La Réalité Virtuelle pour une conception centrée sur l'utilisateur

XAVIER FISCHER^{1,a} ET NADÈGE TROUSSIER²

¹ LIPSI ESTIA, Technopole Izarbel, 64210 Bidart, France

² Laboratoire CQP2, Université Technologique de Compiègne, Centre de Recherche Pierre Guillaumat, BP 60319, 60203 Compiègne Cedex, France

Reçu le 30 juin 2003, accepté le 20 octobre 2003

Résumé – Nous présentons dans cet article quelques réflexions sur l'utilisation de la Réalité Virtuelle et des techniques adjacentes en conception de produits. La Réalité Virtuelle est présentée comme un outil d'aide à la décision en milieu industriel, mais aussi comme un facteur nécessaire auprès des futurs utilisateurs de produits. Cet article s'appuie sur une bibliographie qui consiste à positionner la Réalité Virtuelle dans un processus de conception. Il positionne aussi un ensemble d'articles récents, développés au cours de la conférence Virtual Concept 2002.

Mots clés : Réalité Virtuelle / processus industriel / conception intégrée / aide à la décision / simulation / ingénierie prédictive / sensation / perception / attentes utilisateur / produit virtuel

Abstract – **Virtual Reality for a user-centred-design.** This paper presents some ideas on the use of Virtual Reality (VR) and techniques used to develop VR for product design. We try to evaluate if VR may be an industrial support system in design. This paper includes a bibliography used to place VR in the design process and it introduces emergent works or ideas. It presents the positioning of Virtual Concept 2002 papers.

Key words: Virtual Reality / industrial process / integrated design / design support system / simulation / predictive engineering / sensation / perception / user expectation / virtual product

Nomenclature

k	: Constante dépendant de la lecture d'une sensation
$\ln$	: Fonction logarithme Népérien
n	: Facteur d'importance d'une sensation
δ	: Seuil absolu d'un stimulus ou valeur d'intensité minimale d'une sensation perçue
φ	: Intensité d'un stimulus
Φ	: Niveau de perception d'un stimulus

1 Introduction

La conception de produits suit un processus complexe qui résulte de la coopération des différentes disciplines présentes dans un système industriel. Les processus les plus génériques organisent les activités sous forme séquentielle, parallèle ou concourante. Ces différentes organisations s'appuient sur les connaissances métiers de l'Entreprise et sur des outils informatiques. À ce propos,

les développeurs de logiciels proposent une grande gamme d'outils dédiés à aider les spécialistes des différentes disciplines de la conception. On a vu ainsi apparaître les outils de DAO, de CAO, de simulation, etc. Mais la discontinuité de l'offre en terme d'outils d'aide à la décision a très vite défavorisé la mutualisation des idées et dégradé le travail collaboratif. Depuis, chercheurs et industriels examinent les possibilités d'amélioration des processus. Ces études impliquent évidemment des raisonnements forts sur les schémas d'organisation, mais aussi sur les outils. Il est évident que l'évolution environnements d'aide à la décision et l'évolution des processus sont intimement liées et qu'elles doivent être réalisées en même temps.

Dans cette optique, les Entreprises ont vu récemment apparaître des Systèmes de Gestion de Données Techniques (SGDT ou PDM). Les SGDT [1] améliorent les échanges d'informations et leur mutualisation, à chaque instant et sur tout le processus de conception. Toutefois la ré-ingénierie des choix et des données techniques, même s'ils sont partagés, ne peut être que séquentielle.

D'autres outils proposent une solution permettant de favoriser le travail collaboratif (prenons pour exemple de

^a Auteur correspondant : x.fischer@estia.fr

l'outil de la société CoCreate [2]). Cependant, ces outils ne permettent, aujourd'hui, que le partage de données géométriques CAO.

Nous pensons que la Réalité Virtuelle peut être une solution d'avenir pour l'Entreprise et devenir un formidable outil d'aide à la décision en conception de produits. Nous décrivons dans cet article les attentes possibles de l'Industrie vis-à-vis des technologies de Réalité Virtuelle. Nous abordons la dernière partie de l'article en essayant de situer les récents travaux présentés au cours de la conférence Virtual Concept 2002 dans une problématique essentielle : le positionnement de la Réalité Virtuelle en milieu industriel, et plus particulièrement en conception et fabrication de produits.

2 Le processus industriel de conception

2.1 Le principe du processus

Un processus de conception dépend de l'organisation de plusieurs activités. Ces activités constituent des phases principales de la démarche de conception. L'agencement des activités suit un schéma adapté au type d'entreprise et à ses habitudes professionnelles. Dans la plupart des cas, le schéma d'organisation est séquentiel. Notre objectif n'est pas, ici, de présenter une réflexion sur les types de processus présents dans les Entreprises, mais de positionner l'utilisation de la Réalité Virtuelle en conception de produits. À cet effet, nous allons nous reposer sur une démarche classique et normalisée. La démarche traitée dans cet article est extrait des normes aéronautiques (RG aéro 00040) [3].

Un processus de conception correspond au chemin suivi pour concrétiser une idée : il s'agit de préciser cette idée pour en arriver à définir complètement un produit. Donc, le processus de conception est une organisation des activités, les disciplines et les décisions afin de garantir le passage de la première expression du besoin au dossier de définition détaillé du produit. Ce dossier de définition détermine le produit commercialisable et industrialisable.

La Direction Générale française de l'Armement (la DGA) demande aux Entreprises positionnée dans le contexte aéronautique de respecter les normes RG aéro. Elles incluent une démarche de conception qui s'articule sur l'émergence de trois documents :

1. *le cahier des charges fonctionnel (CdCf)* : il est le document au travers duquel le problème de conception est défini en termes de fonctions de services et de fonctions contraintes [4],
2. *le Dossier de Concept de Produit (DCP)* : il définit les caractéristiques principales du concept de solution retenu qui détermine les choix technologiques, les choix des constituants du produit et la répartition des fonctions de service entre ces constituants,
3. *le Dossier de Définition du produit (DD)* : il résulte de l'ensemble structuré des documents émergeant du processus. Ce document renferme toutes les caractéristiques vérifiables du produit et indique les procédés nécessaires pour le réaliser.

Ces documents sont la conclusion d'une des phases de la démarche proposée pour structurer le processus de conception.

2.2 Les phases du processus

2.2.1 Schéma général

La norme RG AERO 00040 présente le processus comme une organisation qui s'articule sur trois phases :

1. la phase d'expression du besoin,
2. la phase de conception préliminaire,
3. la phase de conception détaillée.

Chacune de ces phases donne lieu à des documents présentés dans la section précédente.

