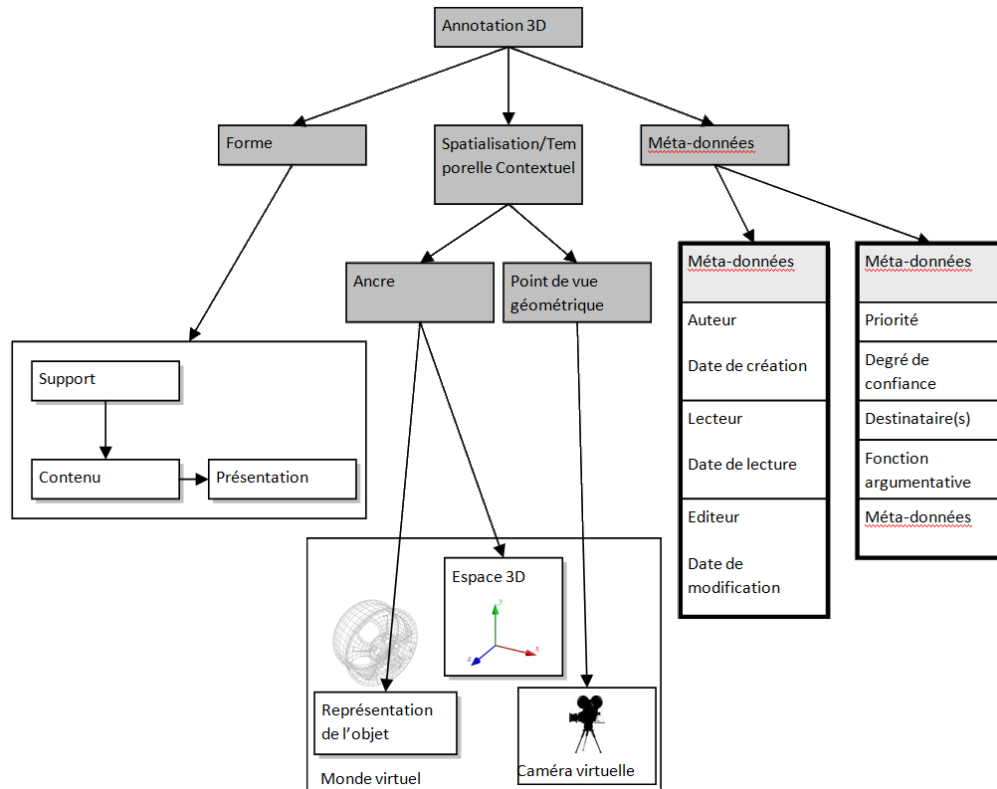


FIGURE 7.3 – Modèle d'annotation 3D extrait de [Aubry, 2007]

1.2 La temporalisation

L'ajout du temps comme donnée capitalisée nous oblige à reconsidérer toutes les autres qui étaient capitalisées dans l'ancien modèle d'annotation 3D. A côté de la spatialisation, nous ajoutons une nouvelle caractéristique qui est la temporalisation (voir figure 7.4. En plus des anciennes données capitalisées liées à la spatialisation (point de vue géométrique, ancre), il nous faut aussi ajouter de nouvelles données en relation avec cette dernière caractéristique. La première est la date de création ou de modification. Elle permet de situer l'annotation dans le temps et donc de créer un lien temporel entre les différentes annotations à la manière d'un historique. Cette donnée dans le modèle d'annotation 3D faisait partie des métadonnées. La seconde donnée représente les mouvements de l'utilisateur entre deux annotations (entre le moment où l'utilisateur vient de finir une annotation et le moment où il en commence une autre). Dans cette donnée on capitalise une trajectoire du point de vue géométrique pris par l'utilisateur. Cette donnée est capitalisée à chaque déplacement et donc une marque temporelle est créée pour chacun d'eux.

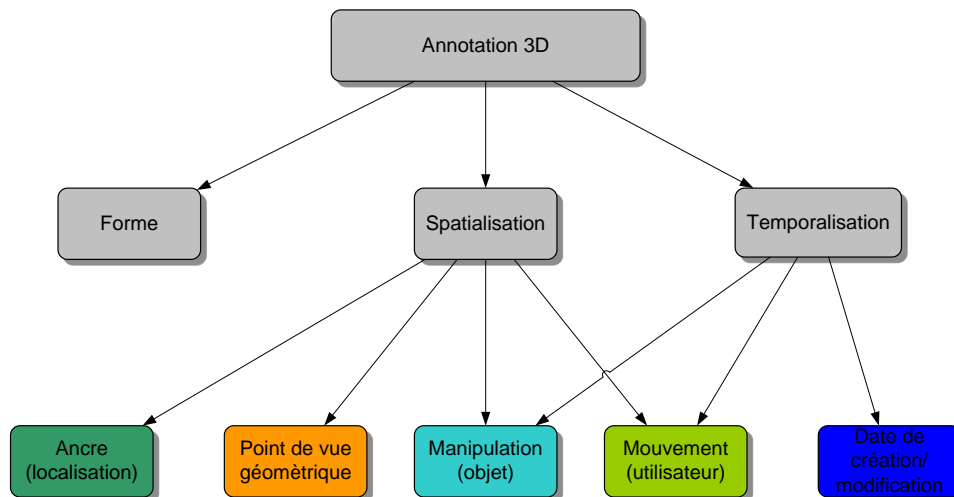


FIGURE 7.4 – Ajout de la temporalisation

1.3 La contextualisation

De la même manière que la temporalisation, il est souhaitable d'ajouter le concept de contextualisation au modèle d'annotation. En effet, un geste ou un déplacement d'objet ne prend de sens que dans un contexte, qui est l'état dans lequel se trouve l'environnement au moment où se produit le geste. Dans le cas d'un mouvement humain, le geste n'est cohérent que vis-à-vis des objets qui l'entourent. Dans le cas d'un déplacement d'un objet, le geste est contraint par la position des objets entourant le premier. On peut donc voir ici l'intérêt de capitaliser l'état de la scène avant toute manipulation.

L'état de la scène n'est pas seulement la position des objets à un temps t , mais aussi la connexion entre les différents objets. Dans une scène virtuelle, on décrit généralement cette connexion entre les objets par des liens de parenté (l'objet A est le père de l'objet B). Cette parentalité permet de créer des groupes d'objets sous forme d'arbre. L'utilisation de ce procédé permet de créer des transformations hiérarchiques. Si l'on bouge l'objet père, les enfants suivront. Les coordonnées des enfants sont exprimées dans le repère du père. Ce système est très simple mais présente un gros inconvénient. En effet nous ne pouvons décrire des connexions plus complexes entre les objets, comme par exemple un objet qui aurait deux pères et donc qui appartient à deux sous-groupes d'objets.

Les ajouts successifs au modèle de base d'annotation 3D proposé par Stéphane Aubry, de la temporalisation et de la contextualisation, nous invite à augmenter ce modèle à un nouveau le modèle d'annotation 3D étendue (voir figure 7.5).

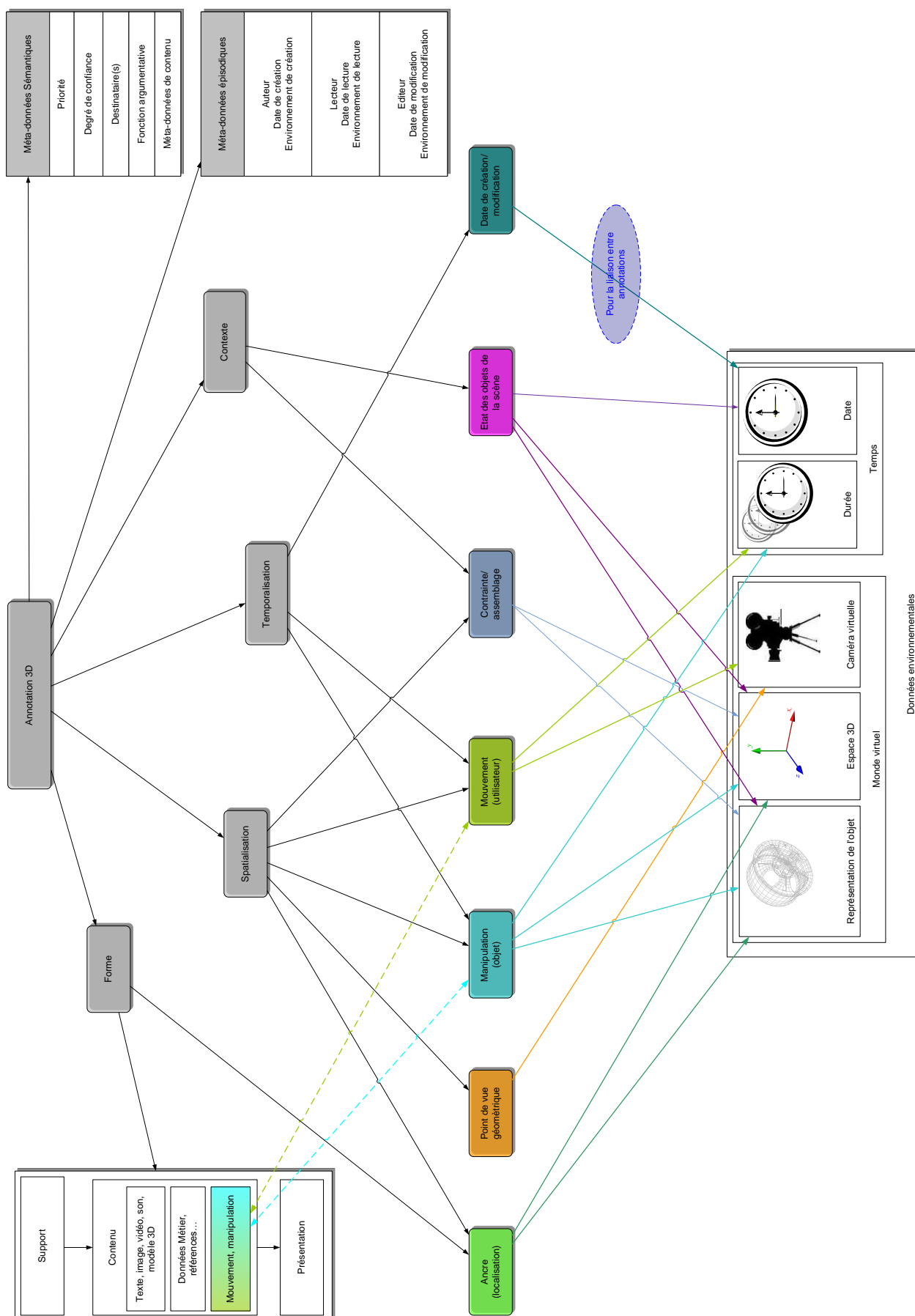


FIGURE 7.5 – Modèle d'annotation 3D étendue

2 Annotation 3D étendue

2.1 Le processus d'annotation : une donnée à capitaliser

Dans une application comme Matrics lorsque l'on poste des annotations sur une maquette virtuelle, le point de vue de l'utilisateur est très important. En effet, le point de vue d'un objet peut modifier la perception d'une annotation. Par exemple, une annotation posée sur le coin d'un objet d'un plan concernant une distance (trop courte ou trop longue) peut être interprétée pour un côté ou l'autre du coin en question. On peut donc penser que le point de vue pris par un utilisateur, lors de la pose d'une annotation, contribue au sens de celle-ci. De la même façon, l'historique de création ou de visualisation des annotations, peut contribuer à la compréhension de celles-ci. Lors d'un parcours virtuel autour de la maquette virtuelle, l'utilisateur se construit un schéma mental ou une représentation de la maquette qui sera différent suivant le chemin emprunté. Si l'on veut vraiment comprendre la motivation d'un utilisateur à poster telle ou telle annotation, il faut comprendre le parcours qu'il a suivi pour arriver à cette annotation. Le premier cas de figure le point de vue peut être inclus dans le parcours. Il représente la dernière étape du cheminement virtuel pour arriver à cette annotation. Dans la mesure où ce cheminement autour de la maquette virtuelle apporte une nouvelle compréhension ou un ajout de sens à une annotation, on peut considérer que celui-ci est porteur d'information et donc devient, dans la mesure où l'on le capitalise, une annotation. Nous la nommerons « annotation de parcours virtuel ». Comme le chemin de parcours virtuel, la sélection d'un objet ou d'une annotation pour sa « lecture » avant la création d'une autre, participe à la compréhension de cette dernière. Nous pouvons la nommer « annotation de sélection ». Cette sélection est toujours précédée d'un parcours (ou au minimum d'un point de vue) pour se mettre en position pour la sélection. Donc une annotation de parcours peut être divisée en d'autres sous-annotations de parcours ponctuées par des annotations de sélection. Le schéma ci-dessous (Figure 7.6) présente l'ensemble des étapes du processus de parcours « pré-annotatif », du point de vue initial à la création d'annotation.

Cette annotation de parcours global (ensemble du parcours effectué jusqu'à la création de l'annotation) est enregistrée implicitement sans action explicite de l'utilisateur. Elle se base sur les interactions de mouvement et de sélection en environnement virtuel. Il nous reste un type d'interaction qui n'a pas été évoqué : les interactions de manipulation. Celles-ci sont à priori dues aux manipulations d'un ou plusieurs objets par l'utilisateur, par exemple déplacer un objet pour en montrer un autre, bouger un objet pour montrer qu'il peut être déplacé. Ce genre d'interaction peut être enregistré explicitement ou non par l'utilisateur. Une interaction de mani-

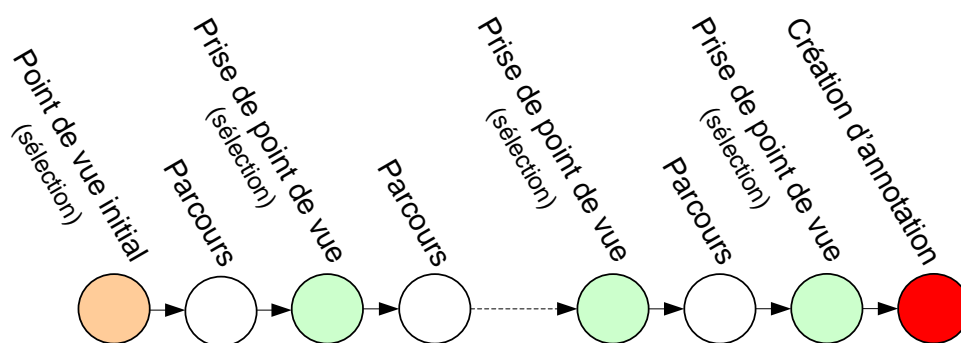


FIGURE 7.6 – Cheminement pour la création d'annotation

pulation est toujours précédée d'une interaction de sélection, mais que cette fois-ci elle doit être explicitement effectuée par l'utilisateur (voir figure 7.7). La sélection explicite précédant la manipulation initie le processus de création d'annotation. Cette sélection est aussi présente lors d'annotation plus classique avec des médias du type texte, images, vidéo et son.

