
Des interacteurs pour l'assemblage mécanique en CAO

Jérémy Legardeur ¹, Ludovic Garreau ^{1,2}, Nadine Couture ¹

⁽¹⁾ Laboratoire LIPSI, ESTIA Technopôle Izarbel 64210 Bidart - France

⁽²⁾ Laboratoire LaBRI, Université Bordeaux I 33210 Talence - France

Tel : +33.5.59.43.84.00, Fax : +33.5.59.43.84.01, e-mail : j.legardeur@estia.fr

RESUME. Dans cet article, nous allons nous intéresser essentiellement aux différentes possibilités offertes par une nouvelle interface homme machine dédiée au domaine de la conception et de la fabrication assistées par ordinateur (CFAO). Plus particulièrement, des nouveaux périphériques regroupés sous le vocable « d'interfaces tangibles » sont ici proposés afin de permettre l'anticipation des contraintes d'assemblage du produit dès la phase de conception et notamment lors de la phase de manipulation des modèles géométriques CAO. Dans cette optique, nous avons défini une typologie d'interfaces tangibles que nous appelons « interacteurs » en nous basant sur certains des concepts proposés dans les méthodes « Design For Assembly » ou « DFA ». Nous montrerons alors comment la manipulation de ces objets amène le concepteur à rationaliser sa propre création en « matérialisant » les contraintes physiques de l'activité d'assemblage du futur produit lors de la phase virtuelle de conception sur ordinateur. Nous affirmons que la démarche cognitive encouragée par la manipulation des interacteurs permet de favoriser une réflexion du concepteur sur l'aptitude à l'assemblage du produit proposé.

ABSTRACT. In this paper we propose a new kind of tangible interface based on the handling of physical objects that we call "interactors". In our application field concerning the Computer Aided Design (CAD) domain we show that our interactors leads to take into account assembly constraints from the beginning of the design phase and especially during the phase of CAD model manipulation. In that goal, we define a typology of interactors based on concepts proposed in "Design For Assembly" (DFA) methods. We propose to implement principles suggested by these methods through the use of interactors during the assembly of the CAD parts. So, we will show how the use of our interactors leads the designer to rationalize his CAD model. The interactors enable to have a physical perception of the assembly constraints during the "virtual" phase of design on computer. We affirm that the handling of interactors can produce two kind of result. The first is to give matter for reflection on the parts assembly operations. The second can lead to the proposition of different assembly solutions for the mechanical system studied.

MOTS-CLÉS : Interaction Homme-Machine, Interface tangible, Interacteur, Design For Assembly, Assemblage en CAO.

KEYWORDS: Computer Human Interaction, Tangible Interface, Interactor, Design For Assembly, CAD model assembly

1. Contexte et problématique

Depuis les années 1960, de nombreuses recherches portent sur les étapes de la fabrication afin d'optimiser la conception et le traditionnel triptyque coût, qualité et délais d'un produit (Tichkiewitch, 1994). C'est ainsi que sont apparus, entre autres, les services méthode chargés de faciliter les échanges entre le bureau d'études et la fabrication. Mais le réel besoin se situe au niveau de la phase de conception afin d'anticiper au plus tôt l'ensemble des contraintes du produit. Ainsi, au début des années 1980, rassemblés sous le terme générique de "Design for X", des méthodes et des outils sont apparues afin de prendre en compte les différents aspects du produit (fabrication, recyclage, maintenance, qualité, ...) dès la phase de conception. Parmi ces travaux, les méthodes appelées « Design for Assembly » ou « DFA » (Boothroyd *et al.*, 1993) ont vu le jour afin d'aider les concepteurs dans leur analyse du produit en cours de développement à l'aide de critères d'assemblage. Ces méthodes font suite à plusieurs tentatives de formalisation dans différents guides d'assemblage, des contraintes et des règles concernant cette activité.