2.2.2 L'expression du besoin

Le processus de conception débute par la phase d'expression du besoin (Fig. 1). Cette phase consiste à définir les objectifs de conception en terme de fonctions. Elle s'appuie sur l'usage de méthodes particulières [5] (les méthodes d'analyse fonctionnelle) et donne naissance au CdCf.

2.2.3 La conception préliminaire

Le Cahier des Charges Fonctionnel permet d'initier de la phase de conception préliminaire. Cette dernière s'articule autour de deux étapes intermédiaires (Fig. 1) :

- la phase de recherche de concepts : elle permet l'émergence de concepts d'usage et de technologie qui spécifient d'un point de vue systémique les axes de solutions,
- la phase de recherche de solutions techniques et technologiques qui repose essentiellement sur les habitudes professionnelles et les connaissances métiers de l'Entreprise.

La phase de conception préliminaire définit le DCP. Ce dernier définit l'architecture du produit. Chaque architecture proposée est un concept de solution.

2.2.4 La conception détaillée

Enfin, entre en jeu la dernière phase du processus : la phase de conception détaillée. Elle inclut trois sous-phases (Fig. 1) :

- la simulation physique permet de valider les concepts de solutions [6]. Une non validation de sa part requiert des modifications plus ou moins substantielles. Ces modifications visent à corriger les choix réalisés pour garantir un comportement physique acceptable.
- La phase d'optimisation [7] consiste à étudier les possibilités de gains.
- La phase d'industrialisation définit les procédés de mise en œuvre. Cette phase permet l'émergence d'une solution de conception, voir d'un prototype.

Fig. 1. Processus de conception selon la norme RG AERO.

2.3 Les fondamentaux du processus de conception

Chaque phase du processus de conception garantit une partie de la solution. L'évolution pas à pas vers la solution finale implique les différentes disciplines. Chaque résultat est développé sur la base de deux types de connaissances :

- des connaissances procédurales [8] : elles définissent le raisonnement à adopter pour produire des résultats cohérents ; ce sont les règles métiers utilisées dans l'Entreprise,
- des connaissances déclaratives [8] : elles décrivent le problème de conception. Le problème de conception est défini à partir d'un ensemble de variables et leur champ de valeurs possibles (ou attendues). Ces valeurs sont généralement inconnues (ou imprécises)

en début de projet, et sont à déterminer au fur et à mesure du développement. Une part des connaissances déclaratives est déterminée par le cahier des charges [9].

La conception de produit est un défi qui consiste à se reposer uniquement sur les connaissances disponibles tout en [10] :

- respectant tous les points de vue des acteurs du processus,
- satisfaisant tous les objectifs de conception (conditions industrielles, marketing, économiques, technologiques, etc.),
- recherchant les meilleurs consensus.

Et, l'enjeu industriel est élevé : il s'agit de toujours augmenter la performance des solutions en réduisant les

coûts et les délais. Les outils d'aide à la décision, qui sont de plus en plus performants, ont pour prétention de remporter ce challenge. Mais ils ne suffisent pas. C'est pourquoi, des équipes de recherche tentent de résoudre ce problème en proposant des organisations toujours plus performantes [11]. Ils proposent d'améliorer la collaboration dans l'Entreprise et comptent sur l'Homme pour rechercher la solution la moins mauvaise, le plus vite possible. Mais, des barrières importantes viennent bloquer ces avancées : problèmes de communication entre des spécialistes de disciplines différentes, difficultés de collaborations sur une entreprise étendue, diversité des outils, des connaissances non maîtrisées, etc. La tâche n'est pas simple.

Nous proposons toutefois, dans les sections suivantes, de réfléchir sur des solutions avancées qui impliquent l'utilisation des techniques et outils de Réalité Virtuelle et des méthodes adjacentes. Nous appuierons nos propos sur une bibliographie exhaustive et sur des travaux récents.

3 Un positionnement de la Réalité Virtuelle en conception de produits

3.1 La CAO

Les outils de Conception Assistée par Ordinateurs (CAO) sont devenus de plus en plus performants au point de proposer des rendus visuels tridimensionnels très réalistes. S'agit-il d'une solution « entrée de gamme » de Réalité Virtuelle ? Certes, ces outils sont essentiels pour représenter virtuellement la géométrie des produits. Toutefois, ils ne peuvent que symboliser des produits dont les caractéristiques techniques ont été totalement définies au préalable. La CAO n'est qu'un système d'aide à la représentation géométrique. Certains outils (tels que Catia de Dassault System) proposent une grande gamme de possibles études, autres que géométriques, dans la mesure où le contexte est bien déterminé.

Mais la CAO est limitée, même d'un point de vue géométrique, lorsqu'il s'agit de réaliser des rendus réalistes d'un ensemble complexe qui occupe des étendues spatiales importantes. Bien que les rendus tridimensionnels soient de bonne qualité, un écran reste un feuillet de papier « numérique » qui (dans le cas de la CAO) n'est que le support d'un dessin évolué où le produit projeté n'est pas palpable. De plus, en CAO, le référentiel d'observation n'est pas fixe, ce qui empêche toute possibilité d'immersion puisque l'utilisateur peut se positionner en tout point de l'espace.

3.2 La Réalité Mixte

3.2.1 La Réalité Augmentée

3.2.1.1 Définition

La Réalité Augmentée caractérise tout système qui améliore la perception de l'environnement par l'usage de

superpositions d'images de synthèse [12]. Ce concept a été évoqué par Ivan Sutherland, l'un des fondateurs de l'Informatique graphique, au début des années soixante. En Réalité Augmentée, l'image n'est pas totalement artificielle. L'opérateur perçoit visuellement son environnement réel avec l'adjonction d'images et d'informations (Fig. 2). Les recherches portent actuellement sur des lunettes dotées d'une surface semi transparente qui permet de voir l'environnement réel et d'ajouter des informations visuelles, en temps réel.

3.2.1.2 La Réalité Augmentée en conception de produits

Ces systèmes ont une vocation en conception de produits. Ils peuvent être un moyen d'associer à la réalité d'un produit ou de son prototype des données liées à son historique de conception : il s'agit donc de lier au réel des informations numériques actualisées en temps réel. Ces données peuvent être primordiales en phase d'analyse de la valeur ou d'optimisation. Les concepteurs et les opérateurs qui participent à l'amélioration des choix techniques, pourraient, par ce biais, comprendre les origines des concepts ou les transgressions de fabrication alors qu'ils sont face au modèle réel.

3.2.2 La Virtualité Augmentée

3.2.2.1 Définition

La Virtualité Augmentée [13] se montre comme le dual de la Réalité Augmentée (Fig. 3). En effet, l'objectif est ici d'insérer dans une image virtuelle des éléments du monde réel en garantissant leur modification en temps réel.

