

Intégrer le client final en conception de produits sur-mesure en PME

Emmanuel CHÉNÉ, Henry SAMIER & Simon RICHIR

Laboratoire Conception de Produits Nouveaux et Innovation,
Institut des Sciences et Techniques de l'Ingénieur d'Angers

RÉSUMÉ

Nous proposons une méthode et des outils de personnalisation de masse en PME, qui permettent d'intégrer le client final dans le processus de conception. Notre expérimentation porte sur la personnalisation de produits avec le client final dans une PME de 7 personnes. Selon notre méthodologie, nous avons réorganisé les outils de conception et de fabrication et avons ainsi réduit de 6 semaines à 48 heures les délais de développement. Des produits virtuels personnalisables ont pu être proposés via internet puis fabriqués après avoir été commandés par le client final.

Mots-clés : One to one, Personnalisation industrielle, CRM, Réalité virtuelle, Prototypage virtuel, Innovation.

ABSTRACT

We propose mass customization method and tools in SME, including customer in product design. Our experimentation concerns products personalization on SME, targeting the final customer. According to our methodology, we reorganize the product design tools and the manufacturing tools and reduce the development time from 6 weeks to 48 hours. Virtual products could be available through the internet and then be manufactured once ordered by the end customer.

Key-words: One to One, Industrial personalization, CRM, Virtual reality, Virtual prototype, Innovation.

Cela fait juste quarante ans que le premier hyper marché s'est installé à Sainte Geneviève des Bois. Pour accompagner cette distribution de masse, les entreprises ont rationalisé les coûts, standardisé la production industrielle, raccourci les temps de fabrication avec succès. Mais cette production de masse est maintenant de plus en plus délocalisée. L'industrie occidentale cherche ses relais de croissance vers la création de valeur ajoutée. Une des voies consiste à innover et notamment à proposer des produits de plus en plus personnalisés grâce à une capacité de sur-mesure industriel. Loin du sur-mesure artisanal bien connu, le sur-mesure industriel doit rester en phase avec le triptyque Coût, Qualité, Délai. Il s'agit de répondre à des demandes spécifiques dans un contexte industriel. Nous parlons dès lors de personnalisation de masse : *mass customization* (Pine, 1993).

Cette *mass customization* est complémentaire aux nouvelles technologies et à l'e-commerce (Sophie Lee, Barua et Whinston, 2000). La démarche de Dell¹ en est le porte drapeau. Autour d'un modèle générique, tout peut être, personnalisé via internet. D'autres entreprises ont mis en place cette approche : les chaussures Kickers², les poupées Barbie³, les chaussures Nike⁴, la 607 Peugeot⁵, etc. Ces entreprises proposent généralement des approches de sur-mesure in-

dustriel basé autour de l'assemblage de sous-ensembles existants. Gérer le sur-mesure industriel impose de maîtriser la qualité de production, dans des délais très courts, mais également avec un coût raisonnable et surtout avec une très grande réactivité. L'intérêt pour la personnalisation est profond dans les grandes entreprises, mais est-ce réalisable en PME ?

Nous proposons dans cet article l'intégration du client final dans la conception de produits sur-mesures en PME. Cela implique tout d'abord une connaissance de la conception, véritable nœud d'interconnexion entre la distribution et la production. Les décisions qui étaient prises en interne nécessitent maintenant un processus externe de décision pour intégrer le client final. Nous proposons une méthodologie et des outils de mise en œuvre pragmatiques. Nous expérimentons dans une PME industrielle de 7 personnes. Nous analysons enfin les résultats et les limites à la généralisation de cette démarche.

I. LA CONCEPTION

Le cadre de cette recherche de sur-mesure, s'inscrit dans le processus de conception. La conception évolue selon Shu (1988) de l'idée (espace fonctionnel) au produit (espace physique) comme nous le précisons en figure 1. Nous intégrons dans cette approche

1 www.dell.com – Dell, qui est devenu en moins de 10 ans, le leader mondial des fabricants d'ordinateurs personnels de type PC.

2 www.kickers.be

3 www.barbie.com/Activites/Fashion_Fun/MyDesign/look.asp

4 www.nike.com

5 www.607.peugeot.fr

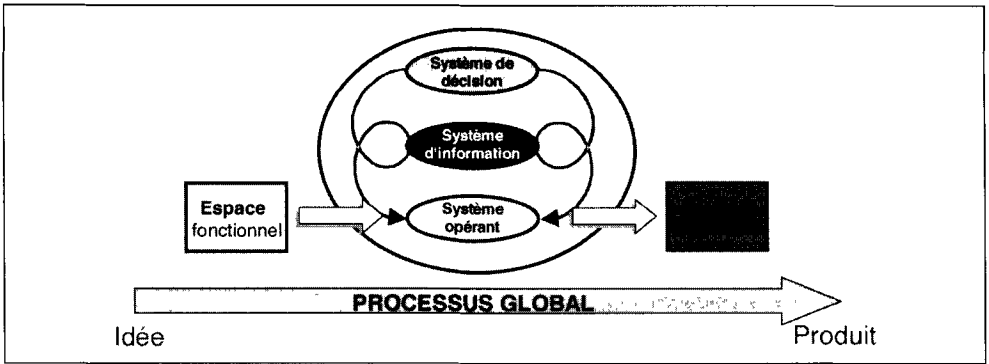


Figure 1 : Modèle OID de Le Moigne dans l'espace fonctionnel / physique selon Shu.

chronologique, l'approche systémique qui s'appuie sur le système Opérant, le système de Décision et le système d'Information (Le Moigne, 1999).

Afin de mieux positionner notre recherche, nous observons l'évolution du système opérant et du système de décision. Nous proposons sur ces bases un système d'information interne et externe basé sur le prototypage virtuel et internet.

Le système opérant évolue depuis ces dernières années vers une délocalisation des acteurs de la conception en dehors de l'entreprise. Les équipes fonctionnant à distance (Saunders, 2000) ou les équipes distribuées (Rowe, 2002) reflètent la notion d'entreprise étendue qui amène ces équipes à collaborer via des sites distants. L'utilisation des technologies de l'information et de la communication fluidifie ces échanges.