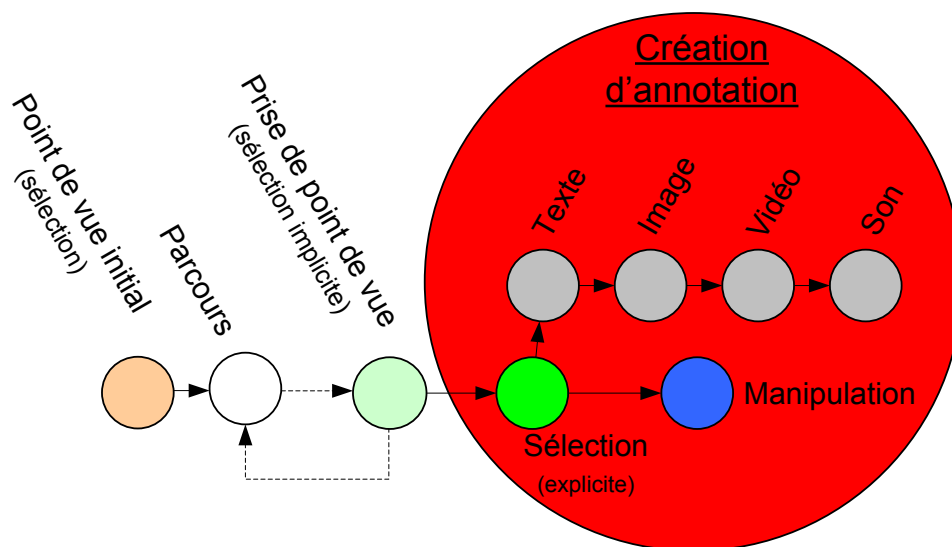


FIGURE 7.7 – Le processus de création d'annotation

Lors de la création d'une annotation le point de vue est conservé comme point de vue initial de la prochaine annotation de parcours virtuel. La figure 7.8 définit l'enchaînement des différentes étapes de création d'annotation en environnement virtuel.

La tâche de sélection dans le processus d'annotation virtuelle représente le choix et la place de l'ancre de l'annotation. Dans l'environnement virtuel, cela peut prendre plusieurs formes : un point dans l'espace (n'importe où ou sur un endroit spécifique sur un objet), un objet ou un groupe d'objets. La sélection peut donc s'appliquer à des points d'ancrage de natures différentes. Cette différence implique à chacun des

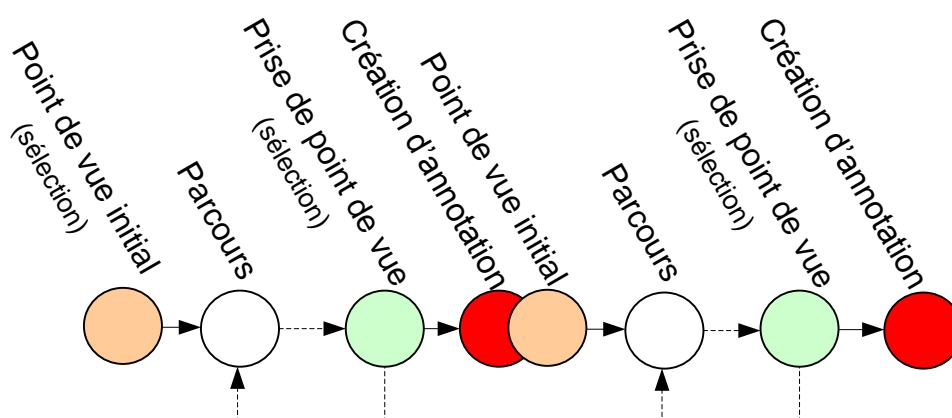


FIGURE 7.8 – Enchaînement création d'annotation

types de sélection un sens différent. Ce n'est qu'au moment de la sélection que nous savons à quelle(s) entité(s) s'applique l'annotation. L'annotation « prise de point de vue » est aussi une sélection mais cette fois-ci elle est implicite et s'applique non plus à une entité virtuelle mais à l'utilisateur à un moment donné et plus particulièrement à sa position et son orientation. Cette sélection est egocentrique et non plus exocentrique.

2.2 Le geste comme contenu d'annotation

2.2.1 Le geste dans le monde réel et le geste dans le monde virtuel

Le geste est défini dans le dictionnaire¹ comme : « Mouvement du corps, principalement de la main, des bras, de la tête, porteur ou non de signification ». Cette définition signifie que seul le corps (ou un de ses membres) peut être créateur de gestes. Si cela ne pose aucun problème pour le monde réel, il n'en est pas de même pour le monde virtuel. En effet, le corps n'a aucune consistance dans le monde virtuel, son influence sur le monde virtuel est prothétisée par la présence de l'interface numérique entre les deux mondes. Dans le virtuel, deux cas de figure se présentent. Le premier consiste à reproduire la réalité en créant un geste virtuel similaire au geste réel. C'est le cas de la capture de mouvements. Nous parlerons alors de gestes isomorphes à la réalité. Le second cas concerne les gestes virtuels qui ne sont pas une reproduction du geste effectué dans le réel, par exemple effectuer une rotation sur un objet en réalisant une translation à la souris. Ici le geste réel effectué sur l'interface est interprété pour être retranscrit en un geste virtuel différent. C'est ce que l'on appelle une métaphore d'interaction.

1. Le Petit Larousse Illustré éd. 2000

La métaphore permet d'effectuer des mouvements dans le virtuel que l'on ne peut réaliser dans le monde réel, pourtant il faut bien une commande ou un geste « réel » pour faire ce geste dans le monde virtuel. Il ne peut donc y avoir dans ce cas de mimétisme entre réel et virtuel. Ces métaphores ont été catégorisées par [Bowman, 1999]. Comme évoqué au chapitre 5, nous prendrons le point de vue de [Luciani *et al.*, 2006] en considérant tout ce qui modifie l'environnement virtuel comme étant un geste.

2.2.2 Capitalisation du geste en environnement virtuel

Décomposition du geste Comme évoqué au chapitre 5, l'enregistrement du geste peut se faire de deux manières. La première est l'analyse sémantique du geste pour le transformer en une suite de symboles le décomposant et l'explicitant. C'est le cas notamment dans les notations chorégraphiques qui décomposent le geste en « notes ou accords gestuels ». La seconde est un enregistrement complet du geste échantillonné dans le temps. Les positions et orientations des membres ou de l'objet réel suivi (par exemple une interfaces d'interaction tel qu'un Wand²) sont enregistrées selon une fréquence dépendante du système de capture (fréquence des caméras, vitesse de bus...).

Dans le cas d'un enregistrement pour l'environnement virtuel, nous avons deux choix en ce qui concerne l'enregistrement de geste : begin

- soit enregistrer les gestes dans le réel qui vont agir sur le virtuel,
- soit directement enregistrer les gestes générés dans l'environnement virtuel.

Le premier cas reviendrait à acquérir grâce à un système de capture les mouvements du corps humain (voir figure 7.9) ou encore enregistrer les déplacements d'une souris manipulée par l'utilisateur. Le cas du système de capture est cohérent car il est souvent utilisé dans des cas isomorphes à la réalité. Par contre le second n'a que peu d'intérêt. En effet la souris dans l'environnement virtuel est souvent associée à un pointeur virtuel par l'intermédiaire de métaphores. On peut donc dire qu'enregistrer des gestes pour le monde virtuel dans le monde réel n'est utile que si l'on cherche à capitaliser des gestes corporels réels, dans ce cas on se tournera vers un enregistrement des mouvements du corps localisé via des capteurs en séparant par exemple membre par membre.

Si l'on désire capitaliser l'action de l'utilisateur dans l'environnement virtuel alors la capture ne s'effectuera que dans le monde numérique. Trois techniques sont possibles pour cet enregistrement.

2. Wand : Dispositif d'interaction utilisé en réalité virtuelle, souvent équipé de boutons et d'un joystick, il comprend aussi un tracker 3D renvoyant sa position et son orientation à l'ordinateur. Il est utilisé comme interface de navigation dans le monde virtuel et de manipulation d'objets virtuels.



FIGURE 7.9 – Exemple de capture de mouvement utilisé dans la danse

La première est similaire à une capture localisée. Comme expliquée plus haut, il ne s'agit plus cette fois de capter les positions des membres du corps mais de capturer les positions et orientations d'objets dans l'environnement virtuel. Dans ce cas l'échantillonnage est régi par les contraintes de l'environnement (vitesse d'exécution, nombre d'objets à suivre...).

La seconde dépend de la manière dont sont représentés les gestes dans l'environnement et plus particulièrement de la suite de transformations géométriques (translations, rotations, mise à l'échelle, déformations) utilisées pour effectuer le geste. C'est cette suite de transformations qui va être capitalisée. L'enregistrement sera une suite de commandes ayant chacune un temps ou date pour déterminer le début de celle-ci, le type de commande, ses paramètres et une durée d'exécution. Par exemple on pourra sauvegarder : « Une rotation de l'objet A selon son axe X de 23° commençant à 13h12 21 :316 le 13/11/2009 d'une durée de 13 secondes ».

La troisième solution possible est l'enregistrement symbolique. Dans cette configuration, l'on enregistre non plus le geste par son empreinte « physique » dans le monde virtuel mais par le sens ou la fonction de celui-ci dans le contexte donné. Par exemple pour retirer une vis, on préfère avoir la représentation « dévisser », plutôt qu'une représentation sous forme d'une rotation et d'une translation combinées ou encore une suite de positions et orientations. Pour avoir accès à une représentation symbolique du geste, il faut que celui-ci soit analysé.

Il existe différentes techniques pour l'analyse de geste comme par exemple l'utilisation de systèmes automatiques basé sur des réseaux de neurones [Harling, 1993, Sandberg, 1997], des réseaux bayésiens [Lu *et al.*, 2005, Rett et Dias, 2006] ou encore sur des systèmes utilisant un critère du maximum de vraisemblance [Licsár et Szirányi, 2004, Cho *et al.*, 2004] sur l'apparence de celui-ci. Mais comme dans la notation chorégraphique, il est tout à fait possible de laisser l'humain nommer et décrire ces gestes. Dans tous les cas, d'analyse gestuelle il faut de toute

façon l'intervention d'une présence humaine à un niveau ou un autre. En effet, les systèmes précédemment cités doivent être bien souvent enrichis avec des bases de gestes à priori pour pouvoir fonctionner.

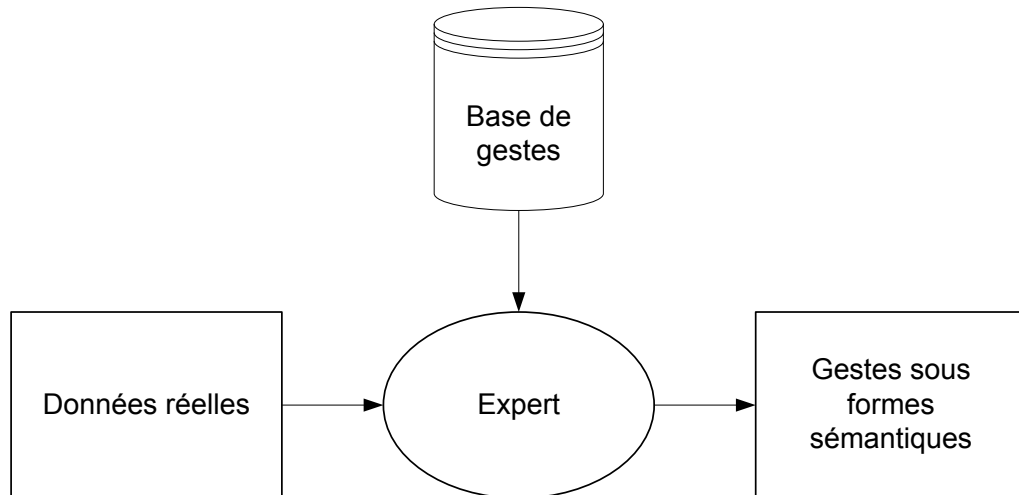


FIGURE 7.10 – Exemple d'analyse de gestes

Synthèse du geste Après avoir enregistré ces gestes, il convient de les restituer. Cette restitution dépend évidemment de la nature des enregistrements.

Dans le cas de données de capture de mouvement brutes (donc émanant d'un enregistrement corporel), il faudra alors « rejouer » ces positions en utilisant un squelette virtuel reprenant par exemple la morphologie humaine dans le cadre d'une capture du corps humain. Chaque membre du squelette virtuel prendra la position du membre enregistré à un temps donné. Dans le cas où il manquerait des enregistrements ou si la fréquence d'enregistrement serait trop faible par rapport à la fréquence d'affichage, on peut toujours reconstruire les positions et orientations manquantes par divers procédés comme par exemple les interpolateurs.

Si les enregistrements gestuels sont des suites de transformations géométriques, alors il suffira de les rejouer en s'assurant que le contexte est le bon. En effet rejouer une suite de transformations géométriques (rotation, translation...) dans un mauvais contexte pourrait provoquer des incohérences, comme des collisions inappropriées par exemple.

La restitution du 3ème type d'enregistrement : symbolique, est beaucoup plus difficile puisque en lui même le nom donné à un geste ou le symbole qui le représente ne décrit pas phénoménologiquement le geste lui-même mais le désigne.

2.3 Annotation de lien

2.3.1 L'assemblage en environnement virtuel

En environnement virtuel, il n'y a pas par défaut de système d'assemblage comme dans les logiciels de CAO. Nous considérons comme système d'assemblage, un système permettant de créer des liens entre différents objets d'une même scène 3D. Dans les moteurs 3D classiques (pour les jeux ou la réalité virtuelle comme Virtools) les seuls liens entre objets disponibles sont les liens de parenté (un objet A a pour parent l'objet B, et donc l'objet B à pour enfant l'objet A). Ce type de lien pose problème si l'on veut qu'un objet soit lié à deux autres, comme par exemple une plaque qui serait rattachée à deux autres pièces plus importantes. Dans ce cas, la plaque devra être fille des deux autres. Cela n'est pas possible dans le cadre de l'utilisation de moteurs 3D classiques. Un objet ne peut avoir plusieurs parents. Pour contourner ce problème nous proposons donc un système d'assemblage simplifié : les annotations de lien. Elles permettent de lier des objets par des liens de parenté multiples.

2.3.2 L'annotation de lien

Une annotation de lien est une annotation qui décrit un lien entre plusieurs objets, trois au maximum. Le contenu d'une annotation de lien peut s'énoncer de la manière suivante : l'objet A lie l'objet B à l'objet C. L'objet A est donc le lien entre B et C. il sera donc le porteur de l'annotation. Etant donné que cette annotation concerne un objet entier, on peut donc penser que cette annotation sera globale. Pour l'instant, on ne décrit pas le type de lien (exemple : vis/boulon, plan/plan...). Nous ne savons pas encore s'il faut décrire toutes les contraintes entre les objets comme dans les logiciels de CAO. Une piste à explorer serait les contraintes sémantiques de [Riboulet *et al.*, 2002].

Fonctionnellement, le système d'annotations de lien n'est actif qu'à la manipulation. En effet le système ne se déclenche que lorsque que l'utilisateur essaie de déplacer un objet. Il utilise un tableau représentant les liens entre les objets du type « liens », « parents » et « enfants ». Ce tableau décrit l'arbre des parentés de l'assemblage (voir figure 7.11). Ces liens permettent au système de recréer un arbre de hiérarchie en partant de l'objet sélectionné (voir figure 7.12), descendant sur tous ces enfants. Puis il fait de même avec les liens de parenté « parents ».