3.2.2.2 La Virtualité Augmentée en conception de produits

Cette approche est aussi fort intéressante en conception de produit, puisque par ce biais, le produit virtuel peut être immergé dans son monde réel pour des tests d'intégration, d'ergonomie, etc. Cette approche est une manière forte d'immerger le produit virtuel dans son futur environnement et de décider quant à la viabilité de certains choix de conception.

3.2.3 La « CAO augmentée » ou Réalité Mixte

3.2.3.1 Définition

La Réalité Mixte [14] couvre à la fois la réalité augmentée et la virtualité augmentée.

3.2.3.2 La Réalité Mixte en conception de produits

La Réalité Mixte est un outil capable de relayer les outils de CAO. Elle peut, soit garantir un rapprochement du produit virtuel vers son futur environnement réel, soit permettre de relier un produit réel à sa définition numérique (documents, données, géométrie, etc.).

Toutefois, un environnement de Réalité Mixte, au même titre que la CAO, ne peut s'appliquer qu'à des

Fig. 2. La réalité augmentée.

Fig. 3. La virtualité augmentée.

produits ou des environnements déjà bien définis au préalable. Il n'a pas la vocation d'améliorer l'intégration des activités de conception.

3.3 La Réalité Virtuelle

3.3.1 Des définitions

La notion de Réalité Virtuelle implique la notion d'environnement. Un environnement correspond à une situation temporelle et spatiale où un homme reçoit des informations. Un environnement virtuel est la reproduction numérique d'un environnement réel. Cette reproduction se veut la plus exacte possible. Elle est établie à partir d'une capitalisation des réactions de l'Homme face à des phénomènes naturels [15]. Un environnement virtuel est donc une représentation visuelle tridimensionnelle d'un environnement réel, qui de plus, est susceptible d'envoyer des informations sensorielles à l'opérateur auxquelles, il peut réagir.

La Réalité Virtuelle se veut être l'ensemble des techniques et technologies qui permettent l'immersion de l'opérateur dans un environnement virtuel avec lequel il interagit en temps réel à l'aide d'interfaces comportementales.

3.3.2 Les systèmes de capture numérique en conception de produits

3.3.2.1 Définition

Si la technologie de Réalité Virtuelle est essentiellement centrée sur les méthodes d'interaction, il ne faut pas

oublier les outils de lecture et d'analyse du comportement humain. Ces outils sont généralement utilisés pour analyser le comportement d'un opérateur dans un environnement réel, et de fait, pour aussi émettre des conclusions quant au développement des environnements virtuels.

Ces outils sont dédiés à l'analyse du geste humain : il s'agit des gants numériques (dataglove) et combinaisons numériques (Fig. 4). De nombreux travaux s'intéressent à la question [16,17].

3.3.2.2 La capture gestuelle en conception de produits

Ces systèmes sont d'un grand intérêt en conception de produits. Leur utilisation est évidente à tous les niveaux du processus.

Tout d'abord, sur les sites même de production et de conception, ils peuvent constituer un formidable outil d'analyse du geste et des réactions des experts industriels. Ils peuvent être utilisés dans les phases amont de la capitalisation de connaissances [18]. Certes cet outil s'avère inutile dans le cadre des connaissances heuristiques (exprimées), mais il trouve un réel intérêt dans l'étude des connaissances non heuristiques (non exprimées), où une analyse préalable et un apprentissage sont nécessaires pour faire émerger des règles. Certains chercheurs du domaine des neurosciences comportementales l'utilisent pour comprendre le sens de la réaction humaine [19].

Puis, ces outils de capture du geste offre un réel intérêt dans l'analyse de la relation utilisateur-produit. Ces visions sont utiles pour l'amélioration des gammes de produit. Elles sont aussi intéressantes pour l'écriture de règles destinées à traduire les attentes utilisateurs : c'est-à-dire les fonctions marketing du CdCf.

Fig. 4. Systèmes de récupération de données.

Fig. 5. La classification des perceptions selon Fencott.

3.3.3 L'interaction avec le monde virtuel

3.3.3.1 Définition

La Réalité Virtuelle garantit l'immersion de l'opérateur dans un environnement virtuel. La notion d'immersion oblige d'exciter tous les sens de l'utilisateur. La plupart des systèmes de Réalité Virtuelle intègre des interfaces [20] :

- haptiques : ce sont des systèmes de retour d'efforts et de retour tactile assurant à l'utilisateur de sentir physiquement une texture, un objet virtuel, un matériau, mais aussi des efforts,
- visuels : ce sont des systèmes qui garantissent une représentation tridimensionnelle de l'environnement donnant une impression d'immersion complète. Les systèmes disponibles sont nombreux : écrans à taille humaine, lunettes stéréoscopiques, casque de réalité virtuelle,
- sonores.

Les systèmes déclencheurs du goût et de l'odorat ne sont pas encore suffisamment développés.

Un système de Réalité Virtuelle requiert au préalable d'avoir défini l'environnement et les interactions possibles entre ce dernier et l'opérateur.

3.3.3.2 Les systèmes interactifs en conception de produits

Des systèmes de Réalité Virtuelle destinés à aider à la conception de produits voient le jour.

Tout d'abord, les systèmes de Réalité Virtuelle sont utilisés à des fins de marketing [21]. L'utilisateur est immergé dans un environnement et manipule le produit virtuel. Par ce biais, des tests utilisateurs peuvent aussi être réalisés, et les analyses qui en découlent permettent la validation des concepts de solutions dont la fonction est d'améliorer la relation produit-utilisateur. Cette virtualisation du produit (d'ores et déjà bien défini) et de son environnement permettent, au plus tôt, de réorienter les choix de conception, et, surtout, évitent la conception d'un prototype réel, souvent coûteux.

Par ailleurs, la Réalité Virtuelle est maintenant intégrée dans les phases amonts du processus de conception [22, 23] : lors de la recherche des concepts, ils favorisent le travail collaboratif (éventuellement à distance) et l'interaction entre les différents acteurs du processus. Et, les problèmes qui font l'objet d'une étude commune peuvent être plus que de simples données géométriques.

Enfin, les systèmes de Réalité Virtuels sont utilisés pour simuler les opérations de production et de conception [24–26]. Ces systèmes permettent à des futurs opérateurs de s'entraîner à des activités de maintenance, de fabrication, etc. Ces approches ont essentiellement une finalité pédagogique.

4 Notion de sensation et de perception en conception de produits

4.1 Introduction

La grande différence qu'il y a entre un système classique de CAO et un système de Réalité Virtuelle consiste en des possibilités d'interactions entre l'utilisateur et son environnement. Mais, le développement d'un environnement virtuel implique l'analyse préalable du comportement de l'Homme. En contre partie, l'immersion d'un utilisateur dans un environnement virtuel modernise les façons d'étudier l'Homme sensoriel, comportemental et cognitif.

