

# Conception collaborative des systèmes et composants mécaniques

par **Pierre DEVALAN**

*Ancien directeur des programmes de R&D du Cetim*

et **Jean-Charles DELPLACE**

*Ingénieur au Cetim*

<b>1. Entreprise étendue et échanges en conception</b> .....	BM 5 001 - 2
1.1 Entreprise étendue.....	— 2
1.2 Échanges en conception.....	— 2
<b>2. Conception collaborative</b> .....	— 3
2.1 Fonctions et outils de la conception collaborative.....	— 3
2.2 Positionnement des outils collaboratifs par rapport aux autres applications de conception et de gestion du cycle de vie .....	— 3
2.3 Typologie des entreprises utilisatrices.....	— 3
<b>3. Modes de travail</b> .....	— 4
3.1 Évolution : du modèle géométrique à la maquette numérique .....	— 4
3.2 Fonctions de base de la conception collaborative .....	— 6
3.3 Portail collaboratif.....	— 6
3.4 Fonctions complémentaires.....	— 8
<b>4. Aspects juridiques de la conception collaborative</b> .....	— 9
4.1 Protection intellectuelle .....	— 9
4.2 Contractualisation de l'échange .....	— 9
<b>5. Conclusion et perspectives</b> .....	— 9
<b>Pour en savoir plus</b> .....	Doc. BM 5 001

**P**our renouveler rapidement leur offre produit et réduire les délais de développement, les entreprises doivent réagir rapidement et anticiper les changements. Dans le contexte de concurrence générale imposée par la libéralisation des échanges et la recherche de volumes, les industriels sont en effet conduits à réduire les délais et les coûts, augmenter les offres et la qualité des produits et services pour répondre aux exigences des consommateurs. La compétitivité d'une entreprise repose donc sur sa faculté à maîtriser l'ensemble du cycle de vie du produit. Par conséquent, les industriels n'hésitent plus à collaborer et à s'associer pour lancer de nouveaux produits sur le marché. Ils déploient, comme par exemple chez Renault, des « plateaux projets », qui regroupent sur un même lieu l'ensemble des équipes de développement. Mais ils utilisent aussi des logiciels pour gérer l'échange d'informations à distance, notamment des solutions avancées comme les « plateaux virtuels » afin de centraliser l'ensemble des informations d'un projet. Cette nouvelle organisation du travail implique notamment des bouleversements dans les relations entre donneurs d'ordres et sous-traitants.

*Cette collaboration et ces échanges à distance entre entreprises industrielles s'effectuent dans le cadre de l'entreprise étendue, qui correspond à des liens étroits entretenus par les entreprises partenaires et plus particulièrement pour concevoir, produire, distribuer les produits qu'elles réalisent ensemble. En particulier, la conception collaborative constitue un élément important de l'entreprise étendue, étant donné qu'il s'agit de concevoir à plusieurs entreprises un système mécanique en utilisant les technologies de l'information et de la communication pour s'échanger à distance toutes les informations qui concourent à la conception du produit, dans un contexte d'ingénierie simultanée.*

## 1. Entreprise étendue et échanges en conception

### 1.1 Entreprise étendue

Généralement, l'entreprise étendue vient d'une décision d'externalisation, sur un mode coopératif, par l'entreprise initiatrice, d'activités qu'elle n'a pas intérêt à, ou la possibilité de, réaliser elle-même. Ce sont les grandes entreprises donneurs d'ordre de l'industrie automobile qui ont été les premières à mettre en place l'entreprise étendue afin de concentrer leur activité sur leur cœur de métier et confier la réalisation de sous-ensembles ou fonctions aux entreprises qui fournissent ces éléments : les fournisseurs de rang 1. Cette initiative s'est ensuite généralisée dans le secteur aéronautique puis dans d'autres secteurs où se trouvent de grandes entreprises donneurs d'ordre, elle s'est aussi étendue aux entreprises de rang 2 et de rangs inférieurs.

Une entreprise étendue comprend en général une **entreprise pilote** maître d'œuvre/tête de réseau/chef de projet qui travaille en étroite coopération, tant au niveau de la conception que de la fabrication et de la distribution, avec de nombreuses **entreprises partenaires**, permanentes ou occasionnelles :

- sous-traitants, prestataires, fournisseurs spécialisés ;
- franchisés, concessionnaires, agents, intermédiaires, distributeurs, prescripteurs ;
- consultants, experts, et autres acteurs propres au type de projet, de marché, ou d'activité.

Cette forme d'organisation se généralise fortement suite au développement des technologies de l'information. Elle correspond bien à l'économie du savoir, qui demande la mise en commun de connaissances et compétences. Elle reflète aussi le besoin de faire fonctionner en commun des entités dont chacune est située dans le pays du monde le plus propice pour son type particulier d'activité.

Elle permet notamment :

- pour celles axées sur le marketing, le renouvellement rapide des produits et services pour s'adapter aux opportunités commerciales ;
- pour d'autres, la conduite des grands projets.

Elle a par ailleurs l'avantage d'être une structure évolutive, encore qu'une certaine stabilité des liens soit nécessaire pour permettre une bonne collaboration.

### 1.2 Échanges en conception

Les échanges en conception se situent dans le cadre de l'entreprise étendue.