On peut remarquer que le développement des méthodes dédiées à la rationalisation de l'activité d'assemblage est relativement récent par rapport aux autres activités de la fabrication tels que l'usinage, le forgeage, le moulage dont les premiers travaux sont bien plus anciens. Ce point peut s'expliquer par le paradoxe suivant : tout d'abord, on pense souvent que l'être humain est relativement familier avec l'assemblage sans avoir une formation spécifique (certains jouets éducatifs étant même basés sur cette activité). Donc, pourquoi essayer d'optimiser l'assemblage alors que l'homme semble s'adapter très vite à cette activité ? Par ailleurs, on pense que les « experts » en assemblage procèdent de manière instinctive et qu'on ne peut pas formuler les règles métiers qui sont mobilisées dans l'action. L'activité d'assemblage est donc difficilement formalisable à cause de la diversité et de la complexité des opérations de montage et du caractère tacite des connaissances mobilisées. Pourtant, cette activité est une des étapes importantes de la fabrication. Elle représente 30 à 40% du coût de fabrication d'un produit manufacturé et environ 30% des investissements en moyens de production pour les entreprises (Schepacz, 1991).

De plus, des études et des exemples de différents cas industriels (Munro, 1995) montrent que le concepteur dans son environnement du bureau d'études, ne peut pas toujours rationaliser sa propre création. Nous appuyons ce propos en constatant que les environnements proposés par les logiciels traditionnels de CAO ne permettent pas vraiment une véritable immersion du concepteur dans le contexte et les contraintes d'une opération d'assemblage. En effet, le modèle géométrique d'un produit, composé de plusieurs pièces, que l'on peut visualiser sur un écran, peut être aisément manipulé et assemblé de manière virtuelle par l'utilisation de la souris et des différentes fonctionnalités du logiciel souvent présentées sous forme d'icônes. Ainsi, l'assemblage sous CAO est relativement « simple » dans sa mise en œuvre : les opérations traditionnelles permettant de réaliser des rotations, des translations,

des mises en positions par coaxialité, par axes et plans de référence, etc. (un exemple sera présenté par la suite dans cet article). Par contre, ces fonctionnalités proposées par les logiciels ne tiennent pas vraiment compte de la difficulté de la mise en œuvre réelle des opérations de montage associées à chaque pièce. Les contraintes réelles (comme par exemple, les difficultés de mise en position relative de deux pièces avant fixation ou encore les difficultés d'insertion d'une pièce par rapport aux autres liés aux problèmes de préhension, d'inaccessibilité ou de collisions des pièces, etc.) sont occultées du fait même des fonctionnalités des logiciels de CAO existants.

Ainsi, l'offre actuelle des logiciels et des périphériques associés (souris, track ball, etc.) ne permet pas d'assister les concepteurs dans la prise en compte de contraintes qui sont plus ou moins subjectives concernant les difficultés d'assemblage de certaines pièces. De ce fait, cette situation conduit à des propositions de produits qui sont parfois très coûteuses en terme d'assemblage, sources d'incidents sur les lignes d'assemblages, de pertes de temps, etc. Pourtant, c'est précisément lors de la phase de conception que l'on peut obtenir de réels bénéfices sur le produit car 80% des coûts sont engagés par les décisions et les choix retenus lors de cette phase stratégique.

Nous touchons ici au cœur de nos préoccupations et nous allons voir dans la partie suivante, comment certaines méthodes désignées par le terme DFA peuvent apporter une première réponse au besoin que nous venons de présenter. Par la suite, nous montrerons comment nos propositions d'interacteurs peuvent alors relayer et instrumenter ces méthodes DFA dans un processus de conception.

2. Les méthodes Design For Assembly (DFA)

Dans ce paragraphe, nous proposons de présenter succinctement les méthodes « Design For Assembly » ou DFA. Pour une présentation plus complète de ces méthodes, le lecteur pourra se référer à d'autres travaux (Legardeur, 1998), (Redford *et al*, 1994).

Le but principal des méthodes DFA est d'identifier des critères d'assemblage et de permettre leur anticipation dès la phase de conception afin d'engager des actions préventives au plus tôt. Ces méthodes souvent proposées sous forme de logiciel, permettent de donner un coefficient d'aptitude à l'assemblage manuel d'un produit en se basant sur l'évaluation d'opérations de base qui concerne le montage de chaque pièce qui sont la préhension, la manipulation et l'insertion de la pièce.

Pour cela, il y a 2 facteurs de base à quantifier qui sont la quantité d'effort requis pour l'assemblage et l'efficacité de ces efforts mis en jeu. Afin de permettre une telle évaluation, plusieurs données concernant le produit en cours de conception doivent être fournies en plusieurs étapes par l'utilisateur.

1^{ère} Etape. Liste des composantes (pièces, sous assemblage, etc.) du produit.