Donc, pour développer un environnement virtuel, la Réalité Virtuelle fait appel à des méthodes assurant l'analyse des phénomènes de perception humains. Dans cette section, nous développons succinctement ces méthodes contiguës en démontrant aussi leur intérêt en conception de produit.

4.2 La sensation

4.2.1 Définition

L'Homme est un réseau de capteurs sensoriels [27]. Une sensation est déclenchée par un stimulus. Un stimulus est défini par Foster [28] comme étant un activateur chimique ou physique qui provoque une réponse dans un récepteur. Les stimuli sont d'ordre mécanique, thermique, visuel, acoustique, chimique ou électrique. Tout objet de l'environnement est un stimulus potentiel. Si un stimulus potentiel déclenche une réponse comportementale, il devient un stimulus effectif [29, 30]. Murch [31] précise que la description d'un environnement doit être basée sur l'inventaire des stimulus effectifs. La modélisation de l'environnement doit être indépendante des réponses possibles d'un utilisateur.

4.2.2 La sensation et la conception de produits

Nous insistons sur le fait que le dernier principe évoqué n'est que trop rarement considéré en conception de produits. En effet, les produits sont trop souvent conçus pour

satisfaire des comportements connus et définis. Or, une réponse comportementale est différente pour chaque individu. Il est donc souhaitable de concevoir le produit à partir de perceptions potentielles, et non pas à partir de campagnes de mesures réalisées sur des « utilisateurs professionnels ». Les techniques de conception de produits auraient donc un avantage à s'inspirer des techniques utilisées pour développer les environnements virtuels. L'intégration de la notion de plaisir pour le client dans les spécifications du produit est un véritable enjeu. En outre, certains travaux fournissent des outils méthodologiques capables de dépouiller des analyses comportementales [32]. L'intérêt de la Réalité Virtuelle en tant que laboratoire d'essais est donc levé.

4.3 De la sensation à la perception

4.3.1 Définition

Pasquier [27] note que la sensation a trois dimensions :

- une dimension qualitative : la sensation a été déclenchée et le stimulus est identifié,
- une dimension quantitative : l'intensité du stimulus est mesuré par l'Homme ; il s'agit ici plutôt d'une perception puisque la sensation est liée à une analyse,
- une dimension affective : elle est liée à la notion de plaisir ou déplaisir.

On identifie, au-delà des cinq sens classiques, différents types de sensations : la sensation visuelle, la sensation auditive, la sensation gustative, la sensation olfactive et la sensation tactile, auxquelles viennent s'ajouter la sensation thermique, la sensation spatiale, la sensation algique, la sensation gravitationnelle et du mouvement et la sensation temporelle.

Comme nous avons déjà pu le préciser, la sensation laisse place à la notion de perception lorsqu'une analyse suit l'identification de l'information reçue, et qu'un comportement est déclenché. De nombreux travaux utilisent des approches psycho-sensorielles pour procéder à une évaluation subjective de la qualité perçue des produits par leurs usagers. Guenand [33] propose par exemple une approche permettant de :

- caractériser les sensations de l'utilisateur par une analyse sensorielle,
- d'analyser le ressenti de ces sensations à l'aide de méthodes issues de la psychologie.

Ces méthodes demandent la mise en situation d'usage d'utilisateurs du produit pour procéder à l'évaluation de la qualité perçue.

Fencott [34] (Fig. 6) a développé une classification des perceptions potentielles (PO ou occasion de perceptions) qu'un utilisateur est en droit de recevoir :

- la perception attendue : elle concerne une information lancée par l'environnement qui est « normale » dans le contexte où l'utilisateur évolue ; par exemple, l'opérateur évolue sur une route et entend un bruit de voiture,

Fig. 6. Le mécanisme de perception.

- la perception inattendue : le signal perçu est produit dans un environnement où le contexte ne s’y prête et n’a aucune relation avec celui-ci. Nous distinguons des perceptions inattendues destinées à :
 - alerter,
 - orienter un comportement,
 - provoquer rapidement un comportement,
- la perception choquante : le signal perçu est décontextualisé de l’environnement et fait réagir violemment ce dernier.

Le geste est généralement construit à partir des expériences personnelles de chaque individu. Mais insistons sur le fait qu’un geste dont la fonction est épistémique ne sera pas construit de la même manière si l’utilisateur est habitué (ou expert) à l’environnement dans lequel il évolue, ou s’il y est immergé que de manière occasionnelle. En effet, l’expert possède une habilité spécifique d’exploration, des capacités de discriminations, une capacité de mémoire sélective et un mécanisme de catégorisation, alors que le néophyte ne réagit que par adaptation.

4.3.2 La perception et la conception de produits

La mise en œuvre des systèmes de Réalité Virtuelle repose sur l’analyse des perceptions. Ces approches sont intéressantes en conception de produits dans la mesure où l’intensité de la relation produit-utilisateur dépend de la perception de l’Homme. Toute sensation est en liaison avec des variables de la Physique. Cette approche signifie qu’il est envisageable de développer des règles de conception qui permettent d’exprimer certaines attentes utilisateurs.

En somme, les techniques de conception peuvent s’inspirer des méthodes inhérentes à la Réalité Virtuelle. Les méthodologies d’analyse de la perception peuvent être employées dès les phases amonts de la conception : dès la phase d’expression du besoin. Elles aident, en l’occurrence, à l’expression des contraintes de conception [32, 33].

4.4 Le geste

4.4.1 Définition

Avant d’être un comportement réponse à un stimulus, le geste peut être un moyen de perception du stimulus, ou bien un générateur de stimulus. En l’occurrence, le geste a trois fonctions [35]. Il a une fonction :

- épistémique : il permet à l’Homme de percevoir l’environnement,
- ergotique : il agit sur l’environnement physique pour le transformer,
- sémiotique : le geste communique une information (ou un stimulus).

4.4.2 Le geste et la conception de produits

Les études développées pour la Réalité Virtuelle et qui concernent l’analyse du geste, sont à retenir pour les phases d’expression du besoin mais aussi de recherche de concept de solutions. L’approche est d’autant plus intéressante que pour être opérationnelles en Réalité Virtuelle, les lois doivent être écrites avec un langage scientifiques. L’analyse comportementale d’un utilisateur en face d’un produit garanti, donc, l’expression d’heuristiques, potentiellement utiles en conception. Ces études peuvent rejoindre celles des ergonomes permettant de valider des interfaces en étudiant les interactions entre l’Homme et le produit [36, 37].

De plus, les outils de capture de données tels que présentés dans la section 3.3.2, peuvent améliorer les techniques de modélisation des règles marketing, essentielles dans la quasi-majorité des produits en phase de conception. Les processus de reconnaissances du geste sont nombreux. Ils impliquent souvent des théories [17] :

- statistiques [38] : la comparaison dynamique, les modèles de Markov cachés,
- les approches connexionnistes [39] fondées sur un principe d’apprentissage des gestes génériques,
- les approches par analogie ou structurelles [40] : approche linguistiques ou template machine.