Concomitamment, les équipes travaillent non plus de manière séquentielle, mais de manière concurrente. L'ingénierie concurrente⁶ se caractéri-

se par les notions d'intégration et de simultanéité car elle regroupe l'ingénierie intégrée (ensemble) et l'ingénierie simultanée (en même temps) (Jagou, 1993), (Midler, 1993), (Chedmail, 1997) et (AFNOR 50 415).

Cette démarche « d'ingénierie concurrente étendue » peut également intégrer le client final dans le système opérant avec un objectif de sur-mesure industriel.

Le système de décision évolue depuis quelques années. Les décisions se prennent maintenant dans l'espace virtuel, entre l'espace fonctionnel et l'espace physique. Ainsi, les acheteurs de l'avion A380 d'Airbus ont fondé leurs décisions sur des images de synthèse. Les technologies de la réalité virtuelle (RV), couplées à la CAO (conception assistée par ordinateur) définissent la CARV (conception assistée par la réalité virtuelle) (Fuchs, 2001). Les auteurs précisent que « *Les techniques de la réalité virtuelle sont fondées sur l'interaction en temps réel avec un monde virtuel, à l'aide d'interfaces comporte-*

⁶ Egalement indiqué dans la bibliographie par la terminologie *d'Ingénierie Simultanée*, de *Développement Intégré*, pour décrire l'acception anglaise *Concurrent Engineering*

mentales permettant l'immersion de l'utilisateur dans cet environnement». La recherche en conception rejoint le champ de la recherche en réalité virtuelle (Richir 1999).

Le **système d'information** en conception repose dès lors sur des représentations intermédiaires compréhensibles et accessibles par tous. Les représentations intermédiaires correspondent à « *des outils d'interaction entre l'ensemble des acteurs de la vie du produit, afin de permettre des échanges et des compréhensions mutuelles plus efficaces* » (Tichkiewitch, 1997). Les objets intermédiaires qui hier étaient des plans, maquettes et prototypes physiques, sont de plus en plus figuratifs. Les maquettes physiques et les prototypes physiques restent nécessaires, mais leur nombre diminue fortement avec la RV. Les objets intermédiaires (Jeantet, 1998) passent au statut de représentations intermédiaires et rejoignent les travaux de Deshayes (1996) qui décrivent pour leur part l'évolution de ces concepts au travers des processus cognitifs qui les transforment. « *La notion de concept étant également un objet intermédiaire dans la représentation de ce que sera le produit solution final.* » (Yannou, 2001).

Le CSCW (Computer Supported Collaborative Work) définit deux approches croisées :

- L'approche temporelle des échanges (synchrones ou asynchrones).

- L'approche spatiale des acteurs (co-localisés ou distants).

L'approche synchrone et co-localisée est représentée par les équipes projets regroupées, sur un même plateau-projet⁷ ou dans des « *virtuals centers* ». Afin d'obtenir l'interactivité et l'immersivité propres à la réalité virtuelle, les images calculées en temps réel⁸ sont projetées sur des écrans panoramiques. La salle Herley J. Earl⁹ a permis à Renault d'économiser en six mois environ 13 % sur les coûts de fraisage des maquettes soit un gain de 22 000 €.

II. PROBLÉMATIQUE

De tels systèmes d'information induisent des coûts trop importants pour les PME. De plus, l'intégration du client final n'est pas envisageable avec ce type de structures.

Notre problématique vise à intégrer le client final dans le processus de conception avec un objectif de personnalisation de produits. Notre problématique se situe dans un contexte distant pour des échanges d'informations asynchrones en conception. L'aspect distant implique une étude attentive du système d'information. Dans ce sens, la théorie de la richesse des médias (TRM) propose une organisation des outils informationnels. « *La TRM s'enracine dans la théorie du design organisationnel (Galbraith, 1973) et dans un modèle où l'efficaci-*

7 Au Technocentre Renault, 7 500 personnes se regroupent ou se dégroupent suivant les projets

8. De 15 à 20 images par seconde pour obtenir une bonne fluidité.

9. D'un montant d'investissement de 1M Euros

té de l'organisation dépend de l'équilibre entre les besoins et les capacités de traitement de l'information (Tushman & Nadler, 1978). » (Rowe, 2002). Selon une première version de la TRM, l'efficacité des systèmes de communication dépend de leur capacité à satisfaire les besoins en traitement des problèmes d'incertitude et d'ambiguïté. Alors que l'incertitude repose principalement sur des données objectives, l'ambiguïté provient des cadres de références ou modèles mentaux des individus. Nous rapprochons cette vision des problématiques de produit en conception. Les produits s'articulent respectivement autour de la complexité structurelle et la complexité fonctionnelle (Moles, 1991). La complexité structurelle, correspond à celle de l'intérieur de l'objet, de l'organisme, de l'outil ou du produit industriel, qui est maîtrisé par l'inventeur, l'ingénieur de fabrication. La complexité fonctionnelle concerne l'utilisateur, le consommateur, le praticien et correspond aux usages. Ainsi, la complexité structurelle se rapproche des problématiques d'incertitude de la TRM et la complexité fonctionnelle se rapproche des problématiques d'ambiguïté de la TRM. La complexité structurelle trouve des réponses dans la simulation numérique (crash test, résistance des matériaux, etc.). La complexité fonctionnelle repose sur la simulation hédonique (appréciation liée à la valeur d'usage ou à la valeur d'estime) qui reste à construire.

Vis-à-vis de notre recherche intégrant le client final, nous nous limitons à la complexité fonctionnelle des produits en cherchant à réduire l'ambiguïté.

III. HYPOTHÈSE

Afin de réduire l'ambiguïté, nous posons comme hypothèse d'introduire un processus externe de décision (PED) intégrant le client final, basé sur des représentations intermédiaires virtuelles (RIV) mises en œuvre dans le système d'information externe. Nous proposons en figure 2 une démarche méthodologique globale, intégrant les processus de fabrication, de distribution et de conception. Nous proposons une mise en œuvre en 7 étapes :

- A. Auditer les processus de fabrication et de distribution.
- B. Auditer le processus de conception suivant les systèmes opérant, d'information et de décision.
- C. Organiser la fabrication dans un objectif coût, qualité, délai, flexibilité.
- D. Organiser le système d'information interne (base de données, intranet).
- E. Organiser le système d'information externe (interface client, internet).
- F. Appliquer.
- G. Analyser les résultats et optimiser les processus.