2^{ème} Etape. Description des opération(s) d'assemblage précisant le type de fixation associée à chaque pièce (clipsage, soudage, vissage...) et les opérations de montage particulières (graissage, nettoyage, etc.)

3^{ème} Etape. Contrôle de la validité de l'existence de chaque pièce. Cette étape permet de vérifier que chaque pièce est indispensable pour le produit en interrogeant le concepteur sur les raisons d'utiliser une pièce nouvelle et favoriser une réflexion de ce dernier sur une suppression éventuelle de certains éléments. Plusieurs principes sont alors présentés pour réduire notamment le nombre d'éléments de fixation.

4^{ème} Etape. Description de la forme générale. Cette étape permet de définir l'enveloppe générale de la pièce par le choix de 6 formes de base : disque, cylindre court, cylindre long, plaque, bloc, poutre.

5^{ème} Etape. Définition des axes de symétrie de chaque pièce.

6^{ème} Etape. Définition du niveau de difficulté de préhension et de manipulation, et du niveau de difficulté d'insertion des pièces. L'utilisateur est amené à faire une critique sur les difficultés liées aux opérations de préhension et de manipulation de chaque pièce. Pour cela, il peut attribuer des caractéristiques à chaque pièce parmi les propositions disponibles (pièces qui s'entremêlent, flexible, collante, fragile, glissante, coupante ou dangereuse, etc.) Un travail identique est nécessaire pour estimer la difficulté d'insertion. Les possibilités de réponses sont (visibilité réduite, accès difficile, positionnement délicat, résistance à l'insertion, maintien en position, etc.)

7^{ème} Etape. Distances entre l'opérateur et les pièces ou outils lors du montage. Cette dernière étape permet de spécifier la distance qu'il y a entre le monteur et le stock de pièces (ou un outil) sur le lieu du montage.

Nous pouvons voir que la méthode DFA permet d'anticiper la phase d'assemblage en proposant un certain nombre de critères d'évaluation pour quantifier des difficultés qui sont parfois subjectives (insertion d'une pièce, maintien d'une pièce, mise en position, etc.) et donc souvent occultés par le concepteur. La méthode DFA permet d'identifier des contraintes réelles et physiques liées aux opérations même d'assemblage dès la phase de conception.

Nous proposons d'instrumenter une partie des critères et concepts proposés par ces méthodes à travers l'utilisation d'une interface tangible basée sur la manipulation d'interacteurs que nous avons spécifiés pour répondre aux besoins de l'assemblage.

Dans le prochain paragraphe, nous proposons de dresser un état de l'art des systèmes existants puis de présenter notre proposition d'interface tangible dédiée à l'assemblage en CAO.

3. Les interfaces tangibles

L'utilisation d'outils basés sur la visualisation d'objet 3D restreint la réflexion sur les difficultés d'assemblage, ceux-ci devenant trop assistés produisent des résultats trop « virtuels ». Au delà du concept cognitif, la communauté scientifique s'accorde à dire que les périphériques d'entrées classiques, tels que souris et claviers, sont clairement limités et qu'il faut créer de nouveaux périphériques, en particulier lorsque l'on visualise des scènes tridimensionnelles. Historiquement, les premiers systèmes d'interaction entre l'homme et les ordinateurs se situent au début des années 1960. Un des premiers fut le Sketchpad (Sutherland, 1963) qui avait pour but de permettre à l'utilisateur d'interagir de manière directe avec l'interface logicielle à l'aide d'un stylo optique. Ce système, tout comme les systèmes actuels « souris et clavier » sont clairement limités par l'interface de visualisation, l'écran, et par un espace d'interaction en deux dimensions. Les périphériques classiques ont évolué logiquement vers des systèmes de souris et joystick 3D qui peinent à s'imposer car leurs utilisations créent un écart cognitif non négligeable entre l'action effectuée sur la souris par l'utilisateur et le rendu de l'action dans la scène numérique tridimensionnelle. Pour pallier à ces inconvénients, deux courants ont émergé : le travail sur la visualisation (casque, écran panoramique, workbench) pour tendre vers la « réalité mélangée » (Milgram, 1994) et les interfaces tangibles (Aish, 1979) cités dans (Cho et al., 2002).