Enfin, l’analyse du geste peut être importante pour la validation ergonomique des choix de conception. Cette validation est souvent réalisée par immersion dans un environnement virtuel.

4.5 Le mécanisme de la perception et les voix de modélisation

4.5.1 Définition

Le mécanisme de la perception est initié par un stimulus. Pour que l'information arrive à l'opérateur, le stimulus doit avoir une intensité supérieure à une valeur appelée seuil absolu. De la même manière, s'il y a un phénomène d'accoutumance à un stimulus continu dans le temps, la modification d'intensité doit être supérieure à une valeur appelée seuil différentiel pour que cette modification soit ressentie. Si le stimulus est détecté, la sensation a lieu. L'Homme procède ensuite à une évaluation de cette sensation. Cette évaluation consiste à mesurer qualitativement son intensité. Il s'agit donc bien de percevoir le stimulus pour déclencher une réponse (Fig. 7).

Les lois de la Psychophysique ont pour vocation d'interpréter une sensation en terme de perception. Par ce biais, comme nous avons déjà eu l'occasion de l'évoquer, la sensation est ramenée à une variable d'ordre physique. La littérature en psychophysique présente alors régulièrement deux lois [41] :

– la loi de Weber Fechner :

$$\Phi = k \ln \left(\frac{\varphi}{\delta} \right) \quad (1)$$

– la loi de Stevens :

$$\Phi = k\varphi^n + \delta \quad (2)$$

La variable φ représente l'intensité du stimulus, δ est le seuil absolu, k est une constante qui dépend de l'unité de mesure, n est une valeur qui mesure l'importance de la sensation et Φ définit la perception du stimulus que l'opérateur peut évaluer. L'interprétation de ces relations est complexe. Mais par exemple, une sensation visuelle peut engendrer la perception d'un objet qui consiste à évaluer la distance qui le sépare de l'opérateur.

Un problème de ces approches consiste en l'étalonnage des lois de psychophysique. L'étalonnage implique une grande gamme d'essais mettant en jeu des tests sensoriels ou des tests produits. Les tests sensoriels mettent en œuvre des analyses où le produit interagit avec des experts, alors que les tests produits engagent des utilisateurs occasionnels [42, 43].

Ces considérations sont à l'origine des modélisations des environnements virtuels. Nous nous permettons d'insister sur le fait que, certes, la Réalité Virtuelle profite de ces analyses, mais qu'elle contribue aussi à leur mise en œuvre (par le développement de domaines virtuels et les analyses comportementales des opérateurs immergés).

4.5.2 Le mécanisme de la perception et la conception de produits

Une des problématiques essentielles en conception de produits est de modéliser de manière générique les attentes utilisateurs. La Réalité Virtuelle et les méthodes adjacentes qui viennent d'être décrites peuvent participer à l'expression de ces conditions. La phase de recherche de concepts de solutions s'en trouverait améliorée.

5 Synthèse : l'intégration de la Réalité Virtuelle dans le processus de conception

Nous avons jusqu'à présent réalisé une présentation succincte des techniques de Réalité Virtuelle et des méthodes adjacentes pour les positionner en conception de produit. Nous allons, dans cette section, détailler pour chaque phase du processus, les possibilités d'intégration de la Réalité Virtuelle. Cette section est une synthèse des sections précédentes et fait état des travaux très récemment présentés dans le cadre de la conférence Virtual Concept 2002.

5.1 La Réalité Virtuelle et l'expression du besoin

Nous voyons deux avantages à utiliser les techniques présentées dans cet article pour aider à l'expression du besoin.

D'une part, dans le cadre de produit déjà existants, les systèmes de Réalité Virtuelle permettent de mesurer la relation produit-utilisateur. Ces analyses peuvent dériver vers des constatations essentielles qui tendent à valider certaines fonctions techniques par la simple analyse du comportement de l'utilisateur face au produit. L'environnement virtuel est ici présenté comme un nouveau moyen de réaliser des tests produits par des mises en situations. C. Cruz Neira (*Virtual Concept 2002 [VC1]*) a présenté lors de la conférence Virtual Concept 2002 des situations diverses où la Réalité Virtuelle est un moyen utilisé de manière aisée dans le milieu industriel lorsque l'on vise à intégrer l'Homme dans les processus.

D'autre part, les systèmes de lecture comportementale garantissent une capitalisation numérique des gestes. Cette phase d'analyse et de lecture du comportement humain face à une situation peut permettre d'exprimer de nouvelles fonctions « marketing ». Ces systèmes impliquent de nombreux travaux qui visent à fournir des solutions permettant de repérer les mouvements. Ces approches ont pris une part lors de *Virtual Concept 2002* : O. Magneau et al. (*Virtual Concept 2002 [VC2]*).

Lorsque les gestes sont numérisés, il s'agit ensuite d'utiliser des techniques de modélisation de la perception. Elles se basent sur les théories de neurosciences comportementales, tel que l'avance D. Mestre (*Virtual Concept 2002 [VC3]*). Ces visions tentent d'identifier et de représenter les interactions homme-environnement.

5.2 La Réalité Virtuelle et la conception préliminaire

5.2.1 La phase de créativité

La phase de créativité correspond à la recherche de concepts d'usage et de technologie. Ces maquettes conceptuelles sont construites pour exprimer les propositions de solutions des designers industriels, en réponse au problème de conception. Ces idées directrices sont systémiques.

L'immersion dans une maquette virtuelle peut rendre plus accessibles le message du designer, qu'il soit à destination d'un futur utilisateur potentiel du produit, ou bien à destination des autres acteurs du processus de conception. *E. Ramstein et P. Chedmail (Virtual Concept 2002 [VC4])* présente la Réalité Virtuelle comme étant une solution intéressante pour mettre en situation de fabrication, de maintenance, d'utilisation (etc.) des premières solutions du produit. L'Homme pressent avantagement le futur produit et cette démarche participe activement à la validation de premiers choix de conception. La Réalité Virtuelle est l'extension requise des maquettes numériques d'aujourd'hui comme le précise *E. Bibonne (Virtual Concept 2002 [VC5])*. Et la prise en compte de l'Homme dans la problématique de conception permet d'améliorer les démarches de recherche de solution de conception tout en améliorant la créativité.