Nous nous intéressons à la complexité fonctionnelle et à ce titre, plus le concept repose sur des éléments sensibles liés à la valeur d'estime (avec une forte propension à une interprétation hédonique individuelle), plus il sera nécessaire de développer des représentations intermédiaires riches en termes de qualité de rendu. Dans ce sens, les RIV visent l'hyper réalisme afin de créer l'impression de réalité, pour un produit en-

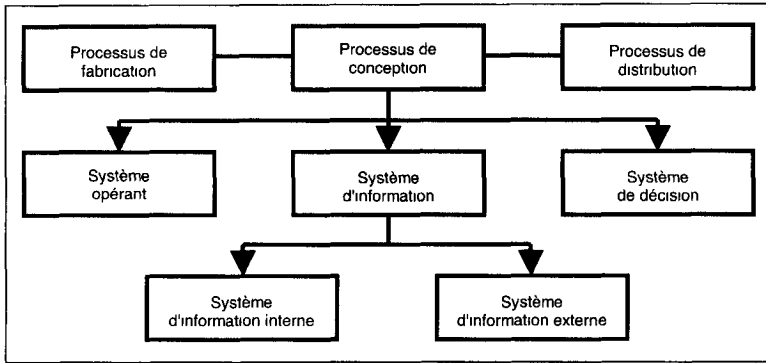


Figure 2 : Démarche méthodologique globale.

core virtuel. Les RIV constituent une formalisation de la réalité virtuelle, dédiée à l'industrie. Mettre en place ces RIV dans le processus de conception et communicables via les TIC nécessite une organisation rigoureuse du système d'information.

Dans cette démarche, le client est accessible via le système d'information externe. Dans la mise en place du système d'information externe, nous proposons le modèle 3i, permettant de caractériser les RIV via les TIC.

Le Modèle 3i

Le modèles 3i repose sur la maîtrise de trois paramètres que sont l'infrastructure, l'information et l'interopérabilité.

Dans la figure 3, nous observons l'interdépendance des 3 paramètres et dé-

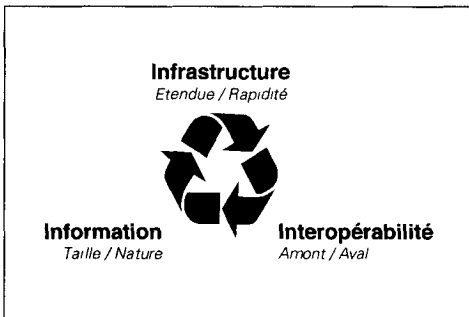


Figure 3 : Modèle 3i.

taillons les caractéristiques et les limites de ces paramètres dans le tableau 1.

Nous proposons de valider notre démarche méthodologique et nos outils dans le cadre d'une PME.

IV. APPLICATION EN PME

Notre expérimentation se déroule au sein de la société High Tech Design (HTD), PME française, de 7 personnes, spécialisée en décoration industrielle tridimensionnelle et propriétaire de la technologie breveté IMERIS. Notre application porte sur la décoration des produits de formes complexes en 3 dimensions.

Le principe global de la technologie présenté figure 4, montre les différents éléments constitutifs d'un décor et les résultats obtenus sur un produit 3D. Le décor et le produit sont les éléments informationnels intéressant le client.

Selon notre hypothèse, nous avons déployé notre méthode suivant les 7 étapes. Nous nous concentrons sur une application relative à la personnalisation de façades de téléphones portables.

	Infrastructure	Information	Interopérabilité
Caractéristiques	<p>Réseaux d'échange caractérisés par leur étendue et leur rapidité dans les échanges</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Etendue : infrastructures matérielles LS, câble, ADSL, WiFi, satellite - Intranet réseau interne L A N (Local Area Network) , - Extranet réseau externe privé W A N (Wide Area Network) , - Internet réseau externe public ➤ Rapidité des échanges : - bande passante capacité absolue maximale de transport d'information - débit quantité relative d'information transmise dans une unité de temps 	<p>Taille et nature de l'échange</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Taille : (poids du fichier), est fonction de la technologie et de la compression - pixelisés / vectorisés - compression/dégradation ➤ Nature des informations représentations - Image Fixe : moins lourd, bonne qualité graphique, compréhension limitée - Animation séquentielle en 3D visualisation pré calculée d'une animation, manipulation limitée à une trajectoire - Animation Interactive en 3D compréhension fonctionnelle accrue, manipulation et zoom possible 	<p>compréhension entre client et serveur, lié</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ aval : format du fichier / Client Protocoles TCP/IP"(portabilité) ➤ amont : format du fichier / CAO - Général : lisible et compréhensible par plusieurs applications en 2D JPG, GIF, TIF, BMP en 3D DXF, IGES, STEP - Spécifique : à une application, ex 2D . PSD (Photoshop) 3D PRT, ASM, DRW (ProEngineer) 3D distant (fixe, séquentiel ou interactif)
Limites	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Etendue les limites sont du ressort des échanges mondiaux, de l'Etat, des collectivités locales ➤ Rapidité des échanges Bande passante de 0,056 Mb/s (Internet) à 1Gb/s (intranet) Débit fonction du nombre de clients connectés, des capacités du serveur, de la qualité des connexions 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Taille fortement corrélé à la qualité 1 Mo constitue la limite en téléchargement via un modem 56 Kb/s. La recherche de technologies vectorielles seront préférées mais leur emploi est limité ➤ Nature Les représentations fixes peu lourdes mais sont insuffisantes Les images interactives apportent la compréhension au détriment de la qualité 	<p>Interopérabilité matérielle Interopérabilité logicielle</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ aval : format du fichier / Client Protocoles TCP/IP"(portabilité) ➤ amont : format du fichier / CAO - Général : Ouvert mais peu performant Transfert des noyaux d'information mais pas de l'historique - Spécifique : performant mais Plug-in nécessaire en lecture et/ou en écriture Difficile à gérer pour des clients n'ayant pas de licence du logiciel Compromis Gain performance / Perte de portabilité

Tableau 1 : Caractérisation des représentations intermédiaires virtuelles.