Tout comme (Fuchs et al., 2001), nous pensons que les systèmes orientés sur la visualisation, souvent regroupés par le terme de « Réalité Virtuelle », nécessitent des interfaces haptiques complexes dans leur réalisation pour une interaction de qualité avec le modèle numérique.

Les interfaces tangibles, du latin tangibilis : toucher, cherchent à réaliser des interfaces intuitives dont la finalité est de coupler le réel et le numérique dans le but de simplifier l'interaction. Pour cela, elle repose sur l'utilisation d'objets réels qui permettent une représentation de la donnée et un contrôle physique de l'information numérique (Ullmer *et al.*, 2000). De ce fait, en rejoignant l'idée développée dans (Ullmer *et al.*, 2000), nous pensons que les interfaces tangibles peuvent être un plus dans l'assemblage et la visualisation de plusieurs objets virtuels. Avec les objets réels, les manipulations sont simples à réaliser mais amènent quand même à identifier les difficultés d'assemblage concernant les questions de symétrie, d'occlusions, et de mise en position des pièces (cf. paragraphe 5). Nous pensons que la manipulation d'objets physiques permet de ramener la phase d'assemblage du produit dans le monde réel et conduit le concepteur à se poser des questions de manière « naturelle » en réalisant les gestes liés au montage. De plus, il est maintenant admis (Ware *et al.*, 1999), (Kiyokawa *et al.*, 2000) que l'utilisation d'objets réels pour les déplacements et le contrôle des objets virtuels est plus performant que les systèmes classiques (Réalité Virtuelle, Souris 3D).

4. Proposition d'une interface tangible pour l'assemblage en CAO : la plateforme ESKUA

4.1 Existant et restriction

Une interface tangible est composée principalement de deux parties : la partie tangible (ce qui permet l'interaction) et la visualisation (le contrôle de la manipulation). Ullmer et Ishii utilisent le terme « d'artefact » pour désigner les objets physiques de leurs interfaces tangibles (Ullmer *et al.*, 1997). Les artefacts sont à la fois un périphérique d'entrée et de sortie. La manipulation des artefacts modifie les objets virtuels (périphérique d'entrée) mais la seule vue des artefacts, contrairement à une souris 3D, fournissent des informations à l'utilisateur (position, orientation, etc.) sur les objets virtuels (périphérique de sortie). Nous utiliserons le terme « interacteur » pour définir nos artefacts car ces derniers (objet tangible) peuvent être perçus comme des acteurs de l'interaction.

Il existe des interfaces tangibles de tous types. Les exemples les plus proches de nos travaux sont les « Active Cube » (Kitamura *et al.*, 2001), le système développé au Laboratoire MERL (Anderson *et al.*, 2000), et le modèle de Segal (Frazer, 1982), (Sharlin *et al.*, 2001). Toutes ces applications permettent d'assembler des interacteurs face à face par connections électroniques et mis à part l'Active Cube, elles ne fonctionnent pas en temps réel. L'assemblage des interacteurs avec des connecteurs ne nous semble pas pertinent, car il induit trop de restriction. En effet, l'utilisateur ne peut assembler deux interacteurs que face à face (pas de mise en position, de fixation et d'orientation). Donc toutes ces interfaces tangibles ne sont pas conçues et orientées pour la manipulation et l'assemblage.

4.2 Proposition de la plateforme ESKUA

La plateforme ESKUA que nous proposons sera constituée d'interacteurs, d'un système de capture vidéo et d'un plateau suspendu. Cette plateforme permettra au concepteur de réaliser l'assemblage des pièces CAO d'un produit. Notre but est de proposer au concepteur un environnement de travail qui lui permet d'être confronté à des contraintes d'assemblage qui sont occultées actuellement par les fonctionnalités des logiciels de CAO existants. Par exemple, les difficultés de mise en position relative de deux pièces avant fixation ou encore les difficultés d'insertion d'une pièce par rapport aux autres tel que l'inaccessibilité ou les collisions seront potentiellement identifiables par le concepteur lors de ses manipulations.

Chaque interacteur est associé à un ou plusieurs objets virtuels (pièces ou ensemble de pièces CAO). Nos interacteurs peuvent être définis comme « des interacteurs figuratifs » dans le sens où ces derniers sont de formes primitives (cylindre, parallélépipèdes, plaque, etc.) et ont pour but de symboliser au yeux de l'utilisateur des objets virtuels plus complexes (figure 1).