5.2.2 La phase de recherche de concepts de solutions

La recherche de concepts de solutions repose en grande partie sur les compétences du groupe de conception. À ce niveau, les démarches de travail collaboratif qui favorise le travail de groupe sont cruciales. Selon cette idée, *A.M. Kunz et al. (Virtual Concept 2002 [VC6])* proposent d'exploiter la Réalité Virtuelle pour améliorer la collaboration entre les acteurs du processus de conception. Mais il existe aussi des approches originales, tel que le présente *D. Paillot et al. (Virtual Concept 2002 [VC7])* et *D. Gutierrez et al. (Virtual Concept 2002 [VC8])* : ces approches visent à faciliter le dépouillement des solutions par le groupe de conception, en fournissant un modèle virtuel très évolué du produit qui est directement dérivé des outils classiquement utilisés par les concepteurs (CAO, codes de calculs, etc.).

Mais retenons aussi que la Réalité Virtuelle, outre ses avantages de représentations génériques, fournit des facilités d'interaction entre les modèles virtuels. *T. Duval et al. (Virtual Concept 2002 [VC9])*, par ce biais, fournissent des solutions complémentaires destinées à améliorer les échanges de données numériques et donc favorise le travail coopératif entre les acteurs (via leur outil).

Mais, il est nécessaire d'insister sur le fait que, en phase de conception préliminaire, la conception ne s'établit que sur des connaissances imprécises qui se clarifient au fur et à mesure des progrès du projet. Or, la Réalité Virtuelle requiert, au préalable, une modélisation exhaustive de l'environnement virtuel. Cet inconvénient majeur réduit le champ d'utilisation des techniques de Réalité Virtuelle en conception préliminaire. Une voie d'utilisation de prédilection reste encore son utilisation dans le cadre de l'analyse des acteurs du monde industriel. Elle peut initier un processus de capitalisation des connaissances qui visent à être formalisées et réutilisées dans d'autres cadres, tel que la Conception Inversée Intégrée (CII [44]).

5.3 La Réalité Virtuelle et la conception détaillée

5.3.1 La phase de validation de concepts de solutions

Les choix de concepts de solutions sont réalisés grâce à la connaissance avancée des concepteurs. Mais rien ne laisse encore présager de l'exacte cohérence entre les objectifs attendus (spécifiés dans le cahier des charges) et les conclusions obtenues. Classiquement, une phase de validation est requise : elle permet d'évaluer la cohérence des choix de conception proposés. Souvent, cette phase se limite à mettre en œuvre une simulation numérique du comportement physique au travers de codes de calculs. La Réalité Virtuelle peut permettre d'aller beaucoup plus loin dans la phase de validation.

Tout d'abord, elle propose des rendus visuels tridimensionnels réalistes. Comme en CAO, la qualité visuelle des images implique des travaux importants dans les jeux de couleurs : les travaux de *J.A. Gil et al. (Virtual Concept 2002 [VC10])* sont la preuve des difficultés importantes qui peuvent être rencontrées à ce niveau. Mais, l'intégration de la Réalité Virtuelle dans le processus de conception est complexe, puisque les outils classiquement utilisés sont les environnements de CAO. Pour donc améliorer l'implantation d'environnements avancés en terme de rendus visuels, *J. Posada et al. (Virtual Concept 2002 [VC11])* et *D. Gutierrez et al. (Virtual Concept 2002 [VC8])* fournissent des propositions qui améliorent l'intégration de ces deux outils. Les rendus visuels améliorés au travers de la Réalité Virtuelle permettent de valider des aspects directement visibles.

Mais, plus qu'un outil de rendu visuel, la Réalité Virtuelle est aussi un moyen de rapprocher des ingénieurs de cultures différentes et d'échanger différentes données techniques participant à différents niveaux de validation. *F. Klocke et al. (Virtual Concept 2002 [VC12])* et *J.C. Léon et al. (Virtual Concept 2002 [VC13])* utilisent la Réalité Virtuelle pour mettre en œuvre des simulations physiques qui participent à la validation des dimensions choisies du produit.

Puis, la Réalité Virtuelle a des atouts supplémentaires lorsqu'il s'agit de valider des choix de conception. En effet, une des particularités de la Réalité Virtuelle est qu'elle peut proposer de mettre en œuvre des interactions tactiles avec le produit modélisé. *M. Collet et al. (Virtual Concept 2002 [VC14])*, *G. Moreau et al. (Virtual Concept 2002 [VC15])* et *D. Chablat et al. (Virtual Concept 2002 [VC16])* apportent des solutions pour développer les interfaces dites haptiques, qui garantissent aux utilisateurs un retour tactile des produits qu'il visualise virtuellement. La Réalité Virtuelle est donc un moyen supplémentaire pour valider certains aspects du produits : cinématique, rendu tactile, etc. L'ergonomie des produits est donc aussi un critère qui peut être abordé : *C. Lemarchand*, dans le cadre des postes de conduite automobile, ont pu utiliser des outils de Réalité virtuelle pour analyser le comportement de l'utilisateur face à de nouvelles interfaces de conduite [45].

5.3.2 Vers l'émergence de produits finis

Lorsqu'un produit est fourni, s'adjoint nécessairement à ce dernier, des notices de maintenance, d'utilisation, etc. La simulation en temps réel de l'assemblage et de la maintenance du produit, permet d'aider à la réalisation des notices de montage et d'entretien. De nombreux travaux sont développés dans cette perspective dans les industries mécaniques [45–47].

Mais la Réalité Virtuelle permet aussi de réaliser des tentatives de maintenance du produit. *D. Borro* et al. (*Virtual Concept 2002 [VC17]*) et *L. Matey Munoz* et al. (*Virtual Concept 2002 [VC18]*) fournissent des environnements virtuels dédiés à la simulation des phases de maintenance du produit, mais aussi à l'apprentissage des futurs opérateurs. D'ailleurs, la Réalité Virtuelle est aussi un formidable outil qui permettrait de remplacer les classiques notices explicatives « papier », tel que l'avancent *J.C. Fauroux* et al. (*Virtual Concept 2002 [VC19]*).

5.4 La Réalité Virtuelle dans le processus de conception

Nous avons pu démontrer, au travers des travaux présentés à la conférence Virtual Concept 2002, que la Réalité Virtuelle est un formidable outil pour améliorer les démarches de conception et de fabrication de produits. De plus, elle peut aussi participer au progrès des organisations, tel que le proposent *L. Lebodic* et al. (*Virtual Concept 2002 [VC20]*). Mais pour faire en sorte que la Réalité Virtuelle soit intégrée de manière aisée dans les processus industriels d'aujourd'hui, il reste à fournir des périphériques adaptés qui sont en partie, proposés par *S. Weibel* (*Virtual Concept 2002 [VC21]*) et dont les fonctionnalités peuvent prétendre à faciliter l'immersion de l'opérateur dans l'environnement virtuel.

La Réalité Virtuelle doit encore passer par de nombreux travaux pour assurer l'interaction entre un utilisateur et le monde virtuel recrée qui se modifie en temps réel.