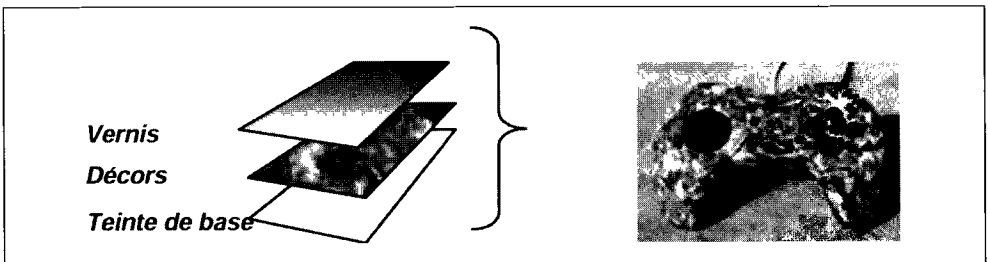


Figure 4 : Principe global de la décoration breveté Imeris en 3D.

Etape A : Auditer les processus de fabrication et de distribution

Cette étape fait ressortir une fabrication de masse qui était réalisée avec des procédés héliographiques. Cela nécessitait la réalisation de cylindres d'impression, ce qui portait le développement d'un décor de 6 à 8 semaines. D'autre part, l'impression avec

ces cylindres installés sur une machine héliographique nécessitait un minimum de 100 m linéaire pour être rentable. Cela impliquait une fabrication minimale de mille façades identiques. La distribution était effectuée dans des boutiques spécialisées. Ce mode de distribution impliquait une mise à disposition physique des façades. Cela limitait le choix et la diversité des décors proposés aux

clients et limitait de ce fait les possibilités d'adéquation entre l'offre et la demande. Les façades invendues étaient reprises pour être détruites.

Etape B : Auditer le processus de conception

La conception tenait compte des délais de fabrication et de distribution précisés ci-avant. Il fallait anticiper les goûts des consommateurs dans les 8 semaines suivantes, ainsi que les téléphones encore disponibles à cette date. En effet, les produits de grande consommation fabriqués par l'électronique japonaise ont désormais une durée de vie moyenne de trois mois indique Rifkin (2000). La combinaison décor/produit induisait ainsi une suite de choix réalisés par une équipe de

trois personnes pratiquement « en aveugle ».

Etape C : Organiser la fabrication

L'objectif de cette étape est d'obtenir un système de fabrication de décors flexible, afin de s'affranchir des contraintes de délai et de quantité minimale des séries. Suite à un travail de veille technologique (Samier, 2002), nous avons déterminé les technologies les plus adaptées à notre application. Nous synthétisons figure 5 l'ensemble des résultats obtenus grâce aux outils et aux technologies mises en œuvre pour faire évoluer la « *supply chain* ». Le process (à droite) est totalement numérique et flexible (délai 24 à 48 heures). Au niveau des décors, l'im-

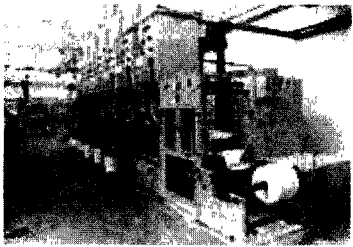
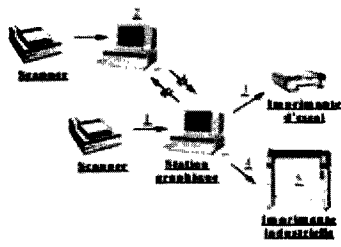


	AVANT	APRES
PROCESS IMPRESSION	 <p><i>Process analogique continu, grande capacité</i> Délais en semaines</p>	 <p><i>Process numérique unitaire / Flexible</i> Délais en heures</p>
RESULTAT FINAL	 <p><i>Décors analogique</i> Film identique 100 m minimum</p>	 <p><i>Décors numérique</i> Personnalisation unitaire sans mètreage minimum</p>

Figure 5 : Evolutions du processus de fabrication, de l'analogique au numérique.

pression numérique offre une flexibilité totale sans minimum requis.

Etape D : Organiser le système d'information INTERNE

Cette étape porte sur la réorganisation interne des réseaux, procédures et informations. Les décors initialement sous forme papier, sont numérisés dans une base de données informatisée (File Maker Pro). Une traçabilité interne est ainsi obtenue. Un accès libre est possible via l'intranet pour visualiser les décors, par contre, des droits spécifiques sont requis pour la création et la modification.

Etape E : Organiser le système d'information EXTERNE

Cette étape consiste à mettre en place un système d'information afin de pouvoir proposer aux clients un hyper choix de produits virtuels. Il s'agit de virtualiser des produits décorés, afin de pouvoir les communiquer au travers du processus de distribution via internet. La première action a porté sur la modélisation des produits en 3D afin de réaliser un « *mapping* » des décors disponibles dans la base de données que nous venions de créer. Nous

présentons figure 6 les essais réalisés sur les logiciels 3DSMax et LightWave.

Nous avons analysé les limites suivant le *modèle 3i*. Nous observons des limites d'interfaçage avec les outils de CAO, des limites de précision de *mapping* et surtout des limites liées aux capacités de téléchargement et de visualisation sur des ordinateurs des clients. Face à ces limites, nous avons choisi d'adapter le système d'information à l'organisation de la PME et avons développé notre propre système propriétaire de virtualisation en 3D afin d'être interopérable.

