

VERS L'INTÉGRATION DES CONNAISSANCES EN AMONT DE LA CONCEPTION : DE NOUVELLES PERSPECTIVES¹

Anne GUENAND*, Indira THOUVENIN**, Dominique LENNE**, Stéphane AUBRY***

Résumé. - Cet article explore la question de l'intégration des connaissances issues de l'activité de design très tôt dans le processus de conception de façon à capitaliser et expliciter l'expertise métier du designer dans un environnement virtuel collaboratif. Nous proposons un environnement de conception permettant l'annotation de la maquette virtuelle en cours de conception. Ces annotations sont de nature variées (multimédia) et supportent le transfert des intentions du designer lors de la communication du projet à l'ingénieur. Un autre aspect de cet environnement est de permettre une visualisation et une perception partagées des connaissances autour de la maquette et l'interaction des utilisateurs dans un contexte de représentation intuitif du système ce qui augmente le niveau de collaboration dans la conception.

Mots-clés : conception mécanique, design produit, réalité virtuelle, annotations 3D, annotations centrées utilisateurs

1. Introduction

La définition d'un projet de conception de produit industriel conduit à la définition des fonctions et valeurs de l'objet ou système considéré. Alors que les données objectives quantifiables sont aujourd'hui de mieux en mieux maîtrisées dans la chaîne de développement du produit, les données subjectives, relevant des attentes du client final et de sa nature

¹ Cet article a fait l'objet d'une publication dans les actes du C2EI

* Enseignant-Chercheur à l'Université de Technologie de Compiègne - laboratoire ODIC

** Enseignant-Chercheur à l'Université de Technologie de Compiègne - laboratoire HEUDIASYC

*** Doctorant à l'Université de Technologie de Compiègne - laboratoire HEUDIASYC

fondamentalement biologique et culturelle, font l'objet de recherches nombreuses portant sur leur intégration et leur transmission en amont de la conception.

Comment peut-on aider le designer à définir, argumenter et exprimer les valeurs et qualités projetées dans le produit à des acteurs du développement ou appartenant à d'autres communautés de pratique ? Comment par l'assurance d'une vision de projet partagée, peut-on garantir la continuité du projet dans toutes ses phases de développement ?

Enfin, comment, dans le cadre d'un travail collaboratif, mettant en scène plusieurs acteurs de la conception et du développement, transmettre des connaissances sans en altérer la nature ?

Le présent article propose une méthode et un outil d'intégration des connaissances en amont de la conception de produits, dans un environnement virtuel collaboratif.

2. Capitaliser les intentions du designer

Il n'est plus nouveau d'annoncer qu'à technologie égale, deux produits se distinguent par leur identité et leur capacité à engager l'utilisateur dans une expérience qui fait sens pour lui. Néanmoins, le produit reste une chose complexe et sa conception relève du challenge de la part des équipes de conception. En effet, si de nos jours les savoir-faire de la mise en oeuvre sont de mieux en mieux maîtrisés, les méthodes de conception et de développement sont encore trop souvent cloisonnées et difficilement compatibles d'une communauté de pratique à l'autre. Ceci pose un réel problème dans le contexte pluridisciplinaire croissant où évoluent les équipes de conception.

Lorsque l'on parle d'un objet, quel qu'il soit, il est d'usage d'évoquer ses aspects fonctionnels, formels, structurels ou matériels. Ce sont les aspects immédiats de l'objet, ses dimensions objectives. Depuis peu (relativement à l'histoire du design industriel), on s'intéresse également à l'influence de l'objet sur le comportement de l'homme, aux possibilités d'intégrer en amont de la conception des données subjectives, caractéristiques des attentes des clients et des utilisateurs finaux. Ces valeurs sont basées sur des notions issues du domaine des sciences humaines, elles font référence à l'émotion, la perception et l'expérience.

Un premier travail dans ce sens a abouti à la mise en place de la méthode ADEX© supportant la représentation commune des concepts produits et de leur argumentation dans un contexte de conception en équipe (Guénand *et al.*, 2003).