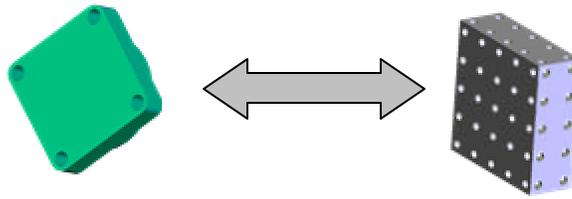


Figure 1 : *Une association pièce- interacteur de type plaque*

Les actions qu'exécutera l'utilisateur sur les interacteurs (déplacement, assemblage, rotation, etc.) seront reproduites en 3D sur l'écran de visualisation. La capture de la position et de l'orientation des interacteurs dans l'assemblage est basée sur un système de capture vidéo. Son faible coût et ses possibilités d'évolution (nombre de caméras, formes des interacteurs, identification des couleurs) nous semblent des atouts très intéressants.

Pour rapprocher l'utilisateur d'ESKUA de l'activité réelle du monteur, nous proposons des systèmes de fixation entre interacteurs qui soient représentatifs des différentes solutions techniques existantes. Pour cela, nous proposons (figure 2) des interacteurs de différentes tailles de type vis, écrou, goujon, anneau élastique, etc.



Figure 2 : *Exemple d'interacteurs de fixation de type vis, écrou, goujon, goupille*

Les interacteurs symbolisant les pièces sont percés en plusieurs endroits (figure 3) afin de permettre leur assemblage par les éléments de fixation précédents.

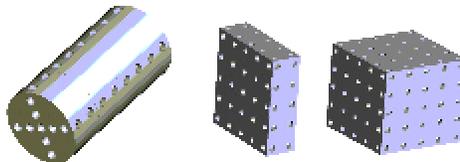


Figure 3 : *Exemples d'interacteur de type cylindre long, plaque et cube*

Grâce à la plateforme, le concepteur peut réaliser son assemblage en attribuant un type d'interacteur à une ou plusieurs pièces CAO, et en manipulant ces objets physiques pour réaliser le montage du produit. De ce fait, l'utilisateur est alors confronté aux contraintes réelles des opérations d'assemblages comme par exemple

les difficultés de mise en position relative des pièces, le maintien de manière conjointe de certains éléments.

Il est possible de compléter certains interacteurs par des éléments de type : glissière, centrage, etc., que nous proposons par l'intermédiaire de « greffes ». Nous utilisons ce terme car il s'agit de permettre à l'utilisateur d'ajouter à un interacteur, une surface munie d'entité de centrage ou de glissière (figure 4).

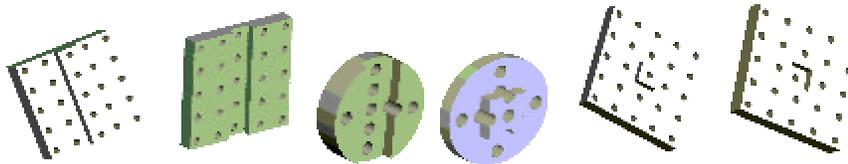


Figure 4. Exemples de « greffes » utilisées sur ESKUA de type glissière et centrage

L'ajout de « greffes » permet de limiter le nombre d'interacteurs et d'offrir plusieurs solutions pour l'assemblage. L'étude des méthodes DFA nous a permis également de restreindre les interacteurs à deux formes : les parallélépipèdes et les cylindres. Par ailleurs, certaines pièces complexes peuvent être représentées par plusieurs interacteurs assemblés entre eux. Pour affiner la perception de l'utilisateur vis à vis des interacteurs, nous avons créé trois tailles pour chaque famille : petite, moyenne, grande. Le but de cette échelle est de permettre à l'utilisateur d'avoir un repère visuelle (reposant sur la forme et la couleur) accru en ajoutant le volume.

5. Exemple d'application : assemblage des pièces d'un vérin hydraulique

Afin d'illustrer les concepts proposés par l'utilisation des interacteurs, nous proposons d'étudier l'assemblage d'une pièce de type chape de fixation sur un vérin hydraulique (figure 5).