Moteur de virtualisation « 3D »

La 3D est encore peu répandue sur internet, par contre les navigateurs standards des clients peuvent gérer des couches 2D. Nous avons développé un moteur de virtualisation « 3D » basé sur deux bases de données (BdD) en 2D, celle des décors précédemment décrite et celle des produits. La base de données des produits (téléphone A, téléphone B, etc.) est composée d'un masque de profil et d'un masque ombre et lumière. L'illusion du produit en 3D est obtenue par la superposition d'un décor et d'un masque produit (le masque du Nokia 5110 couplé au

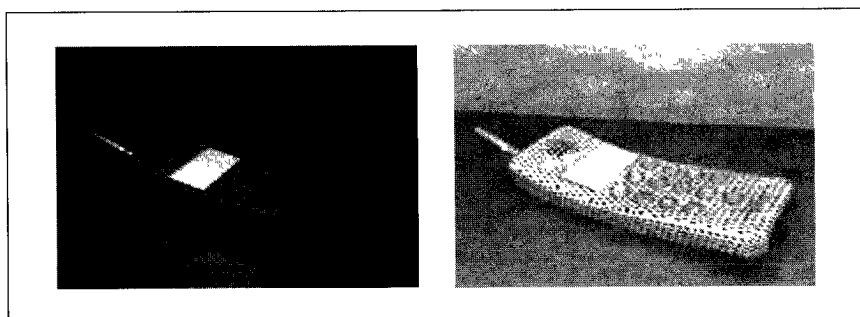


Figure 6 : RIV avec les logiciels 3DS Max et LightWave.

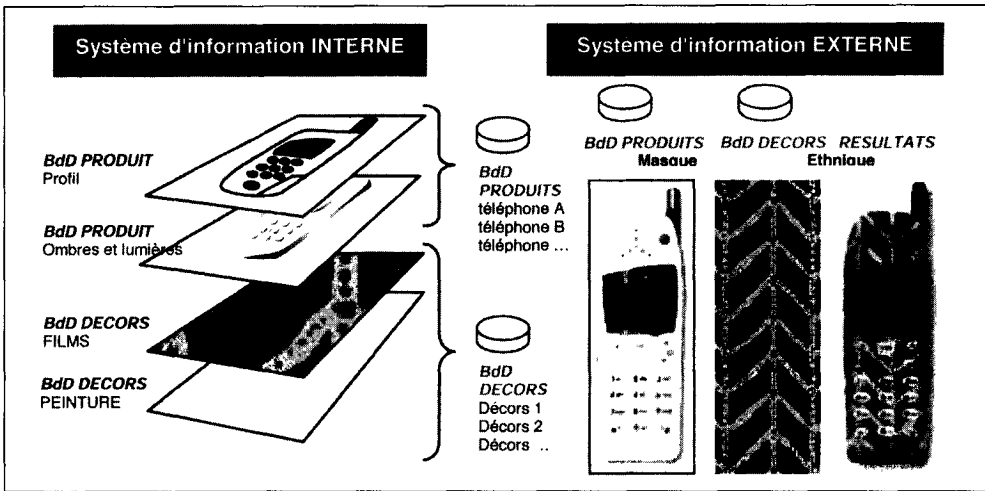


Figure 7 : Moteur complet de virtualisation 3D sur base de données 2D.

décor ethnique est illustré figure 7). Nous avons ainsi mis au point un développement qui offre un compromis entre la capacité limitée des postes client en calcul 3D, la liaison à la base de données décors, l'ergonomie d'utilisation et la rapidité de chargement des images via l'internet. Pour donner l'impression d'une visualisation en 3 dimensions à partir d'une image en 2 dimensions, nous avons exploité la technique du « rough » utilisée en design graphique et en illustration. Le principe consiste, à éclaircir ou à foncer localement une image. Le clair agit en rehausse de l'objet et donne une impression de proximité, le sombre intervient comme une ombre et donne l'impression d'éloignement. La combinaison de ces deux effets permet de créer visuellement un relief pour faire apparaître un volume.

Etape F : Appliquer

Une première application avec des produits Nokia a été portée sur internet. A partir des bases de données,

nous avons élaboré un moteur de rendu spécifique. Il permet aux internautes de visualiser rapidement un grand nombre de produits. Cette interface est développée en java-script, afin de visualiser les différents décors sur le téléphone choisi, simplement en déplaçant la souris sur la liste (figure 8).

La société NEC a ensuite pris contact avec HTD. Après avoir validé la « *supply chain* », nous avons développé le système d'information externe. Le système d'information externe pour l'application NEC est optimisé pour des infrastructures bas débit (modem), alors que celui pour Nokia l'est pour des infrastructures haut débit (ADSL).

Etape G : Analyser

L'ensemble de la chaîne qui couple les systèmes d'information interne et externe des étapes D & E, est présenté dans la figure 9.

Concernant le système d'information externe, le « modèle 3i » a permis d'optimiser le fonctionnement avec des ré-

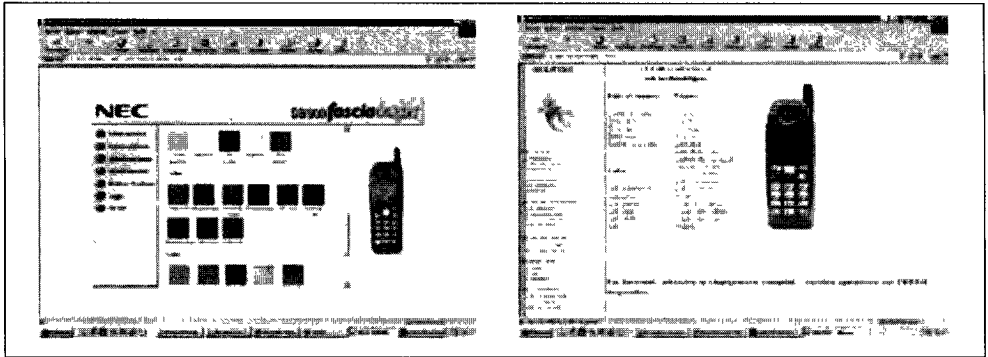


Figure 8 : Système d'information externe, applications Nokia et Nec.