La mise en place de ces échanges dans les entreprises a d'abord été facilitée par l'apparition des logiciels de Conception Assistée

par Ordinateur (CAO) et de systèmes d'échanges de données numériques qui ont permis à l'origine d'impliquer les différents services de l'entreprise. Ainsi, tous les intervenants, du concepteur au responsable marketing, connaissent à tout moment l'état d'avancement du projet. Dès que le concepteur effectue une modification sur un produit, les autres services sont prévenus automatiquement. L'objectif de cette organisation est de prendre en compte l'ensemble des acteurs du cycle de développement du produit pour concevoir de meilleurs produits, et réduire les temps de conception et d'industrialisation. Ce type d'organisation facilite la réactivité et les prises de décision sur des options de conception.

Dès lors, le concept a été étendu aux fournisseurs de l'entreprise donneur d'ordre, voire à ses clients (comme par exemple le service de maintenance d'une société de transport) afin que l'ensemble de la chaîne d'entreprises impliquées pratique l'ingénierie simultanée, ce qui procure des gains en ressources humaines et financières, et surtout, pour le fournisseur ou le sous-traitant, permet de travailler en amont avec le constructeur donneur d'ordre et de bénéficier de la vision globale du projet.

**Les objectifs de ces échanges** sont ainsi d'étudier différentes solutions en amont pour :

- optimiser la conception ;
- réduire les délais de développement du produit (en accélérant les décisions, en limitant les erreurs et les itérations) ;
- renforcer la phase de simulation (lien CAO-simulation) ;
- anticiper les risques sur le montage du produit ;
- réagir plus directement sur les modifications à apporter ;
- intensifier et simplifier la communication des équipes, en intégrant tous les métiers techniques et économiques au projet et en s'affranchissant des contraintes de localisation ;
- enfin, le travail collaboratif encourage les innovations.

Concrètement, dans la phase de conception, cet échange d'informations entre le client et son fournisseur ou, plus généralement, entre deux entreprises partenaires, est un échange de plans ou de fichiers CAO (le client fournit le plan d'ensemble, le fournisseur celui du sous-ensemble qu'il propose), accompagné de données techniques (tolérances, états de surface, données matériaux...). Un tel échange nécessite aussi, bien entendu, que les interlocuteurs puissent dialoguer. On constate que ces échanges peuvent s'appuyer sur des outils très simples (envoi d'un plan par Fax, échanges de données par message électronique, dialogue par téléphone) ou plus évolués (fichiers CAO, visioconférence, espace collaboratif sur un site portail). Tout l'enjeu se situe au niveau de la maîtrise d'outils de différents niveaux, la problématique étant pour la PME qui fournit un composant ou fabrique un sous-ensemble de maîtriser les outils de la maquette numérique (voir ci-après la définition de la maquette numérique), la sécurité dans les échanges de données, l'interopérabilité des systèmes, la gestion des versions successives des données produit. Les investissements que nécessitent l'accès aux outils avancés, la variété de ces outils, les différents standards d'échanges de données sont autant de freins au développement de ces outils dans une PME.

## 2. Conception collaborative

### 2.1 Fonctions et outils de la conception collaborative

On constate que les échanges en conception font appel à un certain nombre de fonctions qui caractérisent ce qu'on appelle la conception collaborative :

- centraliser les données d'un projet dans un espace collaboratif (messages, documents...) d'une communauté de concepteurs, accessibles à chacun selon des règles prédéfinies ;
- échanger des fichiers CAO, ou images CAO, pour communiquer les données géométriques et les autres données sur le produit ;
- se réunir par l'intermédiaire d'une conférence à distance, pour dialoguer entre le bureau d'études du donneur d'ordre et celui du fournisseur, et aussi avec d'autres intervenants : fabrication, maintenance... ;
- lancer une consultation en ligne afin de recueillir des propositions de fournisseurs de composants ou de sous-traitants pouvant fabriquer un sous-ensemble ;
- offrir en ligne un catalogue de composants qui peuvent être utilisés dans un logiciel de CAO ;
- sécuriser les données qui ne doivent pas être accessibles à d'autres utilisateurs que ceux autorisés ;
- archiver les versions successives des fichiers partagés.

On constate que l'originalité de la conception collaborative se situe principalement dans la mise en œuvre d'outils virtuels permettant de partager des informations et des applications en travaillant à distance à plusieurs acteurs, afin de réduire le temps de développement et d'augmenter la qualité du produit.

Les outils disponibles ne réalisent pas une seule fonction, mais souvent plusieurs, ce qui rend complexe le choix de ces outils, d'autant plus qu'il existe un certain foisonnement de l'offre. Cette complexité a conduit des prestataires à offrir des plates-formes collaboratives où l'utilisateur trouve un ensemble d'outils pour la conception collaborative ainsi qu'un service d'aide à l'utilisateur.

La figure 1 donne une vue synoptique de l'univers de la conception collaborative montrant à la fois les fonctions et les

outils d'un côté et les acteurs et moyens d'accès d'un autre côté. Les termes utilisés dans cette figure sont explicités dans les paragraphes qui suivent.