6 Conclusion

En conclusion, la conception de produits techniques est une activité qui engendre des simulations de comportement aussi bien du produit que de l'Homme utilisateur du produit. Dans le cadre de l'évolution des organisations industrielles, la mise en place de l'ingénierie simultanée (ou concourante) et de l'entreprise étendue engendre également des besoins en terme de collaboration entre des acteurs délocalisés. De plus, la communication et le marketing se sont fortement développés autour des produits techniques.

Pour l'ensemble de ces raisons, de nouveaux outils doivent être mis au point pour supporter l'évolution de l'activité de conception :

- dans les différentes phases de la conception (des premières phases de créativité à la conception détaillée),
- pour à la fois simuler et évaluer des fonctions d'usages du produit mais aussi des fonctions d'estime intégrant l'Homme par le biais de ses sensations, sa perception, son attitude...

Parmi les outils de CAO, de Réalité mixte et de Réalité virtuelle, ces derniers semblent particulièrement adaptés à supporter des activités de simulation ou d'évaluation en particulier sur la relation entre l'Homme et le produit. La combinaison de l'immersion, du temps réel et de l'interaction intuitive de l'Homme avec l'environnement virtuel sont ses atouts principaux.

Si dans des domaines tels que la médecine de nombreux travaux ont déjà été développés sur l'utilisation de la Réalité Virtuelle, les industries mécaniques débutent sur la question.

Nous avons proposé quelques idées sur l'apport que peut représenter la Réalité Virtuelle dans la conception de produits techniques. Ces propositions ont été formulées dans le but d'analyser dans quelles phases de la conception et pour quelles activités, la Réalité Virtuelle peut offrir des fonctionnalités que les outils informatiques couramment utilisés ne permettent pas d'atteindre.

Références

Bibliographie générale

- [1] M. Tollenaere, Modélisation de données. Gestion des données techniques, Conception de produits mécaniques ; méthodes, modèles et outils – Hermès, Paris, 1998, p. 413–434
- [2] R.W. Bourke, Software survey: collaborative product commerce, Midrange Entreprise, November, 2000
- [3] R. Cavallès, Méthodes de management de programme, Technea-DGA, 1991
- [4] AFNOR, Analyse de la valeur, analyse fonctionnelle, vocabulaire, NFX50-150, Afnor Edition, 1990
- [5] R. Tassinari, Pratique de l'analyse fonctionnelle, Dunod, Paris, 1997
- [6] N. Troussier, Contribution à l'intégration du calcul mécanique dans la conception de produits techniques : proposition méthodologiques pour l'utilisation et la réutilisation, Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier-Grenoble I, 1999
- [7] X. Fischer, P. Sébastian, J.P. Nadeau, P. Joyot, La Conception Inversée Intégrée (CII), CPI'01, Fez-Maroc, 2001
- [8] A. Montare, Knowledge acquired from learning procedural cognition and its declarative cognisance, International journal of psychology, 27(121) (July, 1992)
- [9] X. Fischer, P. Sébastian, J.P. Nadeau, P. Joyot, Modélisation en Conception Inversée Intégrée ; une approche par contraintes, IDMME 2002, Clermont-Ferrand, France, 2002
- [10] X. Fischer, Stratégie de conduite du calcul pour l'aide à la décision en conception mécanique intégrée ; application aux appareils à pression, Thèse de doctorat, École nationale supérieure d'arts et métiers, 2000

- [11] C. Merlo, P. Girard, Knowledge modelling in engineering design control, IDMMME 2000, Montreal-Québec, 2000
- [12] XXXXX Azuma, T.A. Ronald, A survey of augmented reality, Presence, teloperator and virtual environments, ACM Siggraph, Los Angeles, 1995, pp. 355–385
- [13] K.P. Akeson, Augmented virtuality: a method to automatically augment virtual worlds with video images, Chalmers University of technology-Gothemberg-Sweden, Master thesis, 1997
- [14] M. Billinghurst, Collaborative mixed reality, International symposium on mixed reality, Yokohama-Japan, March, 1999
- [15] C. Fencott, Towards a design methodology or virtual environments, Workshop on user centred design of virtual environments, York-UK, 1999
- [16] T. Baudel, A. Braffort, Reconnaissance des gestes de la main en environnement réel, Informatiques'93, Montpellier-France, 1993, pp. 207–213
- [17] A. Braffort, Reconnaissance et compréhension de gestes, application à la langue des signes, Thèse de doctorat, Université Paris XI, 1996
- [18] K. Boehm, W. Broll, M. Sokolewicz, Dynamic gesture recognition using neural networks ; a fundament for advanced interaction construction, Conference electronic imaging science and technology, San Jose-USA, February, 1994
- [19] P. Peruch, DR. Mestre, Between desktop and head immersion: Functional Dynamic Field during vehicle control and navigation in virtual environments. Presence, 8, 1999, pp. 54–64
- [20] M. Kilchenman, Development of Sensor Packages and Software for a Three Degree-of-Freedom Haptic Interface, Master of Science Thesis, Department of Mechanical Engineering, Vanderbilt University, Nashville, TN, 1999
- [21] Société Immersion, PSA Peugeot Citroën choisit Immersion SA pour équiper 60 points de vente du simulateur réalité virtuelle de la Xsara Picasso, http://www.immersion.fr/appli_picasso_milieu.html
- [22] V. Lehner, T. DeFanti, Distributed Virtual Reality: Supporting Remote Collaboration in Vehicle Design, IEEE Computer Graphics and Applications, 17(2), March-April 1997, pp. 13–17
- [23] Collaborative Virtual Reality, Caterpillar Inc. Directors of Research meeting, NCSA, October 2nd 1997
- [24] P. Christiansson, Capture of User Requirements and Structuring of Collaborative VR environments, AVR II & CONVR 2001. Conference on Applied Virtual Reality in Engineering & Construction Applications of Virtual Reality. O. Tullberg, N. Dawood, M. Connell (Eds.), pp. 1–17. Gothenburg October 4–5, 2001
- [25] A. Nahvi, D.D. Nelson, J.M. Hollerbach, D.E. Johnson, Haptic Manipulation of Virtual Mechanisms from Mechanical CAD Designs, IEEE International Conference on Robotics & Automation (Leuven, Belgium), May 1998, pp. 375–380
- [26] J.M. Hollerbach, E. Cohen, W. Thompson, R. Freier, D.E. Johnson, A. Nahvi, D.D. Nelson, Thompson II T.V., S.C. Jacobsen, Haptic Interfacing for Virtual Prototyping of Mechanical CAD Designs, Design for Manufacturing Symposium (Sacramento, CA), September 1997
- [27] T. Pasquier, L. Todeschini, Gestuelles et apprentissage pour la detection de cibles, CAO et simulation en mécanique, P. Chedmail (Ed.), Hermès-Paris, 2002
- [28] D. Foster, W.H. Danker, The nature of stimuli. Basic principles of sensory evaluation, ASTM Special Technical Publication, No. 433, American Society for Testing Materials, pp. 7–10, 1968
- [29] J.J. Gibson, The senses considered as perceptual systems, Houghton Mifflin, Boston, 1966
- [30] J.J. Gibson, On the proper meaning of the term stimulus. Psychological review, Vol. 74, 1967, 533–534
- [31] G.M. Murch, Visual and auditory perception, Bobbs-Merrill Company Inc, Indaniapolis, 1973
- [32] A. Cayol, P. Bonhoure, Prospective Design Oriented towards Customer Pleasure, International Conference on Design and Emotion, Loughborough, 1–3 juillet, 2002
- [33] A. Guenand, Comment une approche sémiologique déployée en amont de la conception peut contribuer à maîtriser la qualité perçue du produit industriel? Application aux produits domestiques dangereux, Colloque Confere, Nancy, juillet 2002
- [34] C. Fencott, Comparative contents analysis of virtual environments using Perceptual Opportunities, Conference on Digital Content Creation, Bradford, UK, 2000
- [35] J. Coutaz, L. Crowley, Interpreting human gesture with computer vision, Workshop on Gesture at the Unser Interface, CHI'95, Denver, 1995
- [36] G. Chrysslouris, D. Mavrikios, D. Fragos, V. Karabatsou, A virtual reality-based experimentation environment for the verification of human related factors in assembly processes, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 16(4), August 2000, pp. 267–276
- [37] C. Lemarchand, N. Boudaoud, Evaluation of complex systems: case study Driving-Assistance, Nordic Ergonomics Society's 34th Annual Congres, Linköping, Sweden, 1–3 Octobre, 2002
- [38] R.O. Duda, P.E. Hart, Pattern classification and scene analysis, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1973
- [39] P. Chedmail, B. Maille, E. Ramstein, Accessibility and ergonomics study with virtual reality, state of the art, Mécanique et Industries, Vol. 3(2), 2002, pp. 147–152
- [40] S.S. Fels, Glove-TalkII, mapping hand gesture to speech using neural networks-An approach to building adaptive interfaces, Ph.D., Toronto, 1994
- [41] L. Michlet, Méthodes structurales pour la reconnaissance de formes, Collection technique et scientifiques des télécommunications, Paris, 1994
- [42] D.J. Cohen, J.M. Ferell, N. Johnson, What very small numbers mean? On the psychological relation, University of North Carolina, Wilmington, 2000
- [43] S. Morin-Delerme, La clarté des objectifs des tests de produits : une condition pour augmenter leur validité et réduire l'incertitude liée au lancement des nouveaux produits. IAE Paris, GREGOR, Cahier de recherche 1996.05, 1996
- [44] X. Fischer, P. Sébastien, J.P. Nadeau, Inverted Integrated Design: constraint satisfaction for design support system, Mécaniques et Industries, Elsevier, Paris, 2000
- [45] F. Bonnay, C. Lemarchand, Evaluation of a fuzzy system-based automotive copilot dedicated to lateral guidance, Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Congress and 20th NAFIPS, Vancouver, BC, July 25–28, 2001
- [46] M. Weyrick, P. Drews, An interactive environment for virtual manufacturing: the virtual workbench, computers industry, 38(1) (1999), 5–15