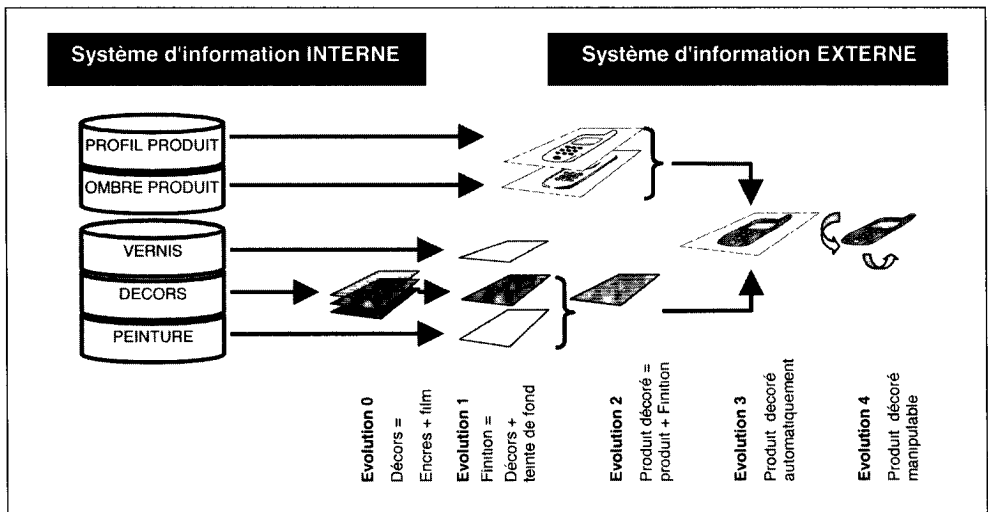


Figure 9 : Evolutions du système d'information global.

seaux bas débit, afin d'atteindre un maximum de clients potentiels sur internet. Des solutions technologiquement envisageables (3D interactif) ont été abandonnées pour mettre en place une virtualisation « 3D » non interactive. Cela répond aux besoins de cette PME :

- en terme d'interopérabilité avec les configurations client (navigateur) ;
- en terme d'infrastructure avec les réseaux disponibles (internet bas débit) ;
- en terme d'information : avec le système d'information interne (bases

de données), avec le système d'information externe (protocoles internet).

Le retour d'expérience et l'analyse des résultats obtenus nous permettent de présenter dans le tableau 2, le système d'information externe initial et les 4 principales évolutions que nous avons pu mettre en œuvre dans celui-ci.

V. DISCUSSION

Les points de discussion sont principalement techniques et cognitifs.

Système d'information externe	Mise en place méthodologique	Avantages	Inconvénients
Etat initial	Présentation décors - Plaquettes métalliques - catalogue papier	Qualité de représentation	Poids, Coût, délai d'actualisation Mises à jour fastidieuse Teinte de fond noir & gris
Evolution 1	Finitions accessibles via Internet Décors + couleur de fond,	Moins cher que catalogue papier avec apport des couleurs réelles de fond Actualisation directe et internationale	Précision des décors et justesse des calibrations couleur des écrans de l'Hôte
Evolution 2	Produits virtuels décorés, pré calculés par calques superposés	Facilité de mise en œuvre Pas d'infrastructure serveur spécifique. Vitesse de visualisation indépendante de la machine cliente	Limité dans les combinaisons aux calculs préalables Difficulté de gestion et de mise à jour
Evolution 3	Produits virtuels décorés, calculés à la demande du client suivant base de données décors et produit	Toutes combinaisons possibles	Limite des capacités de la machine Client si calcul local Infrastructure serveur spécifique, gestion base de données, requêtes PHP
Evolution 4	Produits virtuels décorés manipulables Calculés à la demande du client avec manipulation possible en 3D, interactif	Perception plus approfondie des volumes et du produit dans ses 3 dimensions Interactivité totale	Limite des capacités de la machine Client si calcul local en interactif (rafraîchissement, beaucoup d'images à calculer pour avoir la fluidité)

Tableau 2 : Evolutions du système d'information externe.

La dérive colorimétrique est le premier point d'optimisation. Compte tenu de l'hétérogénéité des plates-formes clients, une même image n'aura pas toujours le même aspect. En effet, par exemple les palettes Macintosh et Windows sont différentes, les couleurs sont indexées différemment et donc restituées différemment selon le matériel du client et non selon le mode de représentation. D'autre part, l'objectif est d'avoir en sortie finale sur le produit, les mêmes teintes que celles visibles à l'écran. La dérive colorimétrique peut être importante entre deux périphériques. En effet, chaque périphérique a son mode de fonctionnement que nous allons résumer en deux modes : le RVB (Rouge Vert Bleu) pour l'affichage et le CMJN (Cyan Magenta Jaune Noir) pour l'impression. Le scanner et l'écran utilisent le codage RVB, tandis que les imprimantes utilisent le codage CMJN. De plus nous ne percevons pas les couleurs de la même façon suivant le périphérique utilisé (Christofol, 1995).

Dans le cas de l'écran la couleur est une émission lumineuse colorée (synthèse additive) tandis que dans le cas du document papier la couleur résulte de la réflexion d'un flux lumineux sur la feuille (synthèse soustractive). Enfin, à chaque transfert de fichier entre deux périphériques ou entre deux logiciels le fichier est re-codé et les informations sur la couleur sont altérées. Il n'existe pas actuellement de tables de conversion CMJN/RVB parfaites, ce qui pose des problèmes lors du passage des couleurs du scanner à l'écran, puis à l'imprimante.

En terme cognitif, nous avons effectué un choix à un instant T eu égard aux besoins réels de cette PME et de ses clients. L'expérimentation que nous venons de décrire utilise une virtualisation « 3D » non interactive, intéressante dans le cadre d'une liaison à une base de données. Par contre, il manque d'une part la troisième dimension afin d'avoir une compréhension globale du produit en 3D et d'autre part le toucher (Chéné, 1994), afin d'éviter la mono dimension-

nalité sensorielle du cana visuel. Rowe (2002) indique que dans la TRM, « *les nouveaux médias sont des médias pauvres, adaptés à des problèmes d'incertitude mais pas à la résolution des problèmes d'ambiguïté* ». L'introduction de RIV tend à permettre l'investigation autour des problèmes *d'ambiguïté*. En effet, elles offrent une très bonne qualité graphique (transparence, effets de matière, granulosité, etc.). De plus, les RIV en 3D interactif permettent la manipulation virtuelle en 3D et intègrent la capacité de rapprochement (zoom) et de simulation du fonctionnement (éléments de cinématique), ainsi que de renseignement (zones d'information textuelle ou sonore). Nous développons ce dernier point en perspectives.