### 2.2 Positionnement des outils collaboratifs par rapport aux autres applications de conception et de gestion du cycle de vie

L'activité de l'entreprise implique bien entendu l'utilisation d'outils qui sont plus ou moins liés à la conception collaborative, ce qui induit une perception parfois floue de la frontière entre les outils qui se situent au cœur de la conception collaborative et ceux qui se situent en périphérie, notamment :

- ceux qui impliquent du partage de données entre différents services de l'entreprise ou avec d'autres entreprises mais dépassent le strict domaine de la conception comme les logiciels de PLM et de GED (voir nota) ;
- ceux qui ne sont pas spécifiques à une action d'échange ou de partage (comme par exemple les outils de simulation) mais qui sont souvent utilisés pour la prise de décision dans le cadre d'une conception collaborative.

**Nota** : les logiciels de **PLM** (*Product Life Cycle management* ou gestion du cycle de vie produit) consistent à capitaliser toutes les informations concernant un produit industriel. Le PLM est une démarche à rapprocher de la gestion des connaissances, si ce n'est qu'elle est axée autour du produit. L'objectif du PLM est de permettre de partager la connaissance des différents stades du cycle de vie d'un produit (conception, fabrication, stockage, transport, vente, service après-vente, recyclage).

Les logiciels de **GED** (Gestion Électronique des Documents) sont par ailleurs des systèmes informatisés d'acquisition, classement, stockage, archivage des documents qui peuvent être également utilisés pour gérer les documents d'une entreprise ou d'une communauté d'entreprises.

### 2.3 Typologie des entreprises utilisatrices

En matière de conception collaborative, les besoins et les compétences à mobiliser entraînent un recours à des outils différents selon que l'entreprise est de taille importante ou qu'elle est une PME.

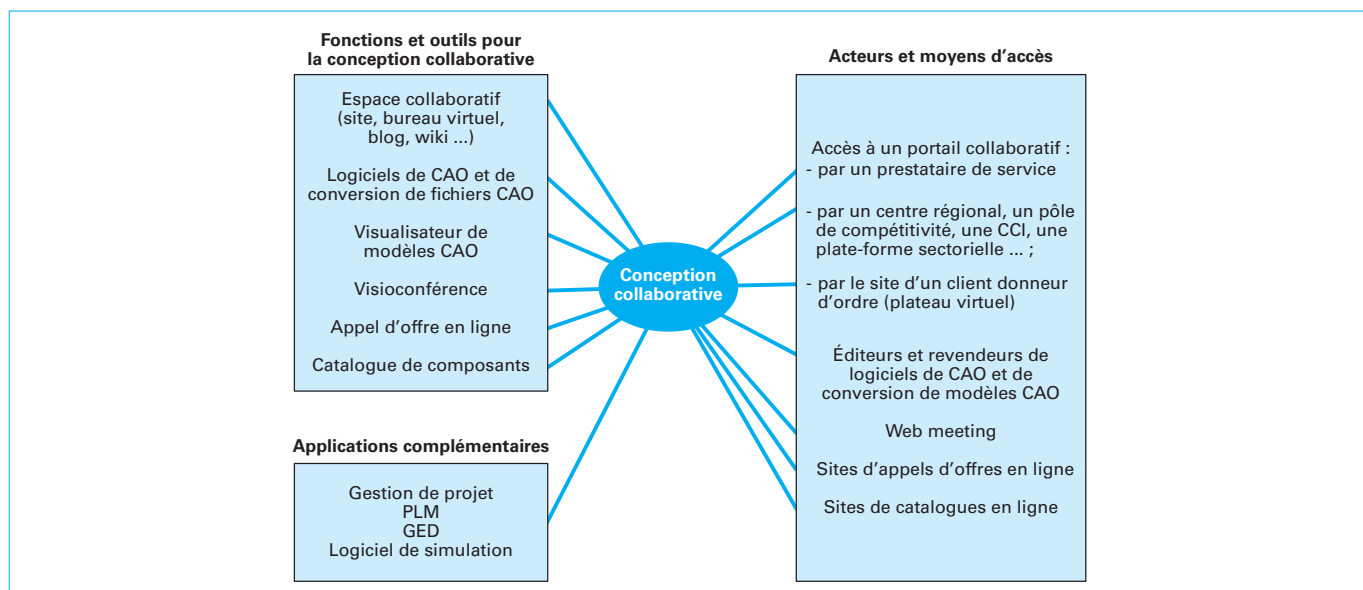


Figure 1 - Univers de la conception collaborative

On distingue ainsi schématiquement **trois types d'entreprises**.

- Les **donneurs d'ordre**, qui sont des grandes entreprises, en particulier celles des secteurs de la construction automobile, de la construction aéronautique et leurs équipementiers de rang 1. Ces entreprises réalisent des systèmes mécaniques complexes, composés de sous-systèmes fonctionnels, qui nécessitent de recourir à la maquette numérique (comme par exemple le logiciel CATIA, voir § 3.1), échangent des fichiers le plus souvent dans le format du logiciel recommandé par le donneur d'ordre (format natif, voir § 3.1) ou à défaut dans un format que le donneur d'ordre accepte (en général le protocole d'échange normalisé le plus récent, comme par exemple la norme STEP), les échanges s'effectuant dans un espace collaboratif de type plateau virtuel s'appuyant sur un réseau privé et sécurisé, comme le préconise par exemple la norme ENX (*European Network eXchange*). Ces outils requièrent de plus l'utilisation de logiciels de PLM.