2.3.3 Comment représenter l'annotation de lien

L'annotation de lien correspond à une information de liaison entre différents objets 3D. A ce titre, cette information n'est pas visuelle. Nous pouvons dans ce

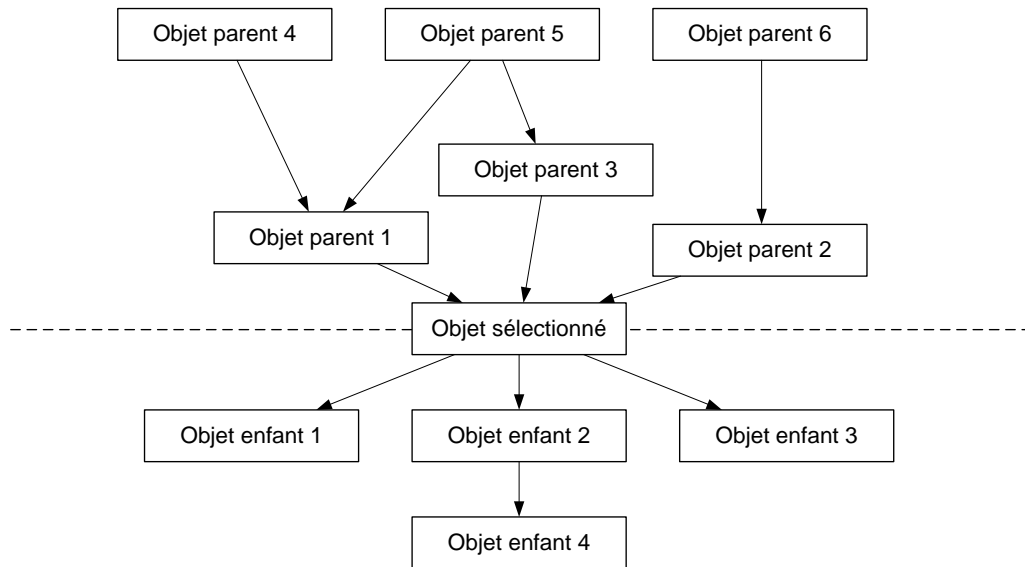


FIGURE 7.11 – Arbre d'assemblage virtuel

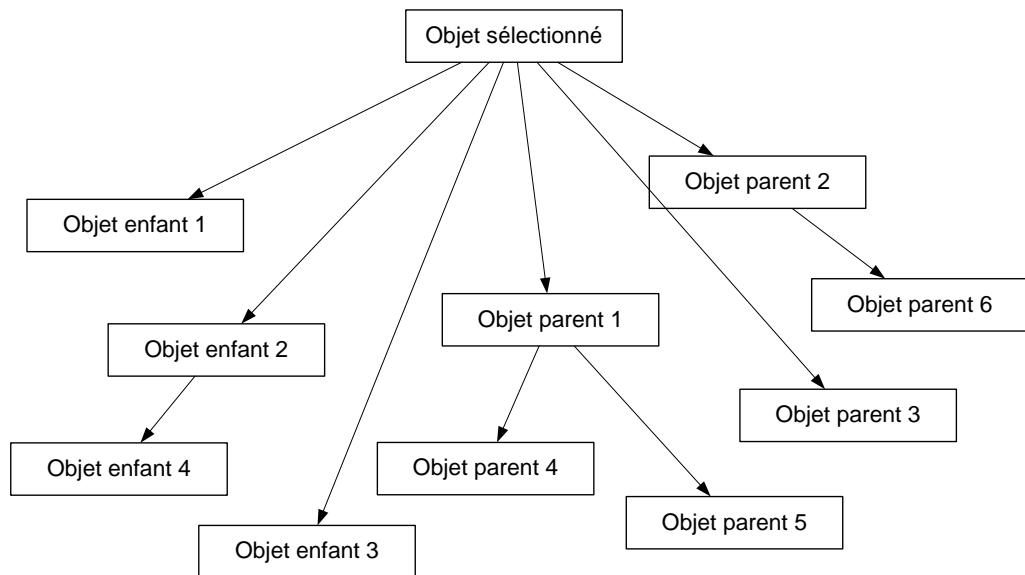


FIGURE 7.12 – Parenté dans le moteur 3D

cas spécifier arbitrairement un symbole représentant la liaison. Ce symbole sert à identifier du premier coup d'œil à quel type d'annotation nous avons à faire. Dans la thèse de Stéphane Aubry [Aubry, 2007], ce type d'annotation, qui s'ancre sur un ou plusieurs objets dans leur globalité, est nommée annotation logique. Elle englobe la totalité de l'objet. Le principal problème de ce genre d'annotation est le placement de l'ancre. En effet, nous avons vu que la place de l'ancre a une importance dans le contexte de lecture de l'annotation, notamment le point de vue de l'annotation 3D. Sur une annotation logique, on considère l'objet dans son ensemble. L'ancre ne peut donc pas forcément se positionner sur le point de sélection de l'utilisateur. Ce problème prend encore plus d'importance lorsque l'utilisateur annote un groupe

d'objets et non plus un objet unique. Quel objet sera porteur de l'annotation ? Doit-on créer un objet intermédiaire englobant les autres (ancrage spatiale) pour porter cette annotation ?

Par définition, notre annotation de lien ne peut se lier qu'à un seul objet, l'objet de lien.

2.3.4 La lecture d'une annotation de lien

Une annotation de lien peut se lire de deux façons. La première est une lecture rapide (simplement de l'ancrage), la seconde est une lecture avec une action (pour la rupture de l'assemblage).

Lecture de l'ancrage La lecture de l'ancrage est une lecture directe et partielle de l'annotation. Par la simple vision de l'ancrage de l'annotation de lien, l'utilisateur a accès à plusieurs informations. La forme de l'ancrage lui signifie que c'est une annotation de le lien, ainsi que le type de lien de l'annotation (emboitement, vis/boulon...). Cette ancre est située sur l'objet qui crée le lien (la vis par exemple). Lorsque l'annotation est sélectionnée par l'utilisateur, l'annotation montre à l'utilisateur quels sont les objets liés, en surlignant ceux-ci d'une couleur spécifique.

Rompre le lien Lors de la lecture d'une annotation de lien (sélection, voir paragraphe précédent), une fonctionnalité particulière peut apparaître sous la forme d'un bouton/icône 3D ou autre... Il s'agit de la rupture du lien. En effet, si l'on veut créer une procédure de démontage, il faut donner la possibilité à l'utilisateur de rompre l'assemblage virtuel. Cette rupture peut avoir deux représentations. Dans le premier cas, il s'agit d'un lien dont la contrainte de liaison est connue (par exemple vis/boulon). Dans ce cas l'on peut jouer ou simuler une animation permettant de rompre cette liaison (dévisser le boulon et retirer la vis). Ensuite le système mettra à jour l'arbre d'assemblage virtuel en donnant à l'annotation l'attribut « rompue ». Dans le second cas, la contrainte n'est pas connue et dans ce cas, le système donne l'attribut rompue à l'annotation et laissera ensuite l'utilisateur déplacer les objets pour détacher ceux-ci graphiquement. Ce déplacement sera capitalisé comme une annotation gestuelle pour pouvoir rejouer plus tard celui-ci. La cible de cette nouvelle annotation ne sera pas un objet virtuel appartenant à l'assemblage mais l'annotation de lien elle-même.

3 Conclusion

Nous avons décrit ici un modèle d'annotation gestuelle, basé sur un premier modèle d'annotation 3D provenant du projet MATRICS. Ce modèle a pour but de permettre la capitalisation de données dynamiques comme le geste. Nous avons ajouté deux notions fortes au modèle d'annotation 3D : la temporalisation et la contextualisation.

Pour répondre à un manque de fonctionnalités d'assemblage dans les moteurs 3D, nous avons aussi proposé l'annotation de lien, dont le seul rôle est de créer des liens de parenté plus complexes entre les objets.

Une première application de ce modèle, Ptolémée, est décrite dans le chapitre suivant.

Chapitre 8

Ptolémée

Ptolémée 1er, général d’Alexandre le Grand reçoit en partage l’Égypte en 305 avant J.C. à sa mort. Il poursuit son œuvre en 288 avant J.C. en édifiant le musée d’Alexandrie abritant une université, une académie et une bibliothèque qui deviendra la grande bibliothèque d’Alexandrie. C’est pour la magnificence de cette bibliothèque et le nombre important de ses documents, que nous avons décidé de nommer notre projet du nom de son créateur, symbolisant ainsi un des précurseurs de la capitalisation du savoir.

1 Architecture

Ptolémée est une application WEB basée sur deux composants : un client online (HTML/CSS, Javascript et 3DVia Webplayer) et un serveur basé sur les technologies WEB (Apache, MySQL et PHP). Cette architecture a été choisie dans un souci de prototypage plus facile et rapide. Le serveur permet de sauvegarder et de partager les données capitaliser sous forme d’annotations. La communication entre le client et le serveur est assuré par le protocole http et un système de sockets TCP/IP (voir figure 8.1).

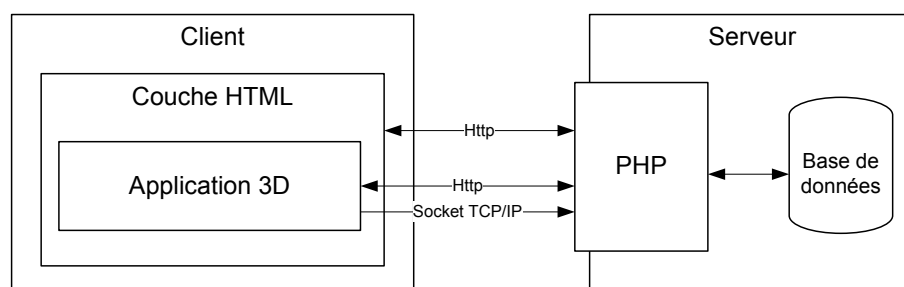


FIGURE 8.1 – Schéma d’ensemble de l’architecture de Ptolémée.

1.1 Le client

Le client se présente comme un site web (figure 8.2) géré par le serveur. Il est composé de deux parties distinctes : une couche WEB (HTML/CSS et Javascript) et une application 3D conçue avec le moteur 3D 3DVia Virtools¹. La couche WEB permet de gérer l'accès de l'utilisateur au système et à des documents tiers (textes, images, pdf...) en dehors de l'application 3D. L'application 3D quand à elle est le cœur du système. Son but premier est l'affichage en 3D d'une maquette virtuelle. C'est aussi cette interface qui permettra d'afficher les annotations laissées par lui-même ou les autres utilisateurs.

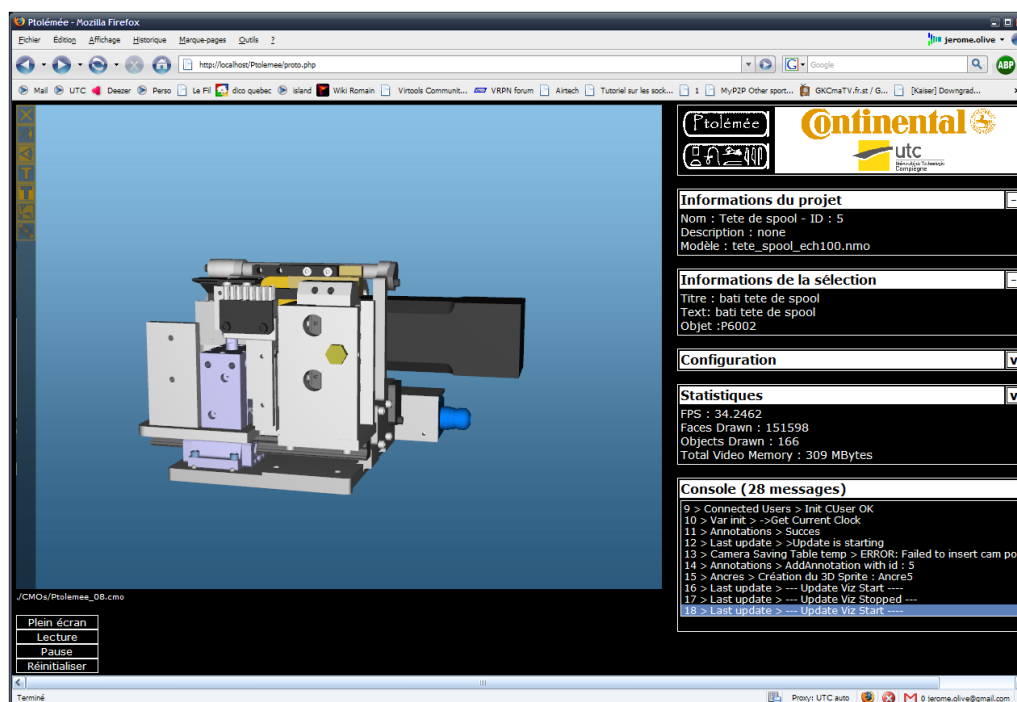


FIGURE 8.2 – Capture d'écran du client WEB de Ptolémée.

L'application 3D est capable d'exécuter des requêtes HTTP² et de lire le résultat rendu sous forme de tableau HTML.

1.2 Le serveur

Le serveur est basé sur des technologies serveur WEB : Apache, MySQL, PHP. Concrètement l'ensemble des données est contenu dans une base de données gérée par MySQL. PHP permet de faire les requêtes à la base de donnée et de mettre

1. 3DVia Virtools est un moteur 3D de la société Dassault Systèmes.
<http://www.3ds.com/products/3dvia/3dvia-virtools/welcome/>

2. Hypertext Transfer Protocol : Protocole de transfert de données utilisé pour internet

en forme les données pour faciliter leur insertion dans Virtools. Apache permet de servir ces données sous forme de web-services.

1.3 La communication

La communication entre les clients et le serveur utilise deux canaux. Le premier est le protocole HTTP, il permet de passer des requêtes au serveur. Cette communication se fait dans les deux sens : le client envoie une requête au serveur et attend en retour un résultat à cette requête. Pour être plus précis, la requête cliente est de type :

http :// + Adresse Serveur + Chemin de page + paramètres http

Le chemin de la page est le type de requête faite au serveur : ajouter une annotation, récupérer des annotations, etc. Elles correspondent à des pages PHP du serveur. Ces pages PHP seront interprétées par le serveur pour construire une réponse à la requête. Les réponses sont toujours formatées en tableau HTML. En effet l'application 3D qui vient lire ces informations assimile nativement les tableaux HTML.

2 Cas d'application d'un environnement informé

Ptolémée est un environnement virtuel collaboratif. L'environnement virtuel permet de partager des connaissances autour d'une maquette virtuelle. C'est un environnement informé au sens où il présente à l'utilisateur des informations ordonnées selon un modèle à base de connaissances. Ptolémée est à la fois :

- un environnement de visualisation de la maquette virtuelle permettant de charger des modèles issus de logiciel CAO, sous forme de projets,
- un environnement d'assemblage virtuel qui crée des règles d'assemblage simples facilitant les manipulations d'objets,
- un environnement de capitalisation conservant les interactions de l'utilisateur pour permettre ensuite de les partager avec d'autres,
- un environnement d'apprentissage.

2.1 Un environnement de visualisation

La première des fonctionnalités de Ptolémée est la visualisation de maquettes virtuelles issue de la CAO. Ptolémée fonctionne dans un explorateur internet qui supporte le 3DVIA Player³. Il y accède comme à un site web classique. Une interface de connexion permet aux utilisateurs de choisir le projet auquel il veut participer.

3. 3DVIA Player : <http://dl.3dvia.com/software/3dvia-player/>

L'utilisateur passe ensuite à une seconde interface qui est composée de différents cadres : le premier est l'interface 3D, sur la gauche de laquelle on retrouve le menu de manipulation de cette interface. Les autres cadres permettent d'accéder à des informations non affichables en 3D (documents, informations de débogage, statistiques etc). Une fois le modèle chargé, l'utilisateur peut naviguer autour grâce au clavier et à la souris. Il peut sélectionner des pièces du modèle grâce au curseur de la souris, afficher ou masquer des pièces.