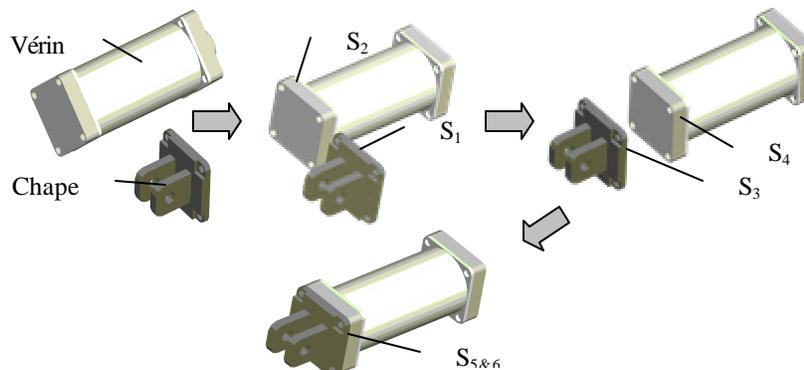


Figure 5. Assemblage de la chape sur un vérin hydraulique

5.1 Démarche d'assemblage du vérin avec un logiciel de CAO utilisant le clavier et la souris

Pour assembler la chape sur le vérin, le concepteur dans un environnement CAO pourra suivre la démarche décrite ci-dessous :

1. Sélection avec la souris de la surface S_1 de la pièce chape
Sélection avec la souris de la surface S_2 du vérin
Sélection avec la souris de l'action « coplanaire »
2. Sélection avec la souris de la surface S_3 de la pièce chape
Sélection avec la souris de la surface S_4 du vérin
Sélection avec la souris de l'action « coplanaire »
3. Sélection avec la souris de la surface S_5 de la pièce chape
Sélection avec la souris de la surface S_6 du vérin
Sélection avec la souris de l'action « joindre » ou « coller »
4. Sélection des 4 vis
Mise en position par coaxialité entre vis et perçage
Insertion des vis par sélection des surfaces et action « jointe » ou « collées »

En 4 étapes, le concepteur aura réalisé son assemblage sans aucune difficulté. Dans ce cas, nous sommes très loin de la réalité car il n'y a pas de réflexion sur les difficultés opératoires de la mise en position et de la fixation des deux pièces.

5.2 Démarche d'assemblage du vérin par des interacteurs intégrés à un logiciel de CAO

En utilisant les interacteurs, l'assemblage pourra être réalisé de la manière suivante :

1. Saisie avec une main d'un interacteur (noté I_1) de forme parallélépipédique
Association de I_1 à la pièce chape
Pose de I_1 sur la plateforme
2. Saisie avec une main d'un autre interacteur (notée I_2) de forme parallélépipédique
Association de I_2 au vérin
3. Saisie de I_1 main droite et de I_2 main gauche
Rapprochement de I_1 et de I_2

Mise en position de I_1 par rapport à I_2
Maintient des interacteurs, I_1 et I_2 , en position avec une main

4. Insertion des vis avec l'autre main dans les perçages.

Après avoir réalisé cette manipulation, le concepteur peut alors prendre conscience des difficultés d'assemblage (mise en position et maintien des pièces) liées au contact de type plan/plan entre la chape et le vérin. De ce fait, il peut alors engager une réflexion et modifier le principe d'assemblage pour faciliter le montage de la chape. Par exemple, une première alternative peut consister à choisir des éléments de fixation de type goupille pour remplacer deux vis afin de faciliter la mise en position de la chape avant la fixation par vis (figure 6 gauche). Egalement, il peut décider de modifier la conception des pièces et proposer la réalisation par fraisage d'une mortaise sur la chape (figure 6 droite) et d'un tenon sur la pièce du vérin pour faciliter le montage.

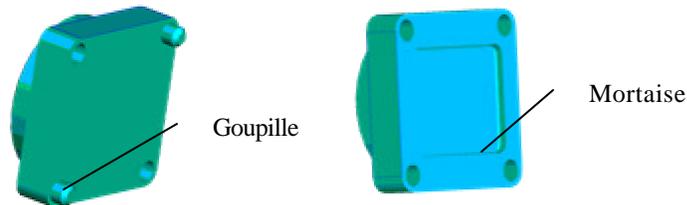


Figure 6 : Alternatives de conception pour favoriser l'assemblage de la chape

Dans ces deux cas, le concepteur pourra alors utiliser les interacteurs de fixation (goupille) ou les greffes correspondantes (centrage) aux interacteurs afin de valider les nouveaux principes d'assemblage proposés.