Néanmoins, les différents acteurs intervenant sur un projet ne disposent pas d'une vision d'ensemble du produit à un temps t , ce qui entraîne généralement de mauvaises interprétations ou des problèmes de compréhension des plans proposés initialement par le designer. Ce genre de problème a pour conséquence, à d'autres niveaux de la chaîne de développement ou de

production de l'objet, l'apparition de modifications dans le produit dans un objectif d'économie de coût de production ou encore de temps de développement. Ceci sans tenir compte de la portée d'une telle décision sur la qualité perçue ou sur la décision d'achat du client final.

Un travail conjoint de deux laboratoires de l'Université de Technologie de Compiègne a permis d'aboutir à la réalisation d'un outil permettant d'inscrire des annotations en temps réel par plusieurs acteurs travaillant sur un même modèle virtuel.

Le présent article expose le développement de ces travaux et propose *MATRICS*© (Aubry *et al.*, 2003), un outil collaboratif qui permet la représentation des dimensions subjectives en conception de produits dans le but d'intégrer les connaissances pour un système de pilotage en amont de la conception.

Par intégration des connaissances, nous entendons l'intégration de savoirs issus d'une communauté de pratique, dans un outil collaboratif dédié à plusieurs acteurs et métiers de la conception.

Dans une première section, nous exposons la méthode *ADEX*© et ses limites, puis les modèles CAO et leurs systèmes d'annotations, enfin les possibilités de l'environnement virtuel pour la collaboration, illustrées par le développement de l'outil *MATRICS*©.

3. La méthode *ADEX*©

Afin d'aider les équipes travaillant dans les situations décrites ci-dessus, un certain nombre de solutions ont été développées dans le domaine de l'intent design. Nous allons ici décrire l'une de ces solutions, *ADEX*© (Guénand, 04), qui a servi de base pour nos réflexions.

ADEX© est une méthode permettant aux designers de spécifier, lors d'un processus de conception orienté utilisateur, les axes forts ayant guidé leur choix de design. Pour cela, le designer aura à sa disposition une grille de conception selon laquelle il exprimera les services rendus par l'objet d'un point de vue centré sur l'utilisateur final. Ces critères sont répartis par catégories tournant autour d'un thème central (ex. : perception de la technique de l'objet). Chaque critère fait alors l'objet d'une fiche (figure 1.) qui contient, en plus de l'intitulé de ce critère, un ensemble de mots-clés qui décrivent le placement de l'objet par rapport à ce critère, ainsi qu'une description éventuelle, et un ensemble d'illustrations servant d'exemple ou de contre exemple pour soutenir l'idée qui a été développée par les mots-clés et la description.



Figure 1. Fiche ADEX©

La méthode ADEX© permet d’envisager le produit à concevoir à travers différentes questions (Guenand, 03) sur la qualité projetée-qualité perçue du produit. Cette méthode se décline à travers 5 fiches thématiques qui structurent les informations, établissent des grilles de lecture et affirment un positionnement ou un parti pris conceptuel. Les limitations constatées lors de l’usage de cet outil proviennent en partie de la nature du support actuellement exclusivement en 2D, et par là même, incompatibles avec les outils d’ingénierie classiques. Nous posons l’hypothèse qu’un travail d’intégration des annotations multi sensorielles (textuelle, visuelle 2D ou 3D, sonore, tactile ou haptique) du designer dans l’environnement de conception de l’ingénieur peut contribuer au développement d’un système de pilotage des phases amont de la conception.

4. Modèle CAO et annotations

Le passage des fiches ADEX© en 2D au modèle CAO peut alors sembler naturel dans le sens où la visualisation d’un produit en trois dimensions et permettant le partage d’information, la communication autour du produit et la conception en équipe serait alors grandement facilitée.

On peut alors imaginer un outil CAO intégrant les connaissances des concepteurs à différents niveaux. Mais les outils existant ne disposent pas de telles fonctionnalités. En effet, on trouve : soit des modeleurs CAO permettant la création de modèles 3D, soit des outils d’annotation non intégrés dans ces modeleurs.

Une tendance vers l’intégration existe cependant, mais elle reste insuffisante, comme le montre la figure 2. Ces annotations sont difficilement exploitables dans l’environnement CAO par le simple fait que l’utilisateur n’a pas accès à leur définition. Tout au plus peut-il ajouter des textes en 2D sur le modèle CAO, sans gérer le point de vue de l’utilisateur (Figure 2).