2.2 Un environnement d'assemblage

Avec les droits administrateur d'un projet, l'utilisateur peut créer des annotations de liens (voir chapitre 7) entre les objets, en cliquant sur un bouton « lier ». Dans un premier temps, il choisit un objet qui est l'objet de liaison entre deux autres, par exemple une vis. Il va ensuite choisir successivement l'objet père et l'objet fils. En créant ce lien, l'utilisateur empêche toute manipulation de l'objet fils sans avoir dans un premier temps désolidarisé l'objet de liaison des objets liés. Ce lien crée une parenté entre objet dit « père » et objet « fils ». Tout déplacement de l'objet père entraînera le déplacement de l'objet « fils » de telle sorte que celui-ci reste à la même position par rapport au premier.

Lors de la création d'un projet à partir d'un modèle CAO, aucune des données concernant les contraintes d'assemblage ne sont conservées lors du passage à Ptolémée. C'est pour cela que l'administrateur doit dans un premier temps créer cet assemblage. Cet assemblage permettra une manipulation cohérente des pièces de la maquette virtuelle. C'est une phase que nous avons exclue de la capitalisation car elle est pratiquée à priori. L'assemblage terminé, les utilisateurs peuvent ensuite passer à la phase de capitalisation de savoir métier.

2.3 Un environnement de capitalisation

La phase de capitalisation est la plus importante du projet. En effet, comme dans MATRICS, l'utilisateur a ici la possibilité de partager son savoir non seulement en annotant l'environnement de textes, images, etc, mais de plus on lui propose ici d'annoter la maquette virtuelle en la manipulant. Comme décrit au chapitre 7, on enregistre le processus d'annotation 3D. Celui-ci commence par la capitalisation des différents points de vue de l'utilisateur autour de la maquette et cela jusqu'à la sélection d'un objet pour l'annoter ou le manipuler. Cette première capitalisation correspond à l'enregistrement du parcours pris par l'utilisateur, il sera ensuite segmenté en points de vue remarquables aux endroits où l'intérêt de l'utilisateur se sera focalisé, à partir d'un laps de temps prédéterminé ou à la lecture d'une ou plusieurs

annotations. Cela forme une partie du contexte de l'annotation.

L'étape suivante est l'annotation. Celle-ci est soit classique et comme dans MATRICS l'utilisateur inscrit un titre et y ajoute des média (texte, image, etc), soit il manipule la maquette virtuelle et un objet en particulier. Plusieurs cas de figure peuvent alors se présenter. Dans un premier cas, l'objet est libre de tout lien d'assemblage, et l'utilisateur pourra alors le déplacer librement. Dans un deuxième cas, l'objet est fils d'un autre, et il ne pourra alors pas être déplacé sans rompre ce lien, rupture qui ne peut se faire qu'en déplaçant l'objet « lien » par exemple une vis. Donc dans ce cas l'objet ne bougera pas. Un troisième cas concerne un objet « père ». Ici l'objet peut être déplacé librement, entraînant les objets fils, s'il n'est bien sûr le fils de personne.

2.4 Un environnement d'apprentissage

Ptolémée est aussi un environnement d'apprentissage. En effet, il ne suffit pas de capitaliser la connaissance, il faut aussi la restituer. L'environnement d'apprentissage est le même que celui de capitalisation. La différence est qu'ici l'utilisateur ne créera pas d'annotations, mais les lira (exemple de lecture en figure 8.3). Cette lecture s'effectuera par la sélection de l'annotation, qui ouvrira le contenu de l'annotation. Comme expliqué dans le paragraphe précédent, les informations contenues par l'annotation sont segmentées en deux parties distinctes : le contexte et le contenu en lui même.

Le contexte représente d'abord l'état du monde quand l'annotation a été créée : on y voit seulement les annotations créées avant l'annotation lue. A cela il faut ajouter tout le parcours effectué par le formateur. Ce parcours est constitué du chemin effectué et des différents points de vue significatifs pris sur celui-ci. Ces points de vue sont soit des pauses que l'utilisateur a effectuées pour observer un point de vue particulier, soit la lecture d'une annotation déjà présente sur le modèle. L'apprenant peut naviguer dans ce parcours en allant lire les annotations lues par le formateur ou suivre son point de vue.

En ce qui concerne le contenu de l'annotation, nous ne considérons qu'un seul type de contenu, à savoir un geste. c'est à dire le triplet : sélection/manipulation/désélection (voir chapitre 7).

3 Connaissance située

L'annotation 3D est un cas typique de connaissance située. En effet, si l'on sépare le contenu de l'annotation et son ancre, alors nous perdons le contexte spatial de

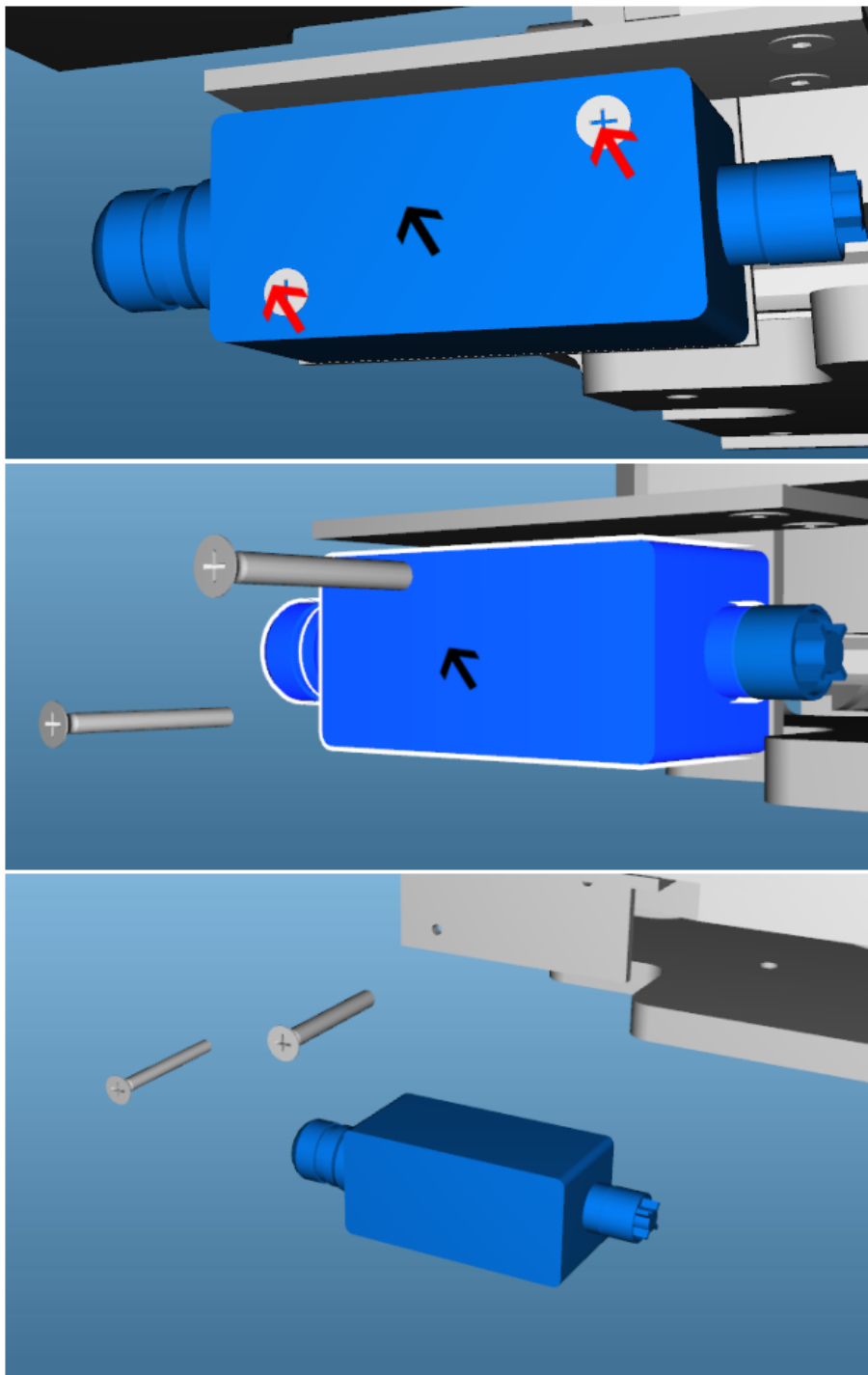


FIGURE 8.3 – Exemple de lecture d’annotation. En haut et au milieu lecture des annotations de liens des vis. En bas lecture de manipulation.

l’annotation. Le contexte spatial peut désigner à la fois la place dans l’espace de l’annotation, mais aussi le sujet même de celle-ci. Avec l’annotation gestuelle, nous rajoutons encore un niveau de spatialisation de l’information. Dans notre cas, il n’a plus seulement la place de l’annotation dans l’espace qui compte. Pour désigner le ou les sujets du propos, par exemple dans le cadre d’une annotation d’un texte,

le surlignage d'une phrase représente l'ancre de l'annotation et désigne la phrase comme sujet du propos de l'annotation. Pour nos annotations, c'est le contenu de l'annotation qui a besoin de cette spatialisation. L'annotation gestuelle modifie l'environnement 3D : en déplaçant des objets, en forçant le point de vue de l'utilisateur, en modifiant la présence des autres annotations.

4 Conclusion

Cette application n'a malheureusement pas pu être totalement développée, ni testée. Toutefois, nous pensons avoir posé les bases pour une capitalisation simple des procédures de maintenance. Les annotations gestuelles permettent de créer un environnement de capitalisation et de restitution des manipulations de pièces. Nous avons spécifié des fonctionnalités supplémentaires qui nous semblent importantes dans le chapitre suivant.

Chapitre 9

Conclusion et perspectives

1 Conclusion

Ce travail de recherche s'inscrit dans le cadre des environnements virtuels informés. Ce chemin prend sa source au départ avec le projet de thèse MATRICS de Stéphane Aubry, qui propose un outil de partage et de capitalisation du savoir. Cet environnement basé sur le concept de connaissance située dans l'environnement 3D, permet en utilisant des annotations 3D sur une maquette virtuelle de partager des points de vue entre concepteurs. Les échanges entre concepteurs sont capitalisés en vue d'une utilisation ultérieure. Cet environnement d'annotations 3D est pour nous un premier exemple d'environnement virtuel informé. Cet EVI est très abouti en ce qui concerne la capitalisation du savoir. Les fonctions dédiées à cette capitalisation sont du domaine de la gestion des connaissances et sont basées sur une ontologie de domaine. Si ce système a démontré son efficacité pour l'activité de collaboration, il ne permet de capitaliser et de partager uniquement des données traditionnelles (textes, images, sons...). Il lui manque des capacités d'animation pour permettre le partage de données « dynamiques ». Un autre exemple d'EVI présenté, est lui bien plus dynamique, il s'agit de RVPI (Réalité Virtuelle pour la Production Industrielle), mais cet EVI ne présente aucune possibilité de capitalisation du savoir.

1.1 RVPI

Comme présenté dans la première partie de ce mémoire, le projet RVPI est une collaboration entre l'UTC et Continental qui a eu pour objet la création d'une formation assistée par la réalité virtuelle. Cette assistance s'est matérialisée par la création d'un simulateur d'une machine outil de haute technicité participant à la confection de pneumatiques. Dans celui-ci, les apprenants retrouvent tout ce qu'ils doivent savoir directement dans l'environnement et plus particulièrement sur la machine

virtuelle : les noms des organes de la machine, les gestes à effectuer, les procédures, etc. Ce système permet de former un nouvel opérateur à la conduite de la PU15Sb (machine de confection de pneumatiques).

Les résultats industriels du projet RVPI sont excellents : une meilleure formation, un temps de formation et un temps d'occupation machine réduits, une diffusion internationale au sein du groupe Continental, un prix au concours IMAGINA et enfin un rayonnement qui a permis la création d'une jeune entreprise.

Cependant malgré les efforts que nous avons faits pour créer un simulateur le plus générique possible, il existe un autre besoin exprimé par les utilisateurs qui consiste à pouvoir modifier le simulateur par eux-mêmes. En effet, les machines de production sont améliorées sans cesse ; les temps de productions baissent ; les procédures sont amenées à changer si un nouveau produit est assemblé sur ces chaînes. Le simulateur RVPI n'a pas été prévu pour être modifié dans ce sens. S'il est facile de le traduire ou de changer une procédure ou un exercice, en créer un autre n'est pas accessible aux formateurs. Ils ne peuvent capitaliser leur savoir pour former les nouveaux opérateurs. Seuls les concepteurs du système ont cette capacité.

A la conception du simulateur RVPI, il a été difficile de choisir les procédures à simuler pour la formation. En effet, dans le cas des dysfonctionnements ou pannes, le nombre de cas possibles est presque infini. Il a donc été décidé de ne traiter que les cas les plus fréquents qui peuvent être résolus par les opérateurs. Les autres cas relevaient de la maintenance industrielle. Ces cas de maintenance sont très nombreux et concernent des machines extrêmement complexes, alliant mécanique de précision, électronique, pneumatique, etc. Les techniciens de maintenance sont en général spécialisés sur une gamme de machine pour tous les cas de maintenance préventive et doivent s'adapter aux autres machines en cas de maintenance curative. Il existe bien un système pour répertorier les interventions sur les machines, mais il n'existe pas de système de capitalisation du déroulement de ces interventions, notamment pour les procédures de maintenance. Pour permettre une maintenance plus efficace et plus rapide, il est nécessaire que les techniciens puissent accéder rapidement à ces procédures ou qu'ils aient la possibilité de se former à priori. C'est ainsi qu'est née la nécessité de créer un outil de partage des connaissances et de formation pour la maintenance de ces machines complexes.

Nous avons donc décidé de créer un tel système. Les machines étant très complexes, il nous a paru judicieux de proposer un système de capitalisation visuel permettant d'accéder rapidement à une information d'un seul coup d'œil. Les environnements virtuels informés proposent une forme de représentation des connaissances et une interaction qui répondent à ce besoin. Nous nous sommes donc orientés vers un système d'annotations de modèle 3D (le modèle étant la machine à mainte-

nir), similaire à MATRICS [Aubry, 2007]. Si ce type de système est très performant pour la capitalisation de données symboliques sur des supports classiques (textes, images...), ce n'est pas le cas avec des données plus dynamiques comme l'animation d'objets 3D ou comme des données gestuelles. Dans le cadre de la maintenance, outre des connaissances sur le matériel, le principal savoir concerne le geste. Celui-ci est principalement un geste de montage/démontage : il s'agit alors de connaître l'ordre d'assemblage ou de désassemblage des pièces, etc. Aujourd'hui, il n'existe pas d'environnement virtuel informé permettant la capitalisation du geste.

1.2 Un modèle d'annotation gestuelle

Pour répondre au problème de la capitalisation du geste en environnement virtuel, nous avons proposé dans ce mémoire un modèle d'annotation gestuelle. Ce modèle repose sur le modèle d'annotation 3D proposé par Stéphane Aubry dans sa thèse. Ce modèle ne pouvait accepter directement des données relatives aux mouvements car il n'enregistre qu'une seule date : la date où a été créée l'annotation. De même il manquait une notion de contexte plus forte. Seul le point de vue de l'utilisateur était pris en compte dans ce modèle. La position des objets au moment de l'annotation n'était pas capitalisée. Il en va de même pour le contexte de l'annotateur (quelles annotations a-t-il vues ou lues avant d'annoter lui-même le modèle?). Notre nouveau modèle prend en compte ces notions fortes contextuelles et temporelles en les intégrant dans l'annotation.