6. Conclusion

A travers ces travaux, nous proposons une nouvelle interface tangible intégrable dans les logiciels CAO du marché qui ne remplace pas la souris et le clavier mais les complète pour certaines activités du concepteur et notamment pour la phase d'assemblage des pièces CAO. Nos propositions d'interacteurs offrent au concepteur la possibilité de réaliser une simulation du montage en lui permettant d'identifier les difficultés dans un premier temps, et de modifier la conception des pièces dans le but de simplifier le montage. Nous pensons que ce type d'interface peut favoriser chez le concepteur une prise de décision plus respectueuse des contraintes de montage en production lors des choix technologiques qu'il est amené à faire en phase de conception. Par contre, il faut souligner que les nouvelles solutions pour simplifier l'assemblage doivent alors être pensées dans une logique de

conception intégrée où chaque métier doit alors apporter son point de vue et faire valoir ses propres critères sur les évolutions proposées.

7. Bibliographie

- Aish R., « 3D Input for CAAD Systems », *Computer-Aided Design*, 11 (2): 66-70, 1979
- Anderson D., Frankel J.L., Marks J.W., Agarwala A., Beardsley P.A., Hodgins J.K., Leigh D.L., Ryall K., Sullivan E., Yedidia J.S., « Tangible Interactions and Graphical Interpretation: A New Approach to 3D Modeling », *ACM SIGGRAPH*, pp. 393-402, July 2000
- Boothroyd G., Dewhurst P., « *Product Design for Assembly – A Designer's Handbook* » Departement of Mechanical Engineering, University of Massachusetts, 1993
- Cho A., Lederer R., Sharlin E., Watson B.A., Liu L., Sutphen S., « Designing virtual worlds – the Cognitive Map Probe » *13th Western Canadian Computer Graphics Symposium* Silver Star, Canada, March, 2002
- Frazer J.H., « Use of Simplified Three – Dimensional Computer Input Devices to Encourage Public Participation in Design », *Computer Aided Design* 82, Conference Proceedings, Butterworth Scientific, pp. 143-151, 1982
- Fuchs P., Moreau G., Papin J.P., « Le traité de la réalité virtuelle », *Les Presse de l'Ecole des Mines*, 2001
- Kitamura Y., Itoh Y., Kishino F., « Real Time Interaction with ActiveCube » *CHI 2001 Extended abstracts*, 2001
- Kiyokawa K., Takemura H., Yokoya N., « SeamlessDesign for 3D object creation » *IEEE MultiMedia*, Vol. 7 n° 1, 2000
- Legardeur J., « Prise en compte des contraintes d'assemblage dans une logique de conception intégrée : l'approche Design For Assembly », Mémoire de DEA MCGM (Mécanique, Conception, Géomécanique, Matériaux), Université Joseph Fourier, Laboratoire 3S, Grenoble, 1998
- Milgram P., Kishino F., « A Taxonomy of mixed Reality Visual Display » *IECE Trans. on Information and Systems (Special Issue on Networked Reality)*, Vol E77-D n° 12, 1994
- Munro S., « Is your design a life sentence ? » *Machine Design*, Janvier, 1995
- Redford A., Chal J., « *Design for Assembly : Principles and Practice* » University of Salford, édition Mc Graw Hill, 1994
- Schepacz C., « Des méthodes pour un assemblage-montage rationnel » *Cetim-Information* n°123, Juillet, 1991
- Sharlin E., Watson B.A., Stuphen S., Lederer R., Figueroa P., Frazer J., « 3D Computer interaction using physical objects: exploration of tangible user interfaces » *Leonardo Electronic Almanac*, Vol 9 n° 7, 2001

- Sutherland I., « SketchPad: A Man-Machine Graphical Communication System » *AFIPS Spring Joint Computer Conference*, pp 329-346, 1963
- Tichkiewitch S., « De la C.F.A.O à la conception intégrée » *Revue Internationale de C.F.A.O et d'Infographie*, Vol. 9 n° 5, 1994
- Ullmer B., Ishii I., « Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms » *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM Press, 1997
- Ullmer B., Ishii I., « Emerging frameworks for tangible user interfaces » *IBM Systems Journal*, Vol. 39 n° 3 & 4, 2000
- Ware C., Rose J., « Rotating Virtual Objects with Real Handles » *ACM Transactions on CHI*, Vol. 6 n° 2, 1999