VI. PERSPECTIVES

Il existe des technologies de représentations 3D interactives sur internet. Elles sont soit pré-calculées, soit calculées en local. Suivant le modèle 3i la difficulté des RIV 3D interactives réside principalement dans la taille et dans l'interopérabilité client.

Les représentations interactives pré-calculées sont de type ActiveX par exemple. Cette technologie est également utilisée pour visualiser des pro-

duits photographiés, manipulables en 3D. C'est ce que la société 7è sens (www.7sens.fr) appelle la photo interactive. Elles offrent une très bonne qualité graphique, par contre la taille du fichier est d'autant plus importante que les images sont de bonne qualité, de grande taille et nombreuses.

Les représentations interactives calculées en local partent d'un modèle en 3 dimensions qui sera manipulé à l'aide de la souris et calculé sur le poste client. L'avantage de la légèreté de ces modèles est entaché par le manque d'interopérabilité. Le standard VRML (Langage de Modélisation de Réalité Virtuelle) apparu en 1994, a peu évolué. Les annonces de son successeur le X3D comme nouveau standard n'ont pas trouvé de réalité. Dès lors, la 3D interactive sur internet est un vaste champ de technologies propriétaires. Nous en avons analysé quatorze suivant le modèle 3i (Chéné, 2003a).

Face aux limites observées, nous avons développé une application intégrant des RIV 3D interactives avec une capacité d'évaluation en ligne. Cette première étape fait l'objet d'une communication (Chéné, 2003b). Les RIV 3D interactives sont obtenues en liant le logiciel de modélisation surfacique 3DSMax et l'intégrateur interactif Vir-

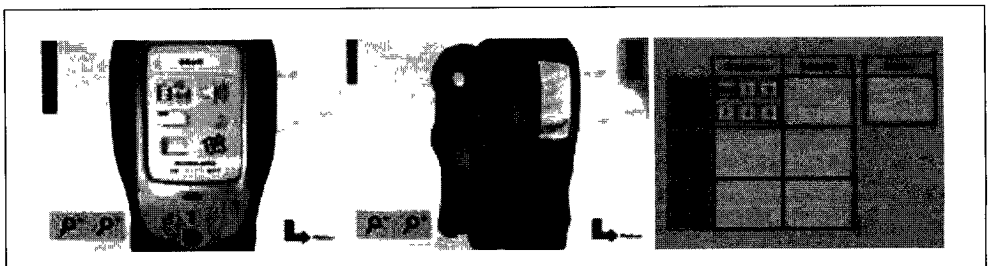


Figure 10 : Evaluation de sur produits virtuels.

tools. Dans cette maquette, trois interfaces sont proposées : une interface générale de présentation, une interface spécifique de manipulation en 3D et une interface de notation pour réaliser l'évaluation. Des tests cognitifs peuvent même être réalisés au niveau de l'interface logiciel. Nous proposons différents menus contextuels avec les applications logiciel et les retours d'information (visuelles et auditives).

VII. CONCLUSION

La méthodologie s'articule autour du processus de conception, de fabrication et de distribution. Dans le processus de conception, nous avons proposé d'intégrer une approche systémique en positionnant le système opérant, le système de décision et le système d'information (interne et externe). Le système opérant de type ingénierie concourante étendue englobe ici le client final. Le système de décision intègre ainsi un processus externe de décision (PED). Enfin, le système d'information est basé sur des représentations intermédiaires virtuelles (RIV) disponibles via internet. Elles s'appuient sur le modèle 3i de caractérisation de ces RIV afin qu'elles soient compatibles avec les TIC.

Notre démarche méthodologique a été expérimentée dans le cadre d'une PME. Nous avons mis en place une démarche de sur-mesure autour d'une fabrication tirée par la demande alors que l'entreprise fonctionnait antérieurement autour d'une fabrication poussée par la demande. En termes de résultats, cela a permis d'obtenir des gains à plusieurs niveaux. En termes de gestion, la mobilisation de trésore-

rie est passée de 60 jours à moins d'un jour, le produit étant vendu avant d'être fabriqué. En termes de marge, les rebuts et les invendus ont été réduits de 25 % (moyenne en distribution classique) à 3 % en vente en ligne. En termes environnemental, la mobilisation d'énergie pour fabriquer puis détruire des produits invendus est supprimée.

Dans une démarche de sur-mesure, nous avons mis en évidence l'importance de la parfaite maîtrise de la « *supply chain* » en respectant les contraintes de coût, de qualité et de délai, mais également de flexibilité. Nous avons obtenu une extrême flexibilité grâce au passage d'une impression grande série à une impression numérique. Ainsi, les délais de fabrication ont été réduits de 6 semaines à 48 heures et les séries de plusieurs centaines de pièces sont devenues unitaires.

Dès lors que la « *supply chain* » était opérationnelle, nous avons mis en place la « *demand chain* ». Elle correspond au système d'information externe à destination du client dans une relation de personnalisation. Il est important de respecter cet ordre, car les délais de réalisation doivent être minimum entre la commande et la réception. Les clients non initiés veulent recevoir immédiatement le produit commandé, estimant que celui-ci existe déjà. En effet, les réalisations virtuelles et en particulier les images de synthèse peuvent être d'une telle qualité que l'on peut difficilement dissocier le virtuel (image) du réel (photographie). Concernant les RIV développées dans ce cadre, elles ne peuvent remplacer le face à face préconisé par Daft et Lengel (1984)

comme le média le plus riche. Par contre, l'intégration des RIV en PME permet de mieux utiliser les ressources humaines disponibles, en les consacrant dès lors aux relations nécessitant une expertise et un échange en face à face.