- [47] G. Chryss Louris, D. Maurikios, D. Fragos, V. Karabatsou, A virtual reality-based experimentation environment for the verification of human related factors in assembly processes, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 16(4) (2000), 267–276

**Bibliographie de Virtual Concept 2002 –
Biarritz, France, Octobre 2003**

- [VC1] C. Cruz Neira, Virtual Reality in Industry: successes and challenges
- [VC2] O. Magneau, P. Bourdot, R. Gherbi, Positioning and identification of markers 3D tracking
- [VC3] D. Mestre, Interactions entre Réalité Virtuelle et neurosciences comportementales
- [VC4] E. Ramstein, P. Chedmail, Réalité Virtuelle et conception de produits – Évolutions récentes dans l'industrie
- [VC5] E. Bibonne, Contraintes réelles d'une implémentation des technologies du virtuel dans les processus de conception
- [VC6] A.M. Kunz, T. Kennel, A. Mazzone, S. Muller, Workspace to support the teamwork in the early stage of the product development process
- [VC7] D. Paillot, F. Merienne, J.P. Frachet, M. Neveu, S. Thivent, L. Fine, Revue de projet immersive pour le style automobile
- [VC8] D. Gutierrez, F.J. Seron, J.A. Magallon, E.J. Sobreviela, J.A. Gutierrez, CLS: a low cost visualization environment for the train industry
- [VC9] T. Duval, C. Le Ternier, Interactions 3D cooperatives en environnements virtuels avec openMask pour exploitation de données techniques
- [VC10] J.A. Gil, S. Montesinos, M. Alcaniz, J.A. Lozano, A radiosity based solution proposal for virtual scene representation in tile industry
- [VC11] J. Posada, A. Larzabal, A. Stork, Semantic-based parametric control of CAD model conversion for large model visualization in Virtual Reality
- [VC12] F. Klocke, A.M. Straube, Virtual process engineering approach to integrate Virtual Reality, FEM and simulation tools in manufacturing chain
- [VC13] J.C. Léon, A. Michkevitch, A. Gouskov, A proposal of simulation environment operation involving flexible parts
- [VC14] M. Collet, F. Philippe, M. Chevaldonne, D. Rigaudière, F. Merienne, F. Guillaume, N. Chevassus, Manipulation intuitive d'objets virtuels à l'aide d'une interface à deux mains
- [VC15] G. Moreau, P. Fuchs, P. Stergiopoulos, Virtual Reality: *CAD end Beyond*
- [VC16] D. Chablat, F. Bennis, B. Hoessler, M. Guibert, Haptic device and object/robot/mannequin simulation in CAD/CAM software: eM-Virtual Desktop
- [VC17] D. Borro, A. Amundarain, A. Garcia-Alonso, J.J. Gil, L. Matey-Munoz, J. Savall, Virtual Reality for aircraft engines maintainability
- [VC18] L. Matey-Munoz, A. Ustarroz, A. Lozano, J. Siemon, D. Klockmann, M.I. Berasategi, VIRTUOL: Virtual Reality for machine tool training
- [VC19] J.C. Fauroux, A. Vaxelaire, DVTAM: a distributed tutorial for virtual analysis of mechanism
- [VC20] L. Le Bodic, P. De Loo, J. Khan, F. Harrouet, Utilisation de la Réalité Virtuelle pour l'évaluation des interfaces multimodales
- [VC21] S. Weibel, Remote control for immersive workplace