Figure 2. Annotations dans un logiciel de CAO

Il existe quelques outils commerciaux d'annotation, assez pauvres et ne permettant pas la création, la capitalisation ou le tri des symboles d'annotation (Boujut, 03).

Par ailleurs, la représentation utilisée par les outils de conception et de CAO permet une description géométrique des objets par une arborescence tenant compte de l'historique de la construction. Ces objets sont eux-mêmes représentés à l'aide des représentations B-REP (Boundary Representation ou représentation par les limites de l'objet telles que faces, arêtes, sommets) et CSG (Constructive Solid Geometry, c'est-à-dire décomposition de l'objet en une série de primitives comme la sphère, le cube, le cylindre). Les représentations sont parfois mixtes entre B-REP et CSG, mais on trouve également des représentations par des surfaces NURBS (Non Uniform Rational B-Splines), pour lesquelles des contraintes géométriques sont également nécessaires.

Pour apporter une meilleure cohérence entre acteurs possédant les compétences et connaissances nécessaires à la conception, nous nous sommes intéressés aux travaux existant sur les annotations. Dans ces études, nous avons trouvé une réflexion avancée se basant sur les représentations, d'une part, « superficielles » qui sont riches du point de vue cognitif (visualisation, navigation, perception et partage des points de vue) et « profondes » d'autre part, c'est-à-dire qu'elles possèdent une sémantique computationnelle élevée (Zacklad, 03).

À partir de ces constatations, les auteurs s'orientent davantage vers l'utilisation de viewers c'est-à-dire de traductions intermédiaires des modèles CAO pour la visualisation afin d'ajouter des annotations dans un environnement 2D. Nous avons choisi, par contre, d'exploiter pleinement les possibilités des interfaces de réalité virtuelle afin de permettre aux acteurs d'agir directement dans un environnement 3D, immersif ou non, en construisant un nouveau système d'annotations pour la conception collaborative. Nous décrivons dans la section 5 de cet article cet environnement appelé MATRICS© : Managing Annotation for Training in an Immersive

Collaborative System. Dans un premier temps, notre objectif est de former les étudiants en design et en conception mécanique afin de tester cette nouvelle approche.

5. L'environnement MATRICS©

5.1 Conception collaborative et environnement virtuel

On peut distinguer deux aspects fondamentaux et fortement liés que l'on retrouve dans une majorité de systèmes de réalité virtuelle pour la conception collaborative : l'immersion et l'interactivité. L'aspect « immersion » d'un système de réalité virtuelle consiste non seulement à présenter le monde virtuel par un nombre de canaux qui soit le plus grand possible : images, son, toucher, et même parfois odorat, mais aussi, et surtout, à présenter le monde de la manière la plus plausible et « pertinente » que possible. (Dumas, 98), (Dumas, 99)

Notre approche provient d'une analyse approfondie d'un projet international de formation à la conception mécanique collaborative (Thouvenin, 02) entre une université américaine et une université française, lors de la formation des étudiants dans le domaine de la CAO.

Pour apporter de l'aide aux utilisateurs à la fois dans le domaine de la collaboration et dans celui de la conception mécanique, nous avons analysé plus finement les tâches effectuées en cours de collaboration afin de définir une ontologie pour la formation à la CAO collaborative dans le cadre de ce projet, au moyen d'un agent assistant personnel (Enembreck, 04) pour la capitalisation des connaissances, mais aussi pour l'aide en cours de projet. Il est alors apparu que les principales difficultés provenaient du manque de souplesse des outils (copie d'écrans des modèles CAO au lieu de visualisation partagée à distance par exemple) ou perte des informations et commentaires en cours de conception à cause des procédures trop lourdes pour la capitalisation des connaissances.