Ces donneurs d'ordre demandent à leurs fournisseurs et sous-traitants de rang 1 de participer à la réalisation de sous-ensembles fonctionnels et à la gestion de la **maquette numérique** du produit. Le partage de cette maquette numérique, qui regroupe toutes les données issues des logiciels utilisés pour concevoir, valider, fabriquer, modifier le produit, aussi bien par l'industriel que par tous les intervenants extérieurs, est le socle de la conception collaborative (cf. § 3.1 pour une définition plus précise du contenu de la maquette numérique).

Ces donneurs d'ordre incitent en particulier les fournisseurs à utiliser les mêmes outils et les mêmes méthodes qu'eux, autour de la maquette numérique, notamment en mettant à disposition des applications métiers autour de leur produit CAO, en donnant accès à leurs bases de données techniques et permettant ainsi au fournisseur de récupérer l'environnement de travail pour concevoir son produit, en proposant des outils de communication pour dialoguer à distance, en mettant à disposition de leurs fournisseurs, des espaces collaboratifs, zones sécurisées permettant le partage des données techniques.

Que ce soit à travers les places de marchés ou les portails spécifiques, les donneurs d'ordre demandent à leurs fournisseurs de s'appuyer sur des réseaux sécurisés, pour leur communication. Par exemple, dans l'industrie automobile et dans le secteur de la défense, ces donneurs d'ordre s'appuient sur le réseau ENX (*European Network eXchange*) pour le transfert sécurisé des données. Ils proposent à leurs fournisseurs, à travers leurs portails spécifiques ou des places de marchés sectorielles, de mettre en œuvre des relations B2B et de partager les données techniques.

- Les **entreprises de rang 2** et plus qui fournissent des composants ou des sous-ensembles mécaniques pour les équipementiers de rang 1, qui possèdent des logiciels de CAO de type modéleur paramétrique (par exemple solidworks ou pro-engineer), ce qui nécessite de recourir à des standard d'échanges pour que leurs données soient reconstruites par le client, et de dialoguer au moyen d'outils tels que la conférence à distance ou le portail collaboratif.

- Les **entreprises de rang 3**, le plus souvent des sous-traitants, qui fabriquent des pièces selon un ou plusieurs procédés de fabrication qu'elles maîtrisent (pièces forgées-usinées, pièces de fonderie usinées, pièces découpées-embouties...) qui n'ont que peu de moyens de conception et désirent recourir aux outils les plus simples comme par exemple un logiciel de visualisation d'une image CAO (*viewer*), ou encore faire appel à un prestataire de ressources logicielles comme une plate-forme collaborative afin d'être assistées dans leur démarche.

Même si toutes les entreprises mécaniciennes doivent mettre en œuvre des processus de travail collaboratif avec leurs partenaires, clients ou sous-traitants, il est évident qu'en fonction de leurs métiers ou produits les contraintes sont plus ou moins fortes.

Une entreprise qui travaille comme fournisseur ou sous-traitant dans la filière automobile subit des exigences plus fortes de ses clients qu'une entreprise qui fabrique des équipements mécaniques sur des marchés où le client n'est pas un intégrateur de fonction (par

exemple des machines agricoles, des machines pour les travaux publics, de l'outillage à main, des équipements pour les ménages).

De plus, les outils et méthodes choisis dépendent aussi des activités. Une entreprise sous-traitante doit mettre en place les moyens de communication et s'équiper des outils imposés par ses clients alors que l'entreprise réalisant des produits propres, subissant moins de contraintes, met en œuvre les espaces collaboratifs de son choix qu'elle partage avec ses partenaires.

On constate, dans la pratique, une répartition de l'utilisation des différentes technologies de conception collaborative dans les entreprises de mécanique qui est la suivante :

- les PME de mécanique qui pratiquent les échanges de données techniques le font principalement avec leurs clients ;
- les réunions virtuelles et les espaces collaboratifs sont des solutions qui peuvent répondre aux besoins de collaboration avec tous les acteurs (clients, fournisseurs...);
- les espaces collaboratifs sont plus adaptés à des relations avec les partenaires et avec les fournisseurs ;
- le PLM est surtout l'outil du donneur d'ordre maître d'œuvre du produit utilisé en interne et ouvert à quelques partenaires, clients ou fournisseurs ;
- les plates-formes collaboratives sont très employées dans les relations avec les partenaires et les clients ;
- le portail répond avant tout à des exigences clients.

## 3. Modes de travail

Les méthodes de travail, dans le contexte d'un projet de conception collaborative d'un produit mécanique associant plusieurs services d'une entreprise et/ou plusieurs entreprises, peuvent aller de l'utilisation d'outils très simples jusqu'à la mise en œuvre d'une organisation rigoureuse des échanges en temps réel utilisant des bases de données et logiciels évolués afin d'assurer une cohérence tout au long du projet et une gestion centralisée des modifications. Nous proposons en premier lieu de retracer l'évolution qui va du modèle CAO à la maquette numérique puis de montrer les différents niveaux de complexité des méthodes allant de la plus simple à la plus évoluée.

Par ailleurs, les notions qui gravitent autour du travail collaboratif sont nombreuses, d'où une certaine difficulté à appréhender la réalité qui se cache derrière des termes dont la définition n'est pas vraiment fixée. Ainsi, les termes de portail collaboratif, réseau collaboratif, plate-forme collaborative, espace collaboratif, plateau virtuel, sont très usités et à première vue semblent synonymes. Nous tentons dans cet article de donner les définitions qui semblent au plus près des pratiques constatées.