Vis-à-vis de l'objectif de sur-mesure industriel, les RIV en 3D interactif introduisent des évolutions majeures permettant l'interactivité, la « manipulation » et s'approchant de l'investigation sensorielle effectuée avec un produit réel, tout en permettant une communication via les réseaux numériques. Ainsi, la conception et la créativité trouvent une formidable occasion de nouer un dialogue qui s'enrichit quasi interactivement avec les clients. Ces éléments de manipulation et d'évaluation permettent d'obtenir une réelle co-conception interactive afin d'intégrer le client final dans la conception de produits sur-mesure. En termes d'évolution, il est clair que nous sommes à l'aube de ces développements. Ils sont encore liés à des verrous technologiques au niveau de la fabrication, à des verrous techniques au niveau des outils de virtualisation sur Internet et des verrous sociologiques au niveau des limites humaines. En effet, le client n'est pas un concepteur, il ne sait pas toujours ce qu'il veut mais il sait par contre tout à fait exprimer ce qu'il ne veut pas ou entre plusieurs alternatives ce qu'il préfère.

Notre expérimentation au sein de la PME High Tech Design nous a permis de valider notre proposition méthodologique, intégrant de client dans la chaîne de décision en PME. Celle-ci a été couronnée par la confiance apportée par NEC téléphonie, multinationale

japonaise, à une PME française de 7 personnes basée en province.

BIBLIOGRAPHIE

Chedmail, P., Maille, B., Ramstein, E. (2001), « Etat de l'art sur l'accessibilité en réalité virtuelle, application à l'étude de l'ergonomie », in *Colloque Primeca*, La Plagne, 5 avril 2001.

Chéné, E. (1994), « Recherche d'un outil de communication industriel sur LE TOUCHER », *Design Recherche*, septembre 1994, n° 6, pp. 15-30.

Chéné, E., Samier, H., Richir, S. (2003a), « Processus virtuel de décision dans la chaîne numérique de conception en PME en ingénierie concourante par Internet », *International Journal of Information Sciences for Decision Making*, mai 2003, n° 8, article n° 68, pp. 40-51.

Chéné, E., Richard, P., Christofol, H., Richir, S. (2003b), « *Virtual Reality Application for Product Design Evaluation : Virtual Phone Design*, Virtual Concept 2003, Biarritz.

Christofol, H. (1995), *Modélisation systématique du processus de conception de la coloration d'un produit*, thèse de Doctorat, ENSAM Paris 1995.

Daft, R., Lengel, R., & Trevino, L. (1987), « Message Equivocality, Media Selection and Manager Performance : Implications for Information Systems », *MIS Quarterly*, Vol. 11, n° 3, pp. 355-366.

Deshayes, P. (1996), « The duality environment/teleology in modelling process of conception », in *CESA'96 Multiconference Computational Engineering in Systems Applications*, Lille, France, 1996.

Fuchs, P., Moreau, G., Papin, J.-P. (2001), *Le Traité de la réalité virtuelle*, Les Presses de l'Ecole des Mines de Paris.

Galbraith, J. (1973), *Designing Complex Organizations*, Reading : Addison-Wesley.

Jagou, P. (1993), *Concurrent Engineering – La maîtrise des coûts, des délais et de la qualité*, collection Systèmes d'Informations, Editions Hermès Paris, 1993.

Jeanet, A. (1998), « Les objets intermédiaires dans la conception, éléments pour une sociologie des processus de conception », *Sociologie du travail*, 1998, n° 3, pp. 291-316.

Legardeur, J. (2001), *Méthode et outil pour favoriser l'innovation produit/process*, thèse de Doctorat, INPG, Grenoble 2001.

Le Moigne, J.-L. (1990), *La modélisation des systèmes complexes*, Afcet Système, Editions Dunod, Paris 1990.

Midler, C. (1993), *L'auto qui n'existait pas*, Inter-Editions, Paris, 1996.

Moles, A. (1991), « Pour un néo-fonctionnalisme », *Informel*, Vol. 4, n° 1, Montréal & conférences données à l'Université Technologique de Compiègne le 18 octobre 1991.

Pine, B.J. (1993), *Paradigm Shift : Mass Customization : The New Frontier in Competition*, Harvard Business School Press, Boston, MA., 1993.

Richir, S., Samier, H., Sandoval, V. (2003), *Les cybertechnologies dans les entreprises industrielles*, Les Editions Hermès Sciences, Paris, 286 p.

Richir, S., Samier, H., Taravel, B. (1999), « When engineering design meet Virtual Reality », in proceedings of *International Conference on Engineering Design*, ICED, Munich.

Rifkin, J. (2000), *L'Age de l'accès, la révolution de la nouvelle économie*, Editions La Découverte, 2000.

Rowe, F. (2002), « Communication et coopération à distance », in Rowe F. (ed.), *Faire de la recherche en systèmes d'information*, Paris, Vuibert, 2002, pp. 173-199.

Samier, H., Sandoval, V. (2002), *La veille stratégique sur l'internet*, Les éditions Hermès Science, Paris, 213 p.

Saunders, C. (2000), « Virtual teams : piecing together the puzzle », in *Framing the domain of IT Management*, Zmud R. (ed.), Cincinnati : Pinneflex.

Sophie Lee, C.H., Barua, A. and Whinston, A.B. (2000), « The Complementarity of Mass Customization and Electronic Commerce », *Economics of Innovation and New Technology*, Vol. 9, pp. 81-109.

Sue, N. (1988), « Keynote papers, Basic concepts in Design for Productibility », *Annals of the CIRP*, 1988, Vol. 37121.

Tichkiewitch, S. (1997), « Relecture de l'estampage à la lumière de la mécanique », in *Connaissances et savoir-faire en entreprise*, Editions Hermès, 1997.

Tushman, M., & Nadler, D. (1978), « Information processing as an integrating concept in organizational design », *Academy of Management Review*, Vol. 3, n° 3, pp. 613-624.

Yannou, B. (2001), *Préconception de Produits*. Mémoire d'HDR Ecole centrale Paris, juin 2001.