À partir de cette analyse et de la constatation de la récurrence des problèmes apparaissant en conception collaborative tant à l'intérieur d'une communauté de pratique (ingénieurs) qu'entre deux communautés de pratique (designers et ingénieurs), nous avons imaginé un concept d'annotations (Aubry, 03) dans un environnement virtuel permettant d'interagir directement avec la maquette virtuelle et d'y intégrer et gérer des connaissances dans les situations suivantes :

- situations de conception d'objets 3D à distance
- collaboration autour de l'objet

L'environnement MATRICS© a été conçu pour faciliter le travail collaboratif à différentes étapes de la conception. Dans le cadre de la collaboration designer-concepteur il permet de :

- formaliser les intentions du designer et son expertise métier, afin de capitaliser les informations qu'il souhaite associer au produit. Nous pensons que ce travail de formalisation permet de diminuer grandement le risque de mauvaise interprétation ou mauvaise compréhension par les équipes travaillant en aval.
- étendre les possibilités d'expression dans cette formalisation en exploitant la visualisation et l'interaction comme de nouveaux moyens d'apporter des éléments tangibles par rapport à des représentations classiques ou en 2D - description à plusieurs niveaux, ou sur différents plans, métaphores pour extraire du modèle des informations subjectives - sans que le support de la communication ne restreigne les possibilités d'expression du designer.
- maintenir un fort couplage entre l'objet et les informations que le designer transmet sur cet objet, permettant d'explorer l'objet avec apparition ou disparition de connaissances selon le point de vue. Ceci encore afin de diminuer le risque de propagation de mauvaises interprétations lors de la communication du projet.
- capitaliser les connaissances de façon automatique ou guidée par les annotations, de façon à proposer un choix fin dans leur exploitation.

5.2 Annotations dans MATRICS©

Pour atteindre ces objectifs, nous avons introduit dans l'environnement MATRICS© un système d'annotations (Figure 3.). Un tel système permet en particulier de compenser les deux limitations que nous avons soulignées précédemment : d'une part les annotations, étant liées à l'objet de plusieurs manières (ancres, point de vue ...), disposent d'un fort niveau de contextualisation, d'autre part, le caractère persistant des annotations en font un support pour la capitalisation des connaissances liées au système.



Figure 3. L'environnement MATRICS©

La notion d'annotation, du fait notamment de son implantation dans le vocabulaire courant, dispose de plusieurs définitions (Azouaou, 03) qui ne sont pas équivalentes entre elles.

Nous nous basons sur une définition issue de la communauté IHM (Baldonado *et al.*, 00) : « une annotation est un commentaire sur un objet tel que le commentateur veut qu'il soit perceptiblement distinguable de l'objet lui-même et le lecteur l'interprète comme perceptiblement distinguable de l'objet lui-même ». Retenons en particulier de cette définition que l'annotation, même si elle est représentée en même temps que le document, doit être interprétée comme distincte de ce dernier, et, lors de sa création être saisie avec l'intention d'être distinguée du document. Pour tenir compte des spécificités de l'annotation 3D, nous proposons la définition plus spécifique suivante : *Une annotation est une marque, contextualisée dans un espace 3D, apposée à une entité de l'espace 3D, mais perceptiblement distinguable de cette entité.*

5.3 Description du système d'annotations

Dans de nombreux systèmes, les annotations correspondent à de simples labels textuels. Dans l'environnement MATRICS© une annotation peut être exprimée en utilisant différents média. Il est en effet souvent utile de compléter le texte en utilisant des images ainsi que des sons, pouvant servir d'exemple ou de référence. On peut alors parler d'annotation multimédia (Figure 4).

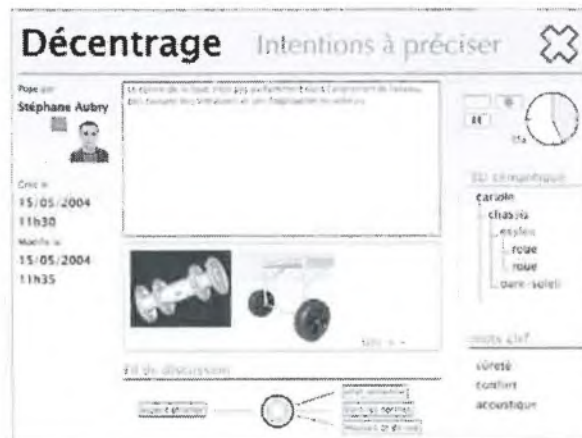


Figure 4. Saisie d'une annotation dans MATRICS©

Cependant, limiter les possibilités d'expression aux moyens cités ci-dessus ne tire pas parti des capacités d'un environnement virtuel. Nous proposons donc la possibilité d'ajouter à l'objet 3D des formes 3D, telles que des courbes, des surfaces, ou encore des volumes. Il est ainsi possible de mettre en valeur certaines courbes de l'objet annoté, comme le montre la figure 5.