### 3.1 Évolution : du modèle géométrique à la maquette numérique

#### 3.1.1 Logiciels de CAO

Les premiers outils de conception informatisés ont été les logiciels de DAO (Dessin Assisté par Ordinateur), qui permettaient de dessiner un plan directement avec l'ordinateur dans le début des années 1980, puis rapidement des logiciels de CAO sont apparus, offrant la possibilité de construire virtuellement un objet en trois dimensions. Les logiciels de CAO ne prenaient en compte que les données géométriques et le modèle était conçu au moyen de formes simples. La construction d'un modèle géométrique s'effectuait à partir d'entités élémentaires (point, ligne, arc, surface, volume) pour réaliser des profilés de base ensuite utilisés pour créer le modèle 3D, par des opérations d'extrusion, de balayage et de révolution.

Différentes opérations topologiques (union, intersection) permettaient ensuite de définir complètement la pièce. L'assemblage de différentes pièces s'effectuait par la mise en position des composants en faisant appel à des opérations de translation et rotation.

L'évolution de ces logiciels de CAO a ensuite permis d'associer au modèle des données technologiques du produit telles que les propriétés des matériaux, l'état de surface, et surtout d'intégrer une approche de construction qui permet de faciliter les modifications avec l'apparition de modeleurs paramétriques et de formes fonctionnelles (*feature*).

Dans un modeleur paramétrique, les dimensions et contraintes dimensionnelles qui définissent les contours sont en effet des paramètres modifiables. L'introduction de formes fonctionnelles telles qu'un perçage, un rayon de congé... ajoute également une facilité qui rend le modèle plus riche et plus exploitable. Par exemple, pour enlever un congé, il suffit de détruire la *feature* correspondante.

Cette évolution sur la manière de concevoir s'est accompagnée aussi d'une évolution du modèle CAO obtenu. On est passé d'un simple modèle géométrique décrit par des entités simples à des modèles très riches comportant des règles de construction et des données technologiques associées.

Depuis l'origine des outils de conception informatisés qui se situent au début des années 1980, on est passé du plan informatisé à la maquette numérique avec une répercussion évidente sur la problématique des échanges de données techniques. Par exemple, les notions de *features* et de paramètres sont plus difficilement gérables en mode collaboratif. Mais surtout, lorsque plusieurs concepteurs interviennent sur la maquette numérique, les intentions de conception doivent être comprises par tous.

Bien que l'offre en produits CAO soit plus restreinte qu'aux débuts (15 produits en 1990, 5 en 2008), l'échange des données entre ces différents produits est loin d'être résolu. En effet, un modèle 3D aujourd'hui peut avoir plusieurs représentations en fonction du contexte et des besoins. Le modèle 3D « maquette numérique », est en effet constitué du modèle géométrique des composants qui le constituent, de la nomenclature et de tous les documents techniques qui le caractérisent, des notes de calcul, des fichiers de commandes numériques. Un ensemble de trois modèles constitue en fait la maquette numérique et celle-ci doit garantir la cohérence, l'unicité et l'accessibilité des informations numériques liées au produit à partir de ces trois modèles :

- modèle 3D « technologique » qui comprend les données géométriques auxquelles sont associées des données technologiques : matière, état de surface... ;
- modèle 3D « métiers » construit à partir de *features* métiers et des règles de conception ;
- modèle 3D « géométrique » qui est une représentation du modèle 3D dans laquelle les *features* sont transformées en entités géométriques.

### 3.1.2 Échanges entre modèles CAO : les formats de données

Pour les échanges et le partage de données entre modèles CAO, trois approches sont utilisées :

- l'échange en format natif, dans ce cas, c'est le fichier propre du logiciel de CAO qui est transmis, ce qui oblige le partenaire à posséder le même logiciel. Ce mode d'échange est préconisé par les grands donneurs d'ordre ;
- l'échange par format normalisé, en s'appuyant sur des normes ou standards d'échanges (IGES, DXF, STEP, JT). IGES et DXF permettent l'échange au niveau du modèle 3D géométrique (sans inclure les *features*) et les plans, STEP et JT permettent aussi l'échange au niveau du modèle géométrique mais incluent, sous un format plus riche, les autres données de la maquette numérique (les données produits comme la matière, des liens dans un assemblage - liaisons mécaniques - ou encore des tolérances/cotations fonctionnelles). Toutefois, dans 5 à 10 % des cas, les conditions géométriques ne permettent pas la conversion automatique d'un modèle 3D par l'intermédiaire d'un format normalisé, d'où le besoin de pratiquer un « nettoyage » soit par un logiciel adapté, soit par un prestataire de service ;

- l'utilisation d'outils de conversion qui proposent de transformer un modèle 3D issu d'un outil CAO pour l'adapter à un autre outil de CAO.

Le contexte de l'échange est déterminant. Dans le contexte d'un équipementier de rang 1 qui doit intégrer un équipement dans un ensemble du client donneur d'ordre, c'est le format natif qui est souvent exigé par le client. Dans l'automobile, Renault propose à ses équipementiers des outils pour accéder à sa maquette numérique et intégrer les composants en format natif. Dans le contexte d'une relation entre deux entreprises partenaires très liées (par exemple appartenant à un même groupe) qui ont à intervenir sur le modèle pour le modifier et le faire évoluer, ce sont les modèles technologiques et métiers qui sont pris en compte.

S'il s'agit d'un sous-traitant d'usinage qui doit, à partir du modèle virtuel de la pièce fourni par le client, créer des parcours sans avoir à intervenir sur le modèle CAO, le modèle 3D géométrique est suffisant. Il permet au sous-traitant de récupérer la géométrie dans son outil de FAO et, à partir de celle-ci, de créer les parcours d'usinage.

Par exemple, la société Capricorn SA fabrique des vilebrequins destinés à la compétition et aux préséries automobiles par usinage. Les modèles 3D échangés sont utilisés pour la réalisation des parcours d'usinage en FAO. Les logiciels de CAO des clients sont nombreux (CATIA, Pro-Engineer, SolidWorks...). Pour ne pas avoir à installer et maintenir tous ces logiciels, les échanges sont réalisés au format STEP (AP214) (figure 2). Cela permet d'obtenir des modèles 3D parfaitement compatibles avec le logiciel de FAO utilisé chez Capricorn SA. Dans cet exemple, les outils et les normes de conversion permettent à la société Capricorn de dialoguer avec ses clients sans avoir à investir dans un large éventail de solutions CAO.

Si seuls les plans sont suffisants, les normes d'échanges (STEP, IGES, DXF, JT) sont souvent utilisées avec cependant un risque d'erreurs ; c'est pour cette raison que par exemple les donneurs d'ordre de l'automobile préconisent le format TIFF ou le format PDF, qui garantissent la fiabilité du plan, mais qui ne sont pas exploitables numériquement, un fichier TIFF ou PDF donnant l'image exacte du plan à l'écran sans avoir la possibilité d'être exploité dans un autre logiciel de CAO ou FAO.

La méthodologie de conception CAO constitue par ailleurs une véritable problématique pour les échanges de données. L'approche par *features* pose par exemple un problème de méthode de conception. En effet, deux concepteurs peuvent arriver au même modèle 3D final en utilisant des méthodes de conception très différentes. L'approche *features* en conception est en fait très similaire à une technique de fabrication : le concepteur part d'un bloc de matière et y ajoute progressivement des *features* : congés, trou, chanfrein...

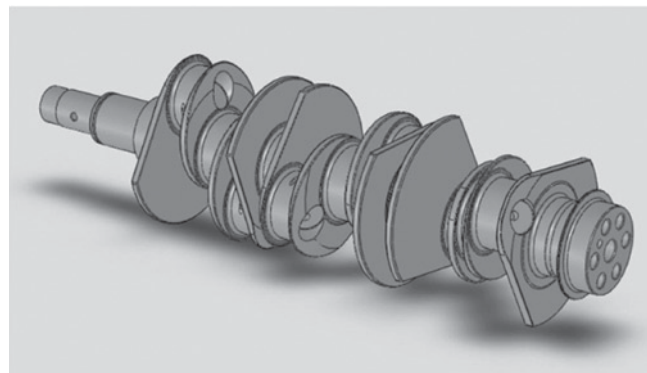


Figure 2 – Modèle de vilebrequin réalisé par CAO et repris au format STEP par la société Capricorn pour la fabrication

En fonction du choix du concepteur, la méthode de conception peut être différente tout en arrivant au même résultat final. Renault et Peugeot ont d'ailleurs édité des règles de conception qu'ils proposent aux sous-traitants pour certains types de pièces.

Le format natif de l'outil CAO conserve l'historique de cette suite d'opérations et non pas la géométrie finale qui était conservée dans les premiers logiciels de CAO. La façon de concevoir se retrouve dans le format natif, les normes d'échanges STEP, IGES et DXF ne prennent en compte que la géométrie finale. Il est donc très difficile, si on passe par des normes d'échanges, de retravailler un modèle 3D. Pour modifier un congé, si on utilise le même logiciel de CAO et le format natif, il suffit de modifier le paramètre de la *feature* congé ; par contre, si on passe par la norme qui a transformé le congé en lignes et faces, l'opération est plus délicate et parfois impossible.

Mais les dernières évolutions des logiciels de CAO (initiées par le logiciel SPACECLAIM en 2006) font apparaître des méthodes de conception sans *features* et sans historique, ce qui facilite d'autant le travail à plusieurs concepteurs. Une autre solution est offerte par des logiciels de conversion récents qui proposent de convertir un modèle tout en conservant l'historique, les fonctions et les paramètres utilisés dans le modèle d'origine.

### 3.2 Fonctions de base de la conception collaborative

Trois fonctions, pouvant être réalisées par des outils simples, sont indispensables pour travailler en mode collaboratif, dans le cadre d'un projet de conception d'un produit mécanique, entre des services et/ou entreprises distants.

■ La première fonction consiste à **centraliser les données d'un projet de conception dans un espace collaboratif** (messages, documents...) d'une communauté de concepteurs, accessible à chacun selon des règles prédéfinies.

On peut illustrer ce cas à travers l'exemple de la société ET Ruiz (Études Techniques Ruiz) constructeur de machines spéciales. Avant l'utilisation d'un espace collaboratif, des revues de projets étaient organisées régulièrement chez le client, dans le cadre de l'avancement de la conception de la machine, afin qu'il valide les choix de conception ou demande des modifications. Avec la mise à disposition par ET Ruiz au client d'un ensemble de documents sur un site dédié (figure 3), celui-ci peut suivre la conception de sa machine en se connectant sur le site en mode asynchrone (en temps différé) et réagir rapidement sur des modifications qu'il souhaite. Par ce mode de travail, les problèmes sont découverts très tôt et le client est force de proposition.

■ La seconde fonction consiste à **se réunir par l'intermédiaire d'une conférence à distance**, pour dialoguer de manière synchrone (en temps réel), ce qui implique de recourir à la visioconférence (le plus simple étant de le faire par l'intermédiaire du Web qui offre plusieurs outils de ce type) pour que les interlocuteurs puissent se parler et simultanément se montrer des informations visuelles (plans, schémas, diapositives...).

Par exemple, la société NOVA Ressorts, fabricant de ressorts pour toutes industries, joue un rôle de conseil auprès des bureaux d'études de ses clients de manière qu'ils choisissent le ressort le plus adapté à leur besoin. Avant l'utilisation de la visioconférence, les collaborateurs de l'entreprise se déplaçaient chez les clients les plus importants afin de les aider dans leur choix de ressorts. Avec la visioconférence (figure 4), l'entreprise réalise la même prestation de conseil, ce qui diminue le coût de l'intervention pour NOVA Ressorts et réduit le délai pour le client.

■ La troisième fonction consiste à **se transmettre de manière asynchrone des données CAO**. Dans le paragraphe précédent, nous avons abordé les problématiques et les solutions pour s'échanger

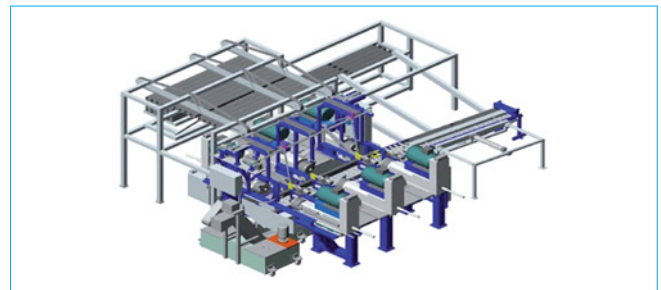


Figure 3 – Modèle de machine spéciale conçue par la société ET Ruiz et consultable par son client sur l'espace collaboratif qui lui est dédié

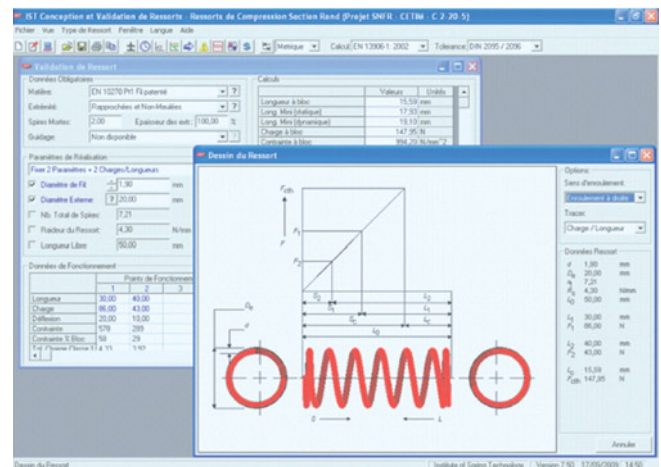


Figure 4 – Choix d'un ressort par visioconférence à l'aide des outils utilisés par NOVA Ressorts

des données entre logiciels de CAO. Toutefois, il existe des outils simples qui peuvent éviter à un partenaire de recourir à un logiciel de CAO. Dans ce cas, il est possible de faire appel à un *viewer* (logiciel qui permet d'afficher les images emmagasinées dans un fichier électronique sans avoir à passer par le logiciel ayant servi à les créer) pour visualiser les données issues d'un modèle CAO. Ces outils permettent différentes vues et quelques opérations élémentaires (telles qu'une rotation de l'objet, un zoom, une coupe, imprimer une copie d'écran...) sans pouvoir modifier l'objet CAO.

Par exemple, la société A4 Technologie réalise des éoliennes à vocation pédagogique pour les lycées et collèges. Afin de mieux présenter et vendre ses produits, l'entreprise met à disposition de ses clients, sur son site internet, des modèles numériques 3D. Les clients peuvent télécharger et installer gratuitement le logiciel qui leur permettra ensuite de visualiser, en 3D, les produits proposés sur le site. Dans ce cas, l'utilisation d'un visualisateur permet aux clients de mieux percevoir le produit avant de l'acheter (figure 5), et permet à la société A4 Technologie de faciliter la vente de ses produits *via* internet. ([http://www.a4.fr/banc-dessai-eolienne-reelle\\_c747\\_1002.html](http://www.a4.fr/banc-dessai-eolienne-reelle_c747_1002.html) ; [www.a4.fr](http://www.a4.fr))

### 3.3 Portail collaboratif

Au-delà des outils basiques qui viennent d'être décrits, il existe des outils plus complets offrant de multiples fonctions permettant de travailler à distance avec le même outil.

Le **portail collaboratif** est ainsi une porte d'entrée unique, sous la forme d'un site Web, personnalisée et sécurisée sur un large

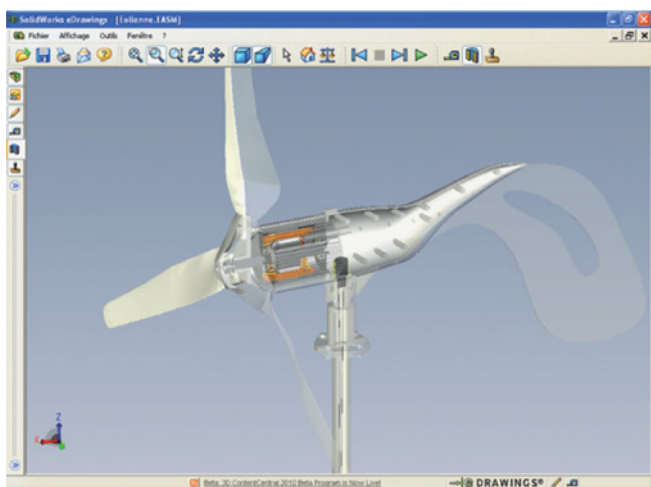


Figure 5 – Modèle d'éolienne conçue par la société A4 Technologie visualisable sur son site Web et téléchargeable avec un logiciel permettant d'effectuer différentes vues de ce modèle

panel de ressources numériques et de services, partagés par une communauté d'utilisateurs. Il s'agit de faire coopérer un groupe d'acteurs dans le but d'atteindre un résultat précis. Définition simple et universelle mais dont l'objet a pris un essor important avec le développement d'internet, qui regroupe en un seul outil plusieurs fonctionnalités :

- offrir des moyens de communication et d'information (bureau virtuel, visioconférence, annuaire, forum, chat...);
- animer un réseau et les collaborations au sein de l'espace collaboratif d'une communauté particulière (équipe projet, groupe-ment économique, technique... de membres) ;
- gérer l'information partagée : les modèles, les versions de travail ou les documents validés mais aussi l'historique des actions.

Pour chaque intervenant, le profil définit les ressources accessibles, les fonctions disponibles, les centres d'intérêt et les compétences. Pour chaque processus, le dispositif établit les règles, organise le processus et sollicite l'action du bon acteur au bon moment.

Ce portail garantit aux acteurs la fiabilité et la validité des données techniques, et leur permet de se rencontrer virtuellement de façon interactive pour travailler sur ces mêmes données techniques.

### 3.3.1 Plate-forme collaborative

Différents prestataires proposent aux entreprises de mettre en œuvre leur propre portail afin de partager des ressources matérielles ou logicielles dans le cadre de projets communs, sans problème de déploiement et de maintenance informatique de la solution. On appelle ces portails et les services qui leur sont associés des plates-formes collaboratives. Soutenues par les régions ou des groupements d'industriels, ces plates-formes sont dédiées à des fournisseurs ou sous-traitants qui peuvent accéder à la conception collaborative en utilisant les moyens de la plate-forme en payant simplement un droit d'utilisation. Cela évite aux entreprises de s'équiper en interne d'outils et de moyens collaboratifs, qui sont souvent coûteux et surtout difficiles à gérer informatiquement.

Ces plates-formes offrent tout un panel d'outils pour la conception de projets de produits en temps réel où les acteurs d'un projet ont accès à des logiciels (conception, simulation, calcul) pouvant être utilisés simultanément par les partenaires, des outils de travail collaboratif (vidéoconférence, agenda et outils de

gestion de projet partagés...), des espaces projets organisés et structurés, des moyens de structuration et diffusion de l'information (proposés par des outils de gestion de données techniques), des bases de données documentaires et techniques... (figure 6).

Ce terme de plate-forme collaborative est aussi quelquefois employé à tort pour désigner un plateau virtuel (moyen décrit dans le paragraphe 3.3.2 suivant), la différence est qu'une plate-forme collaborative est proposée par un prestataire, alors que le plateau virtuel est un portail de conception collaborative d'un donneur d'ordre.

Ces plates-formes collaboratives s'appuient sur les notions de SAAS et d'ASP. Le SAAS (*Software As A Service*) est un concept consistant à fournir des services ou des logiciels informatiques par le biais du Web et non plus dans le cadre d'une application de bureau ou client-serveur. Le SAAS est un modèle où le fournisseur de service propose (généralement dans le cadre d'un abonnement récurrent) la fonctionnalité intégrée et managée à ses clients qui l'utiliseront. Les clients ne payent pas pour posséder le logiciel en lui-même mais plutôt pour l'utiliser. Ils l'utilisent soit directement, soit via l'interface disponible.

Ce concept, apparu au début des années 2000, prend la suite de celui du fournisseur de services d'application, ASP (*Application Service Provider*).

À titre d'illustration, on peut citer le cas de la société ACOM, bureau d'études qui conçoit, pour le compte de donneurs d'ordre fabricants, des produits de grande consommation (figure 7). Pour chaque projet, ACOM est le maître d'œuvre et réunit autour de lui une équipe projet afin de disposer des compétences nécessaires (designers, hydrauliciens, électroniciens...). Les différents partenaires travaillent ensuite en utilisant la plate-forme collaborative du comité mécanique d'Ile-de-France (PC2M) afin de centraliser l'ensemble des informations du produit et de communiquer entre eux.