Ptolémée est l'implémentation du modèle d'annotation gestuelle appliquée à la maintenance industrielle. Cette application est en cours de développement.

2 Perspectives

2.1 Évaluations

2.1.1 Expérimentations

Bien conscients que le prototype Ptolémée n'a pas pu être terminé, la première des perspectives est évidemment de terminer celui-ci dans le but d'effectuer des expérimentations pour la validation du modèle d'annotations gestuelles. Celles-ci pourraient se baser sur des mesures de performance dans le cadre d'une tâche d'assemblage. Cela nous permettrait de tester la validité de notre modèle dans le cadre de la maintenance. Il faudrait utiliser une tâche de désassemblage et d'assemblage ne requérant pas de connaissances préalables à l'expérimentation, comme par exemple des assemblages mécaniques simples de type encliquetage et vissage dans un jeu

de construction dans lequel il faudra changer une pièce en suivant une procédure précise. Dans ce cas, plusieurs indicateurs pourront être utilisés :

- le temps d'exécution de la tâche d'assemblage ou le pourcentage du démontage/montage effectué dans le laps de temps donné,
- le taux d'erreur final (nombre de pièces mal positionnées),
- le taux d'erreur au cours de l'assemblage.

Il faudra effectuer ce test d'assemblage immédiatement après l'utilisation du système et deux semaines après pour pouvoir aussi tester l'impact du système sur la mémorisation de la tâche.

2.1.2 Validation industrielle

Une validation industrielle de ce système est très complexe. Un bon indicateur sur l'utilité et la performance d'un système tel que Ptolémée serait le temps d'arrêt machine dans le cadre d'intervention de maintenance curative. Une évaluation de ce type ne peut se faire que sur plusieurs années. En effet, la fréquence et la grande variété des pannes nous obligeraient à attendre que les techniciens aient suffisamment capitalisé de procédures dans le système, pour permettre à leurs collègues d'utiliser Ptolémée en lecture. De plus cela pose un problème car dans le cadre de cas de maintenance curative le temps d'arrêt machine est aussi dépendant du temps de diagnostic. Le diagnostic n'est pas capitalisé dans notre système, seule l'intervention de désassemblage / assemblage l'est. Toutefois, une baisse significative du temps d'arrêt machine pourrait être considérée comme un bon résultat pour la validation du logiciel Ptolémée.

2.2 Annotations sensori-motrices

Nous avons présenté un système permettant de capitaliser les interactions d'ordre manipulateur dans l'environnement virtuel. Les annotations résultantes permettent de rendre la dynamique des objets, mais pour l'instant seulement d'un point de vue visuel. De la même manière nous aimerions expérimenter des rendus sensoriels différents. Des premiers travaux de Loïc Fricoteaux durant son Master [Fricoteaux, 2009] sont allés dans ce sens : le projet QUIVER [Fricoteaux *et al.*, 2009b, Fricoteaux *et al.*, 2009a] a permis de mettre en relation une connaissance, « le ressenti thermique » et sa situation dans l'environnement. Nous parlons donc bien à nouveau d'EVI dédié à des connaissances familières et très complexes à formuler explicitement. L'idée serait maintenant d'utiliser le support qu'est l'annotation comme média de ces retours sensoriels. La vue, l'ouïe, le sens tactile, la kinesthésie et la proprioception sont des modalités sensorielles qui

aujourd'hui possèdent leur pendant technologique en réalité virtuelle permettant de les simuler. Il n'en est pas de même avec l'odorat, le goût et encore dans une certaine mesure avec le toucher. De plus, ces trois derniers sens sont très difficilement « analysables » et « synthétisables » et donc capitalisables. Pour la proprioception et la kinesthésie, l'annotation pourra contenir des données physiques : dureté, caractéristiques de contact avec l'objet comme la rugosité ou encore contraindre le mouvement de l'utilisateur... Ce type d'annotation pourrait être utilisée pour l'apprentissage de gestes de précision, par exemple pour guider la main d'un étudiant chirurgien dentiste fraisant une dent virtuelle annotée par son professeur.

2.3 Annotations intelligentes : *Smart Annotation*

Dans ce mémoire nous avons vu que la lecture de l'annotation est toujours à l'initiative de l'utilisateur. Il peut donc faire le choix de ne pas en lire une qui pourtant l'aurait aidé dans sa tâche. L'idée avec les annotations intelligentes, traduites en anglais « *smart annotation* » serait de donner à l'objet annotation un comportement. Celle-ci pourrait changer la forme de son ancre pour attirer l'attention de l'utilisateur ou forcer sa lecture en s'ouvrant automatiquement, etc. Le but ici serait vraiment de proposer à l'utilisateur une expérience beaucoup plus interactive, voire même proactive de la part du système.

Ce système pourrait se baser sur des agents, (un agent pour une annotation) qui analyseraient le contenu de l'annotation, son contexte physique (position des objets, de l'utilisateur), son contexte de lecture (quelles annotations ont été lues) et en déduiraient le comportement à suivre.

2.4 Modification du contenu des annotations gestuelles

Les annotations gestuelles bien que contenant des données représentant des mouvements sont statiques dans le sens où leur contenu n'est pas modifiable facilement. Un utilisateur peut vouloir modifier une annotation gestuelle pour modifier légèrement une trajectoire. Le contenu des annotations décrit un mouvement dans l'environnement. Ce mouvement est soit capitalisé sous la forme d'actions procédurales de base (rotations, translations, fonctions propres à l'objet...) et dans ce cas là, les paramètres de ces actions (fonctions) peuvent être accessibles, soit il se trouve sous la forme d'enregistrement discrétisé et dans ce cas l'on a accès aux positions et aux paramètres de déplacement des objets en mouvement. Modifier un mouvement pose plusieurs problèmes :

- est-ce que le sens de l'annotation restera le même après la modification ? Et dans ce cas, la modification doit elle être considérée comme une annotation de

la première ?

- de quelle manière doit on interagir avec l’annotation pour la modifier ?
- doit-on modifier l’ensemble du mouvement ou en modifier seulement une partie ?
- est-ce que la modification va engendrer des problèmes de représentation de l’annotation ? Typiquement des mouvements enregistrés et discrétisés sont ensuite interpolés. La modification d’un point dans la trajectoire peut poser des problèmes de cohérence dans le rendu d’une nouvelle trajectoire modifiée.

Des travaux sur ces sujets ont été abordés par Emmanuel Bernier lors de son Master[Bernier, 2009]. Il a notamment étudié la modification in virtuo d’enregistrements des déplacements de l’utilisateur.

Ces travaux seront poursuivis dans le cadre d’un nouveau programme de recherche IVEN (envIronnement Informé et capitalisatioN du geste) et à travers une collaboration avec le laboratoire IMVE de l’Université de Hambourg - Allemagne (Professeur invité Steffi Beckhaus à l’UTC en automne 2010).

Quatrième partie

Bibliographie et annexes

Bibliographie

- [Aguerreche *et al.*, 2009] AGUERRECHE, L., DUVAL, T. et ARNALDI, B. (2009). A description of a dialog to enable interaction between interaction tools and 3d objects in collaborative virtual environment. *In* SHIRAI, S. R. A., éditeur : *Virtual Reality International Conference - VRIC'09*, pages 63–73.
- [ARVIKA, 1999] ARVIKA (1999). site web. [http ://www.arvika.de](http://www.arvika.de).
- [Aubry, 2007] AUBRY, S. (2007). *Annotations et gestion des connaissances en environnement virtuel collaboratif*. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne, France.
- [Aubry *et al.*, 2005] AUBRY, S., LENNE, D., THOUVENIN, I. et GUÉNAND, A. (2005). Vr annotations for collaborative design. *In* *HCII2005*, Las Vegas. ISBN 0-8058-5807-5.
- [Aylett et Luck, 2000] AYLETT, R. et LUCK, M. (2000). Applying artificial intelligence to virtual reality : Intelligent virtual environments. *Applied Artificial Intelligence*, 14:3–32.
- [Bernier, 2009] BERNIER, E. (2009). Enregistrement, modification et visualisation de déplacement : vers des environnements virtuels dynamiques, interactifs et informés. Mémoire de D.E.A., Université de Technologie de Compiègne.
- [Bottecchia *et al.*, 2008] BOTTECCHIA, S., CIEUTAT, J.-M. et JESSEL, J.-P. (2008). T.a.c : Système de réalité augmentée pour la télé-assistance collaborative dans le domaine de la maintenance . *In* *Journées de l'AFRV*.
- [Bottecchia *et al.*, 2009] BOTTECCHIA, S., CIEUTAT, J.-M., MERLO, C. et JESSEL, J.-P. (2009). A new AR interaction paradigm for collaborative teleassistance system : the POA. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 3(1):(on line).
- [Bowman, 1999] BOWMAN, D. A. (1999). *Interaction Techniques for Common Tasks in Immersive Virtual Environments : Design, Evaluation, and Application*. Thèse de doctorat, Georgia Institute of Technology.

- [Bowman *et al.*, 2004] BOWMAN, D. A., KRUIJFF, E., JOSEPH J. LAVIOLA, J. et POUPYREV, I. (2004). *3D User Interfaces : Theory and Practice*. Addison-Wesley/Pearson Education.
- [Bowman *et al.*, 1999] BOWMAN, D. A., LARRY et HODGES, F. (1999). Formalizing the design, evaluation, and application of interaction techniques for immersive virtual environments. *Journal of Visual Languages and Computing*, 10:37–53.
- [Bowman *et al.*, 2003] BOWMAN, D. A., NORTH, C., CHEN, J., POLYS, N. F., PYLA, P. S. et YILMAZ, U. (2003). Information-rich virtual environments : theory, tools, and research agenda. *In VRST '03 : Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 81–90, New York, NY, USA. ACM.
- [Buche, 2005] BUCHE, C. (2005). *Un système tutoriel intelligent et adaptatif pour l'apprentissage de compétences en environnement virtuel de formation*. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale.
- [Burkhardt *et al.*, 2005] BURKHARDT, J.-m., LOURDEAUX, D. et LEQUATRE, F. (2005). Environnements virtuels pour l'apprentissage : de l'image d'épinal à la réalité des usages et des configurations socio-techniques. *In IHM 2005 : Proceedings of the 17th international conference on Francophone sur l'Interaction Homme-Machine*, pages 163–170, New York, NY, USA. ACM.
- [Chevaillier et nad C.Septseault, 2009] CHEVAILLIER, P. et nad C.SEPTSEAULT, R. (2009). Veba, un métamodèle d'environnement virtuel informé et structuré. *Technique et Science Informatiques*, 28/6-7:715–740.
- [Cho *et al.*, 2004] CHO, S.-J., OH, J. K., BANG, W.-C., CHANG, W., CHOI, E., JING, Y., CHO, J. et KIM, D. Y. (2004). Magic wand : A hand-drawn gesture input device in 3-d space with inertial sensors. *In Proceedings of the Ninth International Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition, IWFHR '04*, pages 106–111, Washington, DC, USA. IEEE Computer Society.
- [Conté, 1954] CONTÉ, P. (1954). *Technique générale du mouvement*. Arts et mouvement.
- [d' Arbeau, 1589] d' ARBEAU, T. (1589). *Orchésographie*.
- [Didier *et al.*, 2005] DIDIER, J.-Y., ROUSSEL, D., MALLEM, M., OTMANE, S., NAUDET, S., PHAM, Q.-C., BOURGEOIS, S., MÉGARD, C., LEROUX, C. et HOCQUARD, A. (2005). Amra : Augmented reality assistance in train maintenance tasks. *In Workshop on Industrial Augmented Reality (ISMAR'05)*, Vienna (Austria).
- [Donikian, 2004] DONIKIAN, S. (2004). *Modélisation, contrôle et animation d'agents virtuels autonomes évoluant dans des environnements informés et structurés*. Hdr, IRISA.

- [Doyle, 2004] DOYLE, P. O. (2004). *Annotated worlds for animate characters*. Thèse de doctorat, Stanford University.
- [Dupuy *et al.*, 2000] DUPUY, S., LAFABRIE, O., SIBERT, E. et TARDIF., L. (2000). Enseignement et réalité virtuelle . rapport de monitorat 3e année. 1999/2000. Rapport technique.
- [Edward *et al.*, 2009] EDWARD, L., LOURDEAUX, D. et BARTHÈS, J.-P. (2009). Virtual autonomous agents in an informed environment for risk prevention. In SPRINGER-VERLAG, éditeur : *IVA '09 : the 9th International Conference on Intelligent Virtual Agents*, volume 5773 de *Lecture Notes In Artificial Intelligence*, pages 496–497, Amsterdam Pays-Bas.
- [Edward *et al.*, 2008] EDWARD, L., LOURDEAUX, D., LENNE, D., BARTHES, J. et BURKHARDT, J. (2008). Modelling autonomous virtual agent behaviours in a virtual environment for risk. *IJVR : International Journal of Virtual Reality*, 7(3):13–22.
- [Edward *et al.*, 2007] EDWARD, L., LOURDEAUX, D., LENNE, D., BARTHES, J., BURKHARDT, J., PLOT, E., GUERRAND, M. et CHODORGE, L. (2007). V3s : A training and decision making tool to model safety interventions on seveso sites. In *Virtual Reality International Conference*, Laval, France.
- [Enembreck *et al.*, 2004] ENEMBRECK, F., THOUVENIN, I., ABEL, M. et BARTHÈS, J. (2004). An ontology-based multi-agent environment to improve collaborative design. In *6th International Conference on the Design of Cooperative System, COOP'04.*, pages 81–89, French Riviera - France.
- [Eshkol et Wachman, 1958] ESHKOL, N. et WACHMAN, A. (1958). *Movement notation*. Weidenfeld and Nicolson.
- [Ferber, 1995] FERBER, J. (1995). *Les systèmes multi-agents, vers une intelligence collective*. InterEditions, Paris (France).
- [Fricoteaux, 2009] FRICOTEAUX, L. (2009). Conception d'un environnement virtuel informé - application à la restitution de calculs scientifiques. Mémoire de D.E.A., Université de Technologie de Compiègne, France.
- [Fricoteaux *et al.*, 2009a] FRICOTEAUX, L., MOUTTAPA THOUVENIN, I. et VOILLEQUIN, T. (2009a). Quiver : un environnement virtuel informé pour la représentation et la perception de données thermiques d'un bâtiment. In *4èmes journées de L'AFRV*, Lyon.
- [Fricoteaux *et al.*, 2009b] FRICOTEAUX, L., MOUTTAPA THOUVENIN, I. et VOILLEQUIN, T. (2009b). Quiver : an informed virtual environment for thermal data perception for housing. In *Joint Virtual Reality Conference (EGVE - ICAT - EuroVR)*, Lyon.