Figure 5 : Exemple d'utilisation de courbes 3D pour annoter un objet 3D.

Nous envisageons aussi d'offrir la possibilité d'ajouter à l'annotation des informations de type retour haptique, c'est-à-dire des informations qui peuvent être soit tactiles, soit de type « retour d'effort » permettant à l'utilisateur de comprendre comment l'objet se comporte au toucher.

5.4 Informations de contexte

À une annotation sont associées des informations liées au contexte dans lequel l'utilisateur a annoté l'objet. Ces informations correspondent d'une part aux méta-données utilisées dans les systèmes d'annotations classiques (historique de l'annotation, informations sur l'auteur, machine utilisée pour la saisie ...), et d'autre part à des éléments spécifiques aux environnements 3D, à savoir l'ancre et le point de vue de l'annotation. Ce sont les informations qui lient l'annotation au monde 3D et qui par conséquent lui donnent son statut d'annotation 3D.

L'ancre de l'annotation est définie comme un lien entre l'annotation et une entité de l'espace 3D. Cette entité peut être soit un point de l'espace, défini par ses coordonnées $[x, y, z]$, soit un nœud du graphe de scène. Le graphe de scène correspond à l'ensemble des objets 3D hiérarchisés par des relations de regroupement, pour former des objets de plus en plus complexes. Ainsi, un nœud de ce graphe correspond à un objet ou une partie d'objet du monde 3D. L'ancre de l'annotation, pointant sur cet objet 3D, nous donne donc le sujet de l'annotation.

La prise en compte du point de vue est également une composante essentielle de la compréhension de l'annotation. Ce point de vue est défini par la position de la caméra, ainsi que par le point de l'espace qui est regardé.

5.5 Connaissances associées

Les connaissances associées à l'annotation représentent des données qui sont structurées de manière à pouvoir être exploitées informatiquement. Nous pouvons classer ces connaissances

en trois catégories distinctes : les intentions d'annotation, les informations sur la nature de l'objet représenté et les connaissances métier.

Les intentions d'annotations définissent le rôle de l'annotation sur le modèle. Par exemple, c'est grâce à l'intention de l'annotation que l'on sait si une annotation a servi à mettre en avant, ou donner des précisions sur la partie de l'objet annotée. Nous avons organisé les intentions d'annotations sous la forme d'une taxonomie, créant des familles d'intentions. Les annotations correspondant à une même intention sont représentées par un même logogramme dans le monde virtuel.

Les différentes composantes de l'objet annoté, organisées sous la forme d'un graphe de scène, peuvent être liées à un système de connaissances organisant les différentes classes d'objets. On dispose ainsi, en plus de ses informations géométriques, d'informations liées à la nature de l'objet représenté (par exemple, sur un véhicule, une roue sera liée à un concept représentant la notion de roue).

Enfin, les auteurs de l'annotation pourront lier cette dernière à un système de connaissances (ensemble de concepts structurés les uns par rapport aux autres), spécifiant les concepts manipulés dans l'annotation. Ces connaissances sont en fait des méta données correspondant au contenu de l'annotation et susceptibles d'être interprétées par une machine. Ces connaissances sont liées la plupart du temps à la spécialité de l'auteur de l'annotation, et dégagent un point de vue métier, nous appelons donc ces connaissances des connaissances métier liées à l'annotation.

6. Expérimentation

Afin de valider nos hypothèses, nous mettons en place une expérimentation basée sur une situation de formation au design et à la conception mécanique. Les étudiants joueront tantôt le rôle de designer, tantôt celui de concepteur, et nous comparerons des situations dans lesquelles ils pourront utiliser soit la méthode ADEX© seule, soit la méthode ADEX© avec l'aide des annotations et de la contextualisation apportées par l'environnement MATRICS©.

Nous cherchons à évaluer non seulement l'utilisabilité de cet environnement mais également son utilité, c'est-à-dire principalement son apport dans la prise en compte des intentions initiales du designer.