- [Harling, 1993] HARLING, P. A. (1993). Gesture input using neural networks.
- [IC.IDO, 2009] IC.IDO (2009). site web. [http ://www.icido.de](http://www.icido.de).
- [Jayaram *et al.*, 1999] JAYARAM, S., JAYARAM, U., WANG, Y., TIRUMALI, H., LYONS, K. et HART, P. (1999). Vade : A virtual assembly design environment. *IEEE Comput. Graph. Appl.*, 19(6):44–50.
- [Kallmann, 2001] KALLMANN, M. (2001). *Object Interaction in Real-Time Virtual Environments*. Thèse de doctorat, École Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- [Kallmann et Thalmann, 1999] KALLMANN, M. et THALMANN, D. (1999). Direct 3d interaction with smart objects. In *VRST '99 : Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pages 124–130, New York, NY, USA. ACM.
- [KARMA, 1993] KARMA (1993). site web. [http ://www1.cs.columbia.edu/graphics/projects/karma/karma.html](http://www1.cs.columbia.edu/graphics/projects/karma/karma.html).
- [Kendira, 2010] KENDIRA, A. (2010). *Animations comportementales d'avatars comme support à la communication dans les environnements virtuels informés*. Thèse de doctorat, Université de Technologie de Compiègne.
- [Kipp *et al.*, 2008] KIPP, M., NEFF, M. et ALBRECHT, I. (2008). An annotation scheme for conversational gestures : How to economically capture timing and form. *Journal on Language Resources and Evaluation. Multimodal Corpora for Modeling Human Multimodal Behaviour*, (3-4, Dez. 2007):325–339.
- [Laban, 1971] LABAN, R. V. (1971). *The mastery of movement*. Plays ; Enlarged 3rd edition.
- [Lau *et al.*, 2003] LAU, H. Y. K., MAK, K. L. et LU, M. T. H. (2003). A virtual design platform for interactive product design and visualization. *Journal of Materials Processing Technology*, 139(1-3):402 – 407. IMCC2000 Vol. 2 S.I.
- [Lee *et al.*, 2001] LEE, W. B., CHEUNG, C. F. et LI, J. G. (2001). Applications of virtual manufacturing in materials processing. *Journal of Materials Processing Technology*, 113(1-3):416 – 423.
- [Licsár et Szirányi, 2004] LICSÁR, A. et SZIRÁNYI, T. (2004). T. : Hand gesture recognition in camera-projector system. In *In : International Workshop on Human-Computer Interaction, Lecture Notes in Computer Science*, pages 81–91. Springer.
- [Loke *et al.*, 2005] LOKE, L., LARSEN, A. T. et ROBERTSON, T. (2005). Laba-notation for design of movement-based interaction. In *IE2005 : Proceedings of the second Australasian conference on Interactive entertainment*, pages 113–120, Sydney, Australia, Australia. Creativity & Cognition Studios Press.

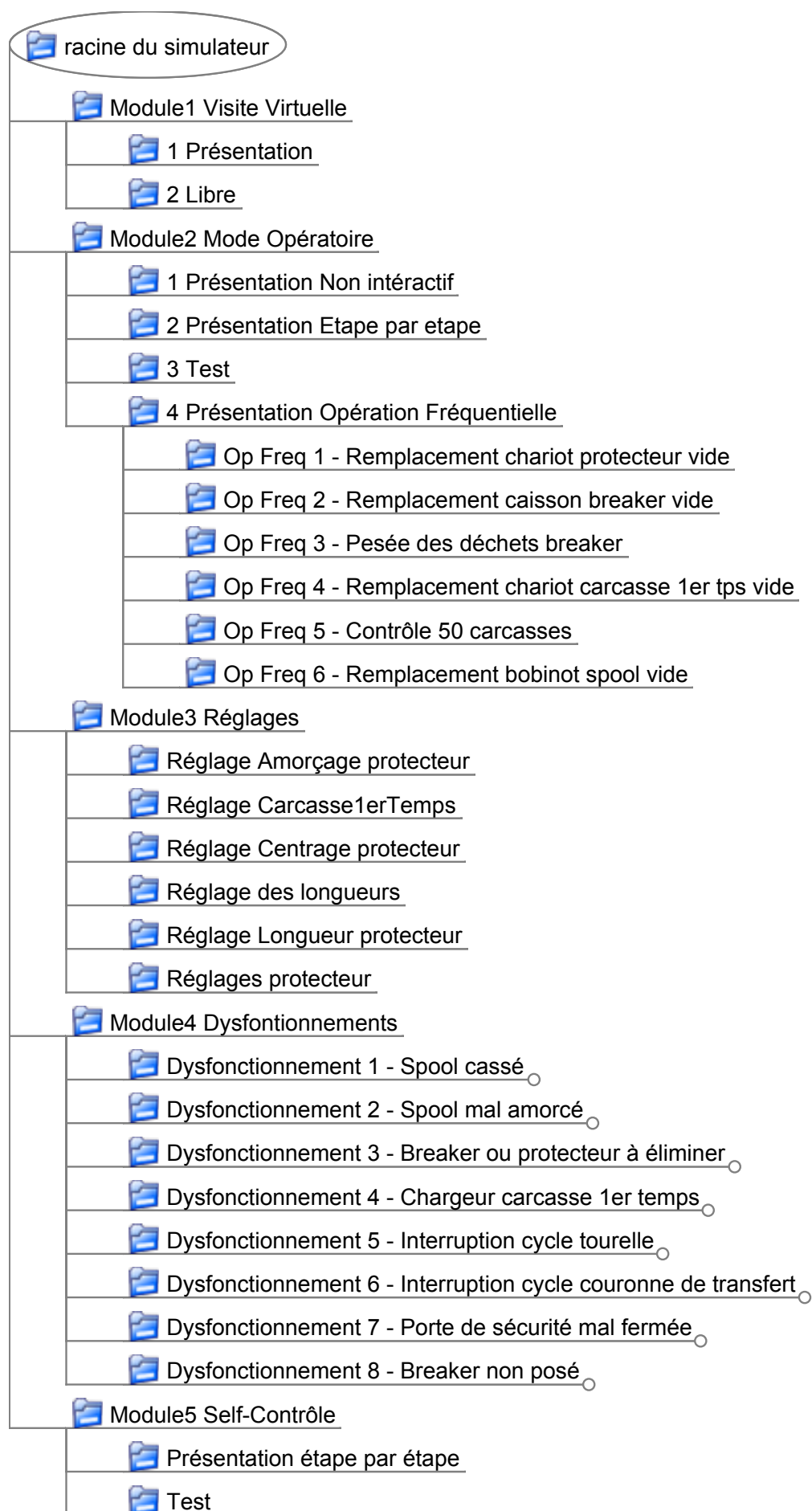
- [Lu *et al.*, 2005] LU, P., HUANG, X., ZHU, X. et WANG, Y. (2005). Head gesture recognition based on bayesian network. In MARQUES, J. S., Pérez de la BLANCA, N. et PINA, P., éditeurs : *Pattern Recognition and Image Analysis*, volume 3522 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 492–499. Springer Berlin / Heidelberg.
- [Luciani *et al.*, 2006] LUCIANI, A., EVRARD, M., COUROUSSÉ, D., CASTAGNÉ, N., CADOZ, C. et FLORENS, J.-L. (2006). A basic gesture and motion format for virtual reality multisensory applications. In *1st international GRAPP Conference on Computer Graphics Theory and Applications*. ISBN : 972-8865-39-2.
- [Matsukawa et Yokoyama, 2006] MATSUKAWA, T. et YOKOYAMA, K. (2006). Visualization of bio-signal synchronized by human motion. In *SIGGRAPH '06 : ACM SIGGRAPH 2006 Research posters*, page 101, New York, NY, USA. ACM.
- [McGuinness-Scott, 1983] MCGUINNESS-SCOTT, J. (1983). *Movement Study and Benesh Movement Notation : An Introduction to Applications in Dance, Medicine, Anthropology, and Other Studies*. Oxford Univ. Press.
- [Moore *et al.*, 2003] MOORE, P. R., PU, J., NG, H. C., WONG, C. B., CHONG, S. K., CHEN, X., ADOLFSSON, J., OLOFSGÅRD, P. et LUNDGREN, J. O. (2003). Virtual engineering : an integrated approach to agile manufacturing machinery design and control. *Mechatronics*, 13(10):1105 – 1121. Mechatronics - a 12 year celebration.
- [Mujber *et al.*, 2004] MUJBER, T. S., SZECSEI, T. et HASHMI, M. S. J. (2004). Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of Materials Processing Technology*, 155-156:1834 – 1838. Proceedings of the International Conference on Advances in Materials and Processing Technologies : Part 2.
- [Neff *et al.*, 2008] NEFF, M., KIPP, M., ALBRECHT, I. et SEIDEL, H.-P. (2008). Gesture modeling and animation based on a probabilistic re-creation of speaker style. *ACM Trans. Graph.*, 27(1):1–24.
- [Olive *et al.*, 2006] OLIVE, J., THOUVENIN, I., LEMASSON, G. et SBAOUNI, M. (2006). Tire manufacturing supported by virtual environment. In *VRIC*, pages 159–163, Laval, France.
- [Olive *et al.*, 2007] OLIVE, J., THOUVENIN, I., LOURDEAUX, D. et SBAOUNI, M. (2007). Formation aux techniques industrielles à l’aide des environnements virtuels”. In *10ème Colloque National AIP-PRIMECA : "Les Innovations en Conception des Produits et des Systèmes de Production"*, La Plagne - France.
- [Pentenrieder *et al.*, 2009] PENTENRIEDER, K., MISSLINGER, S., CHIABRA, P. et LAWSON, G. (2009). Augmented reality based service and maintenance. In *Virtual Reality International Conference VRIC'09*.
- [PERF-RV, 2004] PERF-RV (2004). Perf-rv : Le bureau d’études du futur, plateforme anr-rntl. <http://www.perfrv.org/>.

- [Playford, 1651] PLAYFORD, J. (1651). *The English Dancing Master*.
- [Poupyrev et Ichikawa, 1999] POUPYREV, I. et ICHIKAWA, T. (1999). Manipulating objects in virtual worlds : Categorization and empirical evaluation of interaction techniques. *Journal of Visual Languages and Computing*, 10:19–35.
- [Querrec, 2002] QUERREC, R. (2002). *Les systèmes multi-agents pour les Environnements Virtuels de Formation. Application à la sécurité civile*. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale.
- [Rett et Dias, 2006] RETT, J. et DIAS, J. (2006). Gesture recognition using a marionette model and dynamic bayesian networks (dbns). In CAMPILHO, A. et KAMEL, M., éditeurs : *Image Analysis and Recognition*, volume 4142 de *Lecture Notes in Computer Science*, pages 69–80. Springer Berlin / Heidelberg.
- [Riboulet et al., 2002] RIBOULET, V., MARIN, P. M. et LÉON, J.-C. (2002). Toward a new set of tools for a collaborative design environment. In SHEN, W., de SOUZA, J. M., BARTHÈS, J.-P. A. et LIN, Z., éditeurs : *CSCWD*, pages 128–133. IEEE.
- [Rohrer, 2000] ROHRER, M. (2000). Seeing is believing : the importance of visualization in manufacturing simulation. *Winter Simulation Conference*, 2:1211–1216.
- [Sandberg, 1997] SANDBERG, A. (1997). Gesture recognition using neural networks. Mémoire de D.E.A.
- [Schwald et de Laval, 2003] SCHWALD, B. et de LAVAL, B. (2003). An augmented reality system for training and assistance to maintenance in the industrial context. In *WSCG*.
- [Schwald et al., 2001] SCHWALD, B., FIGUE, J., CHAUVINAU, E., VU-HONG, F., ROBERT, A., ARBOLINO, M., SCHNAIDER, M., LAVAL, B. D., RAULY, F. D. D., ANEZ, F., BALDO, O. et SANTOS, J. (2001). Starmate : Using augmented reality technology for computer guided maintenance of complex mechanical elements. In *e2001 Confence*, Venice - Italy.
- [Septseault, 2007] SEPTSEALT, C. (2007). *Représentation d’environnements virtuels informés et de leur dynamique par un personnage virtuel autonome en vue d’une crédibilité comportementale*. Thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale.
- [Starmate, 2003] STARMATE (2003). site web. <http://vr.c-s.fr/starmate>.
- [Sutton, 2009] SUTTON (2009). Movementwriting site web : <http://www.movementwriting.org/sports/skateboarding/>.
- [Sutton, 1977] SUTTON, V. (1977). Sutton movement shorthand ; writing tool for research. In *National Symposium on Sign Language Research & Teaching*, Chicago, Illinois, USA.

- [Tang *et al.*, 2003] TANG, A., OWEN, C., BIOCCA, F. et MOU, W. (2003). Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. In *CHI '03 : Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pages 73–80, New York, NY, USA. ACM.
- [Teitelbaum *et al.*, 2004] TEITELBAUM, O., BENTON, T., SHAH, P. K., PRINCE, A., KELLY, J. L. et TEITELBAUM, P. (2004). Eshkol-wachman movement notation in diagnosis : The early detection of asperger’s syndrome. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(32):11909–11914.
- [Thouvenin, 2009] THOUVENIN, I. M. (2009). *Interaction et connaissance : construction d’une expérience dans le monde virtuel*. Habilitation à diriger des recherches, Université de Technologie de Compiègne.
- [y Rita *et al.*, 1969] y RITA, P. B., C., C., B., S. F. W. et L., S. (1969). Vision substitution by tactile image projection. *Nature*, 221:963 – 964.

Annexe A

Arborescence des modules



Annexe B

Revue de presse de RVPI

Prochain UTC-infos le 17 novembre

UTC-infos

Journal de l'Université de Technologie de Compiègne



Jeudi 20 octobre 2005
N° 1177

Réalité virtuelle pour l'entreprise

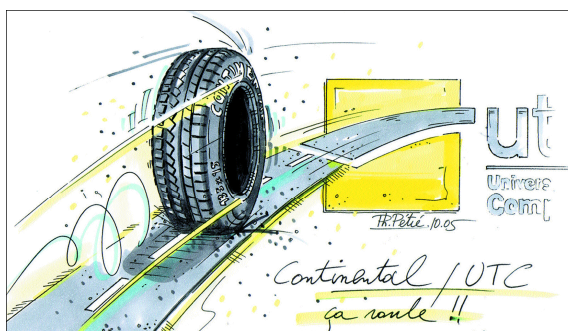
Un partenariat entre l'UTC et Continental



Indira Thouvenin, enseignant-chercheur, Geoffrey Gally, Guillaume Lemasson et Mehdi Sbaoui.

Une équipe de l'UTC, conduite par Indira Thouvenin spécialiste de la réalité virtuelle, travaille actuellement à la mise au point d'un simulateur de machine industrielle. Cet outil servira à la formation de ses futurs utilisateurs. Le projet est le fruit d'un partenariat avec l'entreprise Continental et le conseil régional de Picardie.

P.4



L'école de la seconde chance

Accompagnement des lycéens picards

P.2



Pierre Orséro, directeur aux enseignements, va engager l'UTC dans un partenariat avec le rectorat, pour aider les jeunes picards.

Documentation pour tous

La BUTC ouvre grand son portail

P.3



A côté de sa mission traditionnelle, la BUTC innove, pour offrir des services supplémentaires, aux entreprises en particulier.

Que sont-ils devenus ?

Gilles Bouvier, responsable RH chez Faurecia

P.2

Depuis l'obtention de son diplôme d'ingénieur en GSM (promo 1990), Gilles Bouvier est resté fidèle au groupe Faurecia. Il y occupe désormais un poste de manager RH.





1 PLACE BOELDIEU
75002 PARIS - 01 53 29 11 00

24 NOVEMBRE 05

Hebdomadaire Paris
OJD : 77301

Surface approx. (cm²) : 669

Page 1/4

Réalité virtuelle, formation concrète

Comme les pilotes d'avion, les employés de Continental seront désormais formés sur un simulateur. Ce qui améliorera la productivité de l'usine de Clairoux.

La réalité virtuelle aide les constructeurs à étudier les volumes et l'ergonomie de leurs véhicules sans avoir à réaliser de coûteuses maquettes. Le fabricant de pneumatiques Continental innove en utilisant cette technique pour former le personnel de son usine de Clairoux (Oise).

Trois ingénieurs issus de l'Université technique de Compiègne, voisine de l'usine et partenaire de la conception du logiciel, travaillent depuis septembre 2004 sur un programme qui devrait être opérationnel en juin 2006. « Ce nouvel outil, très attendu, a pour but de gagner du temps sur la formation des opérateurs, tout en améliorant leur efficacité et en diminuant les coûts », témoigne Evelyne Barbier, responsable de la formation chez Continental.

Apprentissage devant l'écran. Le programme de formation comportera trois étapes. La première consiste en une modélisation de la machine qui fabrique les pneus. Toutes les parties ont été numérisées afin de composer un appareil virtuel. Le futur ouvrier se familiarise ainsi avec les différents éléments qui constitueront son poste de

travail. A l'aide de la souris, il le visionne sous n'importe quel angle, pivote autour d'un axe, avance ou recule. En outre, un simple clic à un endroit particulier affiche les règles de sécurité. Il passe ensuite à la deuxième phase : la démonstration. Un ouvrier virtuel effectue toutes les opérations de fabrication. Devant son écran, l'élève peut alors répéter les gestes qu'il devra accomplir.

Enfin, la troisième étape propose un « mode dégradé » qui simule les pannes. « Jusqu'à présent, la formation s'est toujours déroulée sur des machines en service dans l'usine, poursuit Evelyne Barbier, ce qui diminue d'autant nos capacités de production et ne permet pas à nos futurs techniciens d'apprendre à réagir rapidement en cas de problème technique. En production réelle, les pannes sont aléatoires et peuvent être difficilement simulées. »

Comme un pilote d'avion effectue ses premières heures de vol sur des simulateurs, dans six mois, les employés de l'usine Continental de Clairoux apprendront à connaître leur outil avant de commencer à travailler. Leur formation ne durera que dix semaines à l'horizon 2008, au lieu de douze semaines actuellement.

YVES MARTIN

FORMATION

Un simulateur pour maîtriser les machines complexes

● **CE PROJET, FRUIT D'UNE COOPÉRATION** entre Continental France et l'UTC, sera un précieux outil pour la formation des opérateurs.



Le simulateur de cette machine spéciale permet de former les opérateurs sans bloquer la production.

L'usine française de Clairoux (Oise, 6 millions de pneus par an) du fabricant allemand de pneumatiques Continental met au point, avec l'Université de technologie de Compiègne (UTC), un simulateur numérique de conduite bien particulier. Car ici, il ne s'agit pas de former des pilotes de ligne, mais d'accélérer la prise en main d'une machine spéciale très complexe par ses futurs opérateurs. En l'occurrence, c'est le "bijou" industriel de Continental qui fait l'objet de cette réplique virtuelle dite RVPI : réalité virtuelle pour l'industrie.

Cet outil semi-automatisé assemble avant vulcanisation la partie externe du pneu, c'est-à-dire la carcasse munie des bandes de roulement, avec sa partie interne qui fait office de chambre à air. Devant un terminal informatique, l'ouvrier dispose d'une visite virtuelle et docu-

mentée de sa machine. Il a le loisir de répéter tous les modes opératoires et de se familiariser ainsi avec les modes dégradés.

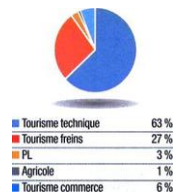
Simuler tous les dysfonctionnements

Evelyne Barbier, du département formation de Continental et coordinatrice de ce projet, explique : « Cette machine est si complexe qu'elle requiert plusieurs semaines de formation. Notre objectif, c'est d'amener les gens à en acquérir la maîtrise sans bloquer la production, qui se fait 24 heures/24, 7 jours/7. Et comme dans un simulateur de vol, la simulation offre cette précieuse possibilité de condenser l'expérience de l'opérateur en lui présentant tous les dysfonctionnements pouvant survenir sur des mois ou des années. Si on devait le mettre devant tous les problèmes possibles, il faudrait les provoquer artificiellement,

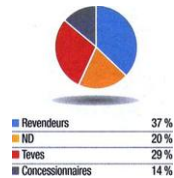
ce qui nous coûterait très cher. » La formation accélérée à cette machine spéciale est d'autant plus intéressante que l'opération critique qu'elle effectue est un goulet d'étranglement de la production. Et qu'en raison de son prix (plus d'un million d'euros), on ne peut indéfiniment la répliquer. « On escompte que la réalité virtuelle nous fasse gagner une semaine de formation par opérateur », souligne Évelyne Barbier.

L'UTC, avec qui Continental entretient des rapports étroits, a mis à disposition du pneumaticien trois stagiaires à demeure encadrés par l'enseignante et chercheuse Indira Thouvenin. Le projet, qui a bénéficié d'un financement du Conseil général de Normandie, a débuté en septembre 2004 pour s'achever en juin 2006. Si le simulateur donne satisfaction, il s'étendra à d'autres usines du groupe dont les centres allemands. ❁ Thierry Mahé

> Répartition des stages dispensés



> Typologie des clients formés



“Si on considère le phénomène de la globalisation et que l'on espère conserver des sites de production dans notre pays, l'enjeu de la formation prend indubitablement une nouvelle dimension”, analyse sans détour Jacques Dreux, directeur général de Continental France, avant de poursuivre : “L'organisation temporaire du travail réclame de dépasser le taylorisme et d'accompagner nos salariés vers plus de responsabilités et d'autonomie, ce qui signifie aussi une remise en cause permanente de tout un chacun”. Cette délimitation macro-économique de la problématique de la

Continental parie

La semaine passée, nous évoquions le paradoxe du site Continental de Clairoux : à la fois performant mais sommé de s'améliorer pour faire face aux pays low-cost. Amélioration qui doit donner au personnel français une réelle valeur ajoutée. Ce qui induit un important travail de formation. Imbrications.

formation continue vient s'agréger à quatre autres items : l'accompagnement du rythme des évolutions technologiques, le remplacement des générations avec un bon transfert des connaissances, la fidélisation des équipes, et un travail densifié sur le savoir-faire et le savoir-être, cette dernière notion prenant un relief particulier vis-à-vis des jeunes classes d'âge. En 1998, le groupe Continental décide donc d'inaugurer un centre de formation sur son site de Clairoux. Un espace dédié aux formations commerciales et techniques et ouvert aux salariés du groupe, mais aussi à ses clients. “Ce centre de formation symbolise les efforts que nous déployons dans ce domaine. Ainsi, au cours des cinq dernières années, nous avons consacré, en moyenne, 2,6 % de notre chiffre d'affaires à cette activité. Soit beaucoup plus que le minimum légal”, tient à souligner Jacques Dreux.

Après avoir longtemps délaissé le pneu, les concessionnaires se relancent fortement sur cette activité

Placé sous la houlette d'Evelyn Bar-bier, le département formation de Continental France s'articule désor-

mais autour de 6 personnes dont 3 1/2 à temps plein pour les clients. Au chapitre du pneumatique, le catalogue se décline en quatre modules phares (“technique, mise en œuvre, législation et nouvelles technologies”, “Géométrie”, “Accueil et vente au téléphone” et “Diagnostic et vente autour du véhicule”), auxquels il convient d'ajouter les volets spécifiques dédiés aux secteurs Poids Lourd, Manutention et Agricole. “Nous avons un rôle prépondérant à jouer car il n'existe aucun diplôme consacré au changement du pneu à proprement parler... Si l'on admet que le pneu est un organe de sécurité par excellence, cela peut laisser songeur”, dénonce Evelyn Barbier. Un rôle que Continental joue auprès de la nouvelle distribution, c'est-à-dire les centres-autos, des revendeurs, notamment G6 et Eurotyre et des concessionnaires. Ces derniers manifestent d'ailleurs un regain d'intérêt pour les formations consacrées aux pneumatiques. “Après avoir longtemps délaissé le pneu, ce qui explique notamment le niveau d'équipement souvent moyen de leurs ateliers dans ce domaine, les concessionnaires se relancent aujourd'hui fortement sur cette activité. C'est un phénomène très marqué et visible dans les concessions”.

souligne Thierry, formateur Continental. A titre indicatif, pour le pneu SSR, solution de roulage à plat reposant sur des flancs porteurs, Continental a été missionné pour former les collaborateurs de BMW France et de Mercedes France. Sur ce même sujet d'actualité, Continental a aussi formé les salariés d'une centaine de centres Speedy. “Contrairement à ce que l'on pourrait croire, les réseaux constructeurs ne sont pas forcément meilleurs que les centres-autos sur le pneu”, glisse Thierry, avant de revenir dans un registre technique : “Sur les nouvelles générations de pneus, comme le SSR par exemple, les interventions doivent être vraiment rigoureuses car sinon, vous risquez d'endommager des éléments très coûteux comme les valves à capteurs notamment. Une formation adéquate s'impose donc en termes de qualité mais aussi de rentabilité”.

1 252 personnes formées au 1er semestre 2005, contre 836 sur l'année 2004 et 545 en 2002 !

Par ailleurs, au niveau du freinage, Continental Teves propose une offre de formation complète et destinée aux garagistes et aux centres de freinage. Ces modules techniques se doublent de formations à la vente, toujours pour les garages, mais aussi pour les partenaires de distribution ATE. Le catalogue est fortement focalisé sur l'ABS et les sessions font dorénavant la part belle à la pratique (70 % de pratique pour 30 % de théorie). Ainsi, le modèle d'essai ABS doit permettre à chaque participant d'identifier les pannes dans les véhicules équipés d'ABS. En maîtrisant la lecture des schémas électriques des connexions, l'utilisation du multimètre, la liste de test rapide Continental Teves, et la mallette de contrôle ABS. “Au-delà de l'amélioration de leur compétence technique, les réparateurs apprennent ainsi à éviter de remplacer sans nécessité des composants ABS coûteux et donc à effectuer leurs interventions au meilleur coût”, souligne Anton, formateur Continental. Les formations Continental Teves rencontrent un grand succès chez les clients du groupe. La progression entre 2004 et 2005 (à fin octobre) peut même être qualifiée de spectaculaire : 713 stagiaires contre 276 l'an dernier.



Un formateur Continental : “Contrairement à ce que l'on pourrait croire, les réseaux constructeurs ne sont pas forcément meilleurs que les centres-autos sur le pneu”.

COMPIEGNE ET SA REGION

Clairoix

Pneumatiques : le virtuel au service de l'usine

ETRE EN HAUT du podium, c'est le leitmotiv de Continental à Clairoix. Pour se démarquer des sept autres sites du groupe, la société a décidé de développer un système de réalité virtuelle pour la production de pneumatiques nommé RVPI (réalité virtuelle pour la production industrielle). Un nouveau concept, né d'un partenariat avec l'UTC, pour la recherche, et avec le conseil général pour le financement, 100 000 €, soit le maximum autorisé par l'Europe.

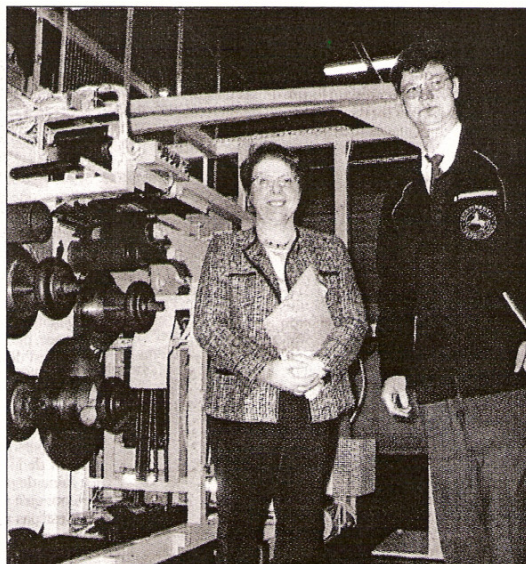
D'ici à quinze jours, les salariés vont pouvoir tester le simulateur de formation qui leur permettra de se familiariser sur la machine PU15Sb, un monstre de technologie de 35 m² qui sert à assembler les différents composants d'un pneumatique. Fin juin, tout sera finalisé et prêt à fonctionner.

Le simulateur s'utilise comme un jeu vidéo, mais est adapté aux besoins de l'industrie. Deux formateurs vont se charger de familiariser entre 20 et 30 salariés par an à cette nouvelle technologie. L'opérateur pourra alors parer à toutes les éventualités.

Le laboratoire du groupe Continental

Avec une possibilité de simulations infinies, tous les risques, les éventuels dérèglements de la machine ou dysfonctionnements sont visualisés. Ce qui fait qu'une fois l'opérateur sur la machine, il ne sera jamais pris de court. Une assurance de qualité, de sécurité et de cadence de travail, qui, selon le directeur, ne pourra qu'augmenter encore plus le rendement de l'usine. Le but est d'éviter les défauts et de fournir un produit « bon du premier coup ».

Car, chaque jour, le site est obligé de jeter entre 200 et 250 pneus. Le coût est de 1 million d'euros d'investissement pour chaque PU15Sb.



CLAIROIX USINE CONTINENTAL, HIER, 12 HEURES. Renza Fresch, du conseil régional, et Thierry Wipff, le directeur de Continental Clairoix devant le simulateur qui va permettre aux opérateurs d'arriver directement formés sur une nouvelle machine d'assemblage. (L.P./S.F.)

Déjà 9 machines sont opérationnelles sur le site sur les 14 prévues d'ici à 2010. Une fierté pour Clairoix,

qui n'envisage en aucun cas de commercialiser l'un ou l'autre. Le simulateur sera utilisé dans les autres sites

REPERES

- **3.** La place du groupe parmi les manufacturiers mondiaux.
- **104.** En millions, le nombre de pneus tourisme vendus par an dont 8 millions sont fabriqués à Clairoix.
- **1 171.** Le nombre de salariés employés sur le site oisien.
- **6 millions d'euros.** Les investissements en 2005.
- **21 %.** Le pourcentage de ses clients qui sont des constructeurs (Audi, Opel, Ford, Toyota, Nissan...), 79 % sont des centres auto (Speedy, Feu Vert, Norauto, Euromaster...).

du groupe. Thierry Wipff, le directeur imagine déjà inscrit sur le côté ur « Made in Clairoix ». Déjà, l'usine de Timisoara, en Roumanie, devra faire partie des prochains clients « On souhaite que l'usine devienne grâce à ce simulateur, le laboratoire du groupe. C'est une image que nous souhaitons relayer au siège, à Hanovre, en Allemagne. Ils se diront que nous sommes originaux et pertinents et nous serons gardés. »

STÉPHANIE FORESTIER

Un retour aux 39 heures ?

AFIN d'accroître la productivité, outre la modernisation de l'équipement et la création d'un nouveau bâtiment l'année dernière, le directeur du site a évoqué hier, la possibilité d'un retour à 39 ou 40 heures de travail par semaine.

Thierry Wipff a également tenu à ajouter que le site de Clairoix était « de toutes les usines de l'Ouest (NDLR : deux en France et deux en Allemagne), la plus chère au niveau du coût du travail. En euros par heure, nous les dépassons. »

Il n'a pas souhaité préciser le salaire exact de ses opérateurs, mais a mentionné que les salariés des

quatre sites étaient payés en moyenne 25 € de l'heure.

Un dialogue a également été entamé entre les syndicats et la direction sur le fait de travailler trois jours fériés en plus.

« Il est vrai que la discussion était assez animée, il faut être réaliste », concède-t-il. « Et puis, dans ces trois jours, il faut comptabiliser la journée de solidarité. Il ne reste plus que deux jours. Ça se faisait avant sur la base du volontariat... Et puis, ils sont payés en heures supplémentaires... Si on veut être productif, il faut bien en passer par là. »

S.F.

L'ÉCONOMIE PICARDE

3

Mardi 21 mars 2006

Le Courrier Picard

Pneumatiques : le prof est un simulateur

La première chaîne de production virtuelle de pneumatiques est opérationnelle dans l'Oise. Elle résulte d'un partenariat entre Continental et le centre de recherche de l'UTC avec l'appui financier du conseil régional.

L'industrie aéronautique avait ses simulateurs de vol. L'automobile ses simulateurs de conduite. L'industrie du pneumatique a désormais son simulateur de production. C'est nouveau, c'est picard. Le premier exemplaire est installé au cœur de l'usine Continental de Clairoix. Il est actuellement en phase de test et sera opérationnel avant l'été. Le projet a été initié par le manufacturier allemand et mis en œuvre par l'Université de Technologie de Compiègne via sa filiale Divergent. Le soutien financier a été assuré par le conseil régional de Picardie. « La région a été contactée à la mi-mars 2005. Le vote a été obtenu à l'unanimité » précise Renza Fresch élue socialiste du conseil régional, maire de Venette dans l'Oise. La région a mis 100 000 € sur la table pour financer la moitié des frais de développement du logiciel. « Le maximum autorisé dans l'Oise par l'Europe » précise-t-elle. Elle ajoute que le projet a séduit les élus de la région par « sa grande originalité ».

Le défi de l'industriel était de créer la copie virtuelle des machines qu'il utilise pour confectionner ses pneus. L'usine en abrite 9 exemplaires. Chaque machine coûte la bagatelle de 1 million d'euros et ne produit aucun pneu chaque fois qu'il faut initier un opérateur à son pilotage. Une formation qui peut durer trois mois et qui concerne 25 à 30 personnes chaque année.



Renza Fresch et Thierry Wipff devant le simulateur de production. À droite l'une des 9 machines de l'usine.

D'où l'idée d'une machine virtuelle qui reproduirait les différents scénarios d'une machine réelle en les restituant sous la forme d'un « jeu vidéo » en 3D.

Le simulateur installé au cœur des ateliers se présente sous la forme d'un terminal informatique couplé à une ancienne machine de production. Hors frais de développement du logiciel, le coût marginal d'une

telle installation restera donc relativement faible. D'où l'intérêt déjà affiché par d'autres usines du groupe. Mais surtout « il permettra d'intervenir en mode dégradé ; c'est-à-dire de répondre à la question - que dois-je faire quand ça ne marche pas - » souligne Éveline Barbier, chef de projet chez Continental.

Au final, Continental espère améliorer la qualité de sa formation,

tout en la raccourcissant. Objectif : limiter le taux de rebut. L'enjeu est important : l'usine envoie chaque jour 250 pneus à la casse. Souvent pour un simple défaut d'aspect.

Dans cette usine qui, affirme son directeur Thierry Wipff, a le coût horaire le plus élevé « y compris face à l'autre usine française de Sarreguemines et aux usines allemandes » cette innovation serait aussi un moyen

de singulariser le site de Clairoix en tant que « pôle de compétence formation du groupe Continental ».

Cette innovation restera la propriété de Continental ; mais elle ne sera pas nécessairement sans lendemain pour l'UTC et la Région.

« Nous espérons qu'elle favorisera le transfert de technologie vers d'autres industries » affirme la représentante du conseil régional.

MICHEL JACO

REPÈRES

Selon un sondage réalisé pour l'usine Nouvelle, l'Université de Technologie de Compiègne appartient au club des 10 meilleures écoles d'ingénieurs françaises. Elle accueille plus de 3 000 étudiants pour un budget de 45 millions d'euros.

Gradient, l'association des chercheurs de l'UTC gère les contrats de recherche. Elle emploie 50 salariés et réalise un chiffre d'affaires de près de 5 M€.

Divergent SA est une société de droit privé créée par des chercheurs de l'UTC il y a une vingtaine d'années. Elle emploie 30 salariés et possède un réseau de 150 consultants. Elle propose ses services en matière de consulting, de formation et d'assistance. Chiffre d'affaires : 2,6 M€.

MÉCANIQUE I Continental simule la production

Continental met en service, sur son usine picarde de pneumatiques, un « simulateur » destiné à former les opérateurs. Cette chaîne virtuelle a été conçue en partenariat avec l'université technologique de Compiègne.

Continental

Clairoix (Oise)

PLUS DE 8 MILLIONS DE PNEUMATIQUES en 2006 pour véhicules de tourisme.

OBJECTIF 2007 8,5 millions à effectif constant (1 200 salariés)

L'UTC Compiègne

Parmi les dix premières écoles d'ingénieurs françaises

3 300 étudiants, dont 2 750 ingénieurs, 300 masters et 250 docteurs

1 500 stagiaires (diplôme d'ingénieur) en entreprise par an

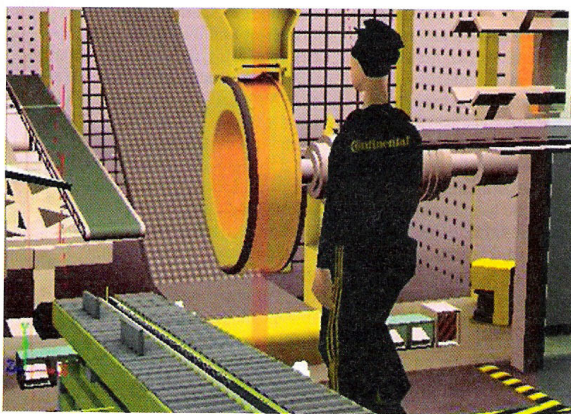
Budget de fonctionnement consolidé 2006 : 52 millions d'euros

Chiffre d'affaire des contrats de recherche avec les entreprises : 5,3 millions d'euros

Après quatre mois d'évaluation, le simulateur installé chez le fabricant de pneumatiques Continental France SNC, à Clairoix dans l'Oise, est jugé « bon pour le service », tant par l'industriel que par le concepteur, l'université de technologie de Compiègne (UTC). Cette chaîne virtuelle, « réplique » des machines de production du site, vient de former avec succès une douzaine d'opérateurs à l'utilisation des machines semi-automatiques à commandes numériques qui assemblent la carcasse du pneu avant la phase de vulcanisation. Pour la suite, deux opérateurs seront formés par mois.

Premier simulateur de formation sur une ligne de pneumatiques, cet outil baptisé « Réalité virtuelle pour la production industrielle » (RVPI) a été conçu par le laboratoire de recherche mixte UTC-CNRS, Heudiasyc* en coconception avec Continental. « Il familiarise l'opérateur avec le mode opératoire normal et avec le « mode dégradé » en simulant des situations de panne », explique la responsable scientifique du projet, Indira Thouvenin, enseignante-chercheuse de l'UTC et spécialiste de l'intégration des connaissances dans les environnements virtuels.

A écouter Indira Thouvenin, cet outil présente le double avantage de raccourcir le temps de formation (de 8 à 6 semaines) et d'élever le niveau de compétences des opérateurs : « Ils comprennent mieux la machine qui se trouve derrière le pupitre de commandes. » Pour Thierry Wipff, le directeur de l'usine de Clairoix (1 200 salariés), soucieux de ses coûts de



Investissement. La chaîne de production virtuelle installée chez Continental a coûté 330 000 euros, dont un tiers financé par la région Picardie.

production, « le simulateur permet aussi à l'opérateur débutant de faire ses premiers pas sans immobiliser la vraie machine, et de limiter le rebut pendant la phase d'apprentissage ».

UN OUTIL À DUPLIQUER

D'autres usines du groupe envisagent d'acquiescer un simulateur du même type ou d'en faire développer un autre pour répondre à leur problématique propre. De son côté, l'UTC dont la mission est de « faire le lien entre recherche technologique et innovation industrielle » est prête à nouer des contrats avec d'autres industriels pour l'utilisation de la réalité virtuelle en conception et fabrication. Des scénarios sur le risque industriel sont en préparation.

Évalué à 330 000 euros, le projet est

soutenu par le conseil régional de Picardie qui, au titre du développement économique, a « investi » 100 000 euros dans l'opération. Le solde est financé par Continental à travers un effort d'innovation en termes de ressources humaines : recrutement de deux ingénieurs (étudiants de l'UTC) pendant un an ; d'un technicien en alternance pendant un an et deux stages de six mois pour des étudiants en master (ergonomie cognitive et réalité virtuelle). Pour ce « projet de recherche partenariale » avec le privé, l'UTC a travaillé avec un intermédiaire, la société Divergent. Celle-ci en a assuré l'ingénierie financière.

DE NOTRE CORRESPONDANTE
CLAIRE GARNIER

* Heudiasyc : unité heuristique et diagnostic des systèmes complexes.

Annexe C

SportWriting : Skateboard

Les figures suivantes décrivent la figure « ollie » où il s'agit de sauter avec sa planche pour passer par dessus les obstacles. Ce saut s'effectue en sautant au dessus de sa planche, tout en venant frapper la queue « tail » (partie blanche de celle-ci sur les schémas), puis en venant frotter l'extérieur du pied sur l'avant de la planche « nose », le skater l'a remet à l'horizontal.

Figures extraites de [Sutton, 2009].

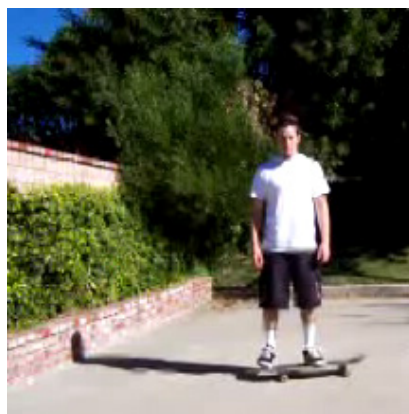
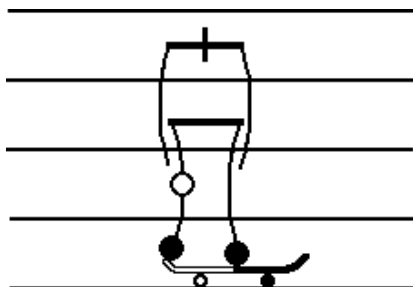


FIGURE C.1 – SportWriting : Skateboard figure 1.

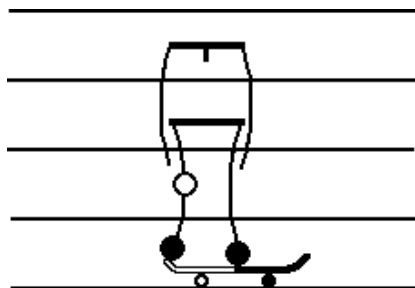


FIGURE C.2 – SportWriting : Skateboard figure 2.

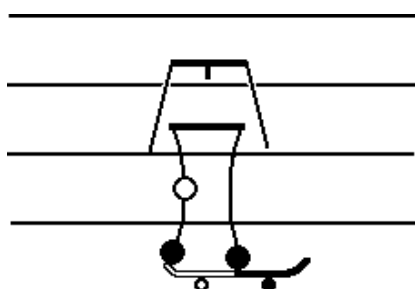


FIGURE C.3 – SportWriting : Skateboard figure 3.

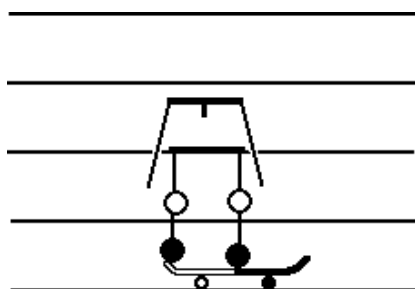


FIGURE C.4 – SportWriting : Skateboard figure 4.

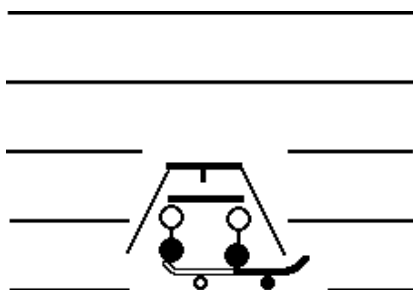


FIGURE C.5 – SportWriting : Skateboard figure 5.

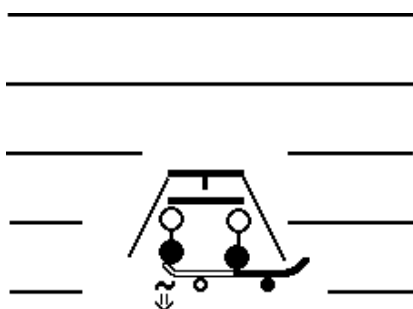


FIGURE C.6 – SportWriting : Skateboard figure 6.

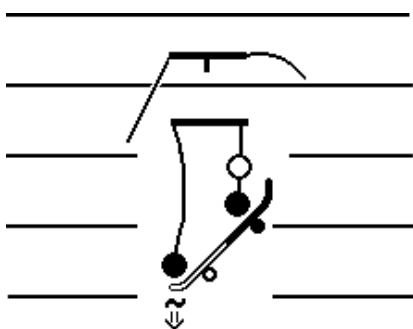


FIGURE C.7 – SportWriting : Skateboard figure 7.

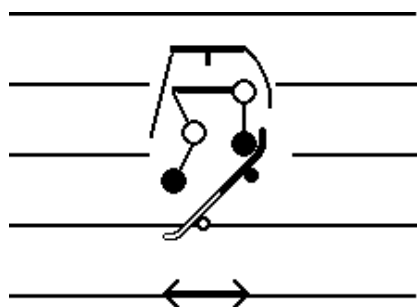


FIGURE C.8 – SportWriting : Skateboard figure 8.

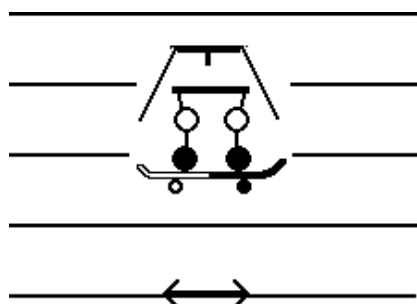


FIGURE C.9 – SportWriting : Skateboard figure 9.

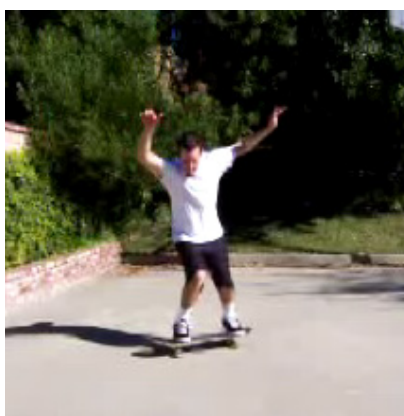
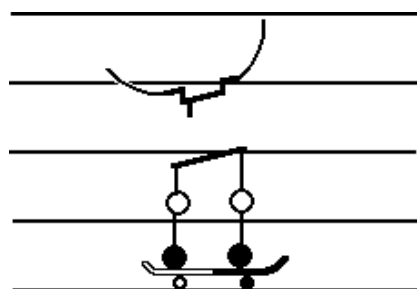


FIGURE C.10 – SportWriting : Skateboard figure 10.

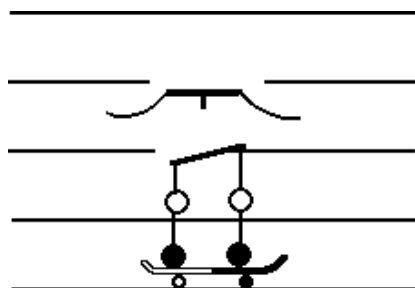


FIGURE C.11 – SportWriting : Skateboard figure 11.