Nous basons ces expériences sur un ensemble d'actions et les évaluons par un ensemble de critères reflétant les différents aspects de la collaboration et du projet sur son ensemble. Ces critères sont :

- la durée totale du projet (l'intervalle de temps écoulé entre le début et la fin du projet), et d'autre part le temps humain nécessaire à la réalisation du projet.
- la fidélité par rapport aux intentions initiales du designer : ici, plus que le respect à la lettre des directives du designer, l'essentiel est d'en suivre l'esprit (partage des connaissances autour de l'objet et conscience mutuelle des intentions et réactions).
- la mesurabilité des contributions désigne la quantité d'indices disponibles dans les traces du projet (délivrances, notes, traces informatiques ...) permettant de mettre en avant la contribution individuelle de chaque membre (ou groupes de membres) du projet.
- la quantité de données exploitables, et le degré d'exploitabilité de ces données :
- le coût : il se calcule non seulement d'un point de vue des ressources utilisées, mais aussi, d'un point de vue de l'investissement humain nécessaire. Cet aspect est donc fortement lié aux possibilités de gain de temps.
- l'apprentissage en conception, ce qui implique de se donner les moyens de mesurer la contribution pédagogique de chacune des solutions.

7. Conclusion et perspectives

Ce travail se situe dans une approche globale par laquelle nous souhaitons relier l'inscription de connaissances dans un monde en 3D à la représentation et l'exploitation de ces connaissances en 2D. Les connaissances sont, en effet, plus traditionnellement représentées dans un mode 2D figé alors que les environnements créant un espace virtuel permettent le geste sur l'objet. Notre but est de permettre de capitaliser les connaissances dans la chaîne de conception collaborative en reliant ces deux mondes et de faciliter le partage des connaissances par différentes communautés de pratiques intervenant dans le processus de conception. Nous pensons ainsi pouvoir faciliter la transmission, l'évaluation et le partage des connaissances entre les différents acteurs de la chaîne de conception au moyen d'interactions liant le geste et la pensée.

8. Bibliographie

- Aubry S., Thouvenin I., Lenne D., 2003, A Virtual Training Studio for Collaborative Mechanical Design. In *Virtual Concept 2003*, Biarritz
- Azouaou F., Desmoulins C., Mille D., 2003, Formalismes pour une mémoire à base d'annotations : articuler sémantique implicite et explicite, EIAH 2003 pp. 43-54, Strasbourg

- Baldonado M., Cousins S., Gwizdka J., Paepcke A., 2000, Notable: At the Intersection of Annotations and Handhelp Technologies, Proceedings of HUC, Bristol, LNCS 1927, Springer Verlag, Berlin
- Boujut J.F., 2003, User-defined annotations: artefact for co-ordination and shared understanding in design teams. In *Journal of Engineering Design*, Vol. 14, N° 4, December 2003, pp 409-419
- Dumas C., Degrande S., Saugis G., Chaillou C., Viaud M.L., 1998, A 3-D Interface for Cooperative Work, Proceedings of CVE'98 pp. 100-113 (Collaborative Virtual Environments 1998), University of Manchester
- Dumas C., Degrande S., Saugis G., Chaillou C., Plénacoste P., Viaud M.L., 1999, SpIn : a 3-D Interface for Cooperative Work, *Virtual Reality Society Journal*, Springer-Verlag London Ltd, 4, 15-25.
- Enembreck F., Thouvenin I., Abel M.H., Barthes J.P., 2004, An Ontology-Based Multi-Agent Environment to Improve Collaborative Design, In *Coop'04*, Giens
- Guénand A., Capell F., 2003, A reference system of Semantic Characterisation of products, 6th ADC Tsukuba, Japan.
- Guénand A., Dandault F., 2004, ADEX©: a tool for a common representation of design concepts and design argumentation in a cross-discipline argumentation, International Engineering and Product Design Education Conference, Delft
- Thouvenin I., Abel M.H., Ramond B., Qamiyah A., 2002, Environment improvements for a better cooperation in international collaborative mechanical design. In *Journal of integrated design & process science*, 7(2):131-142
- Zacklad M., Lewkowicz M., Boujut J.F., Darses F., 2003, Formes et gestion des annotations numériques collectives en ingénierie collaborative, actes des journées Ingénierie des Connaissances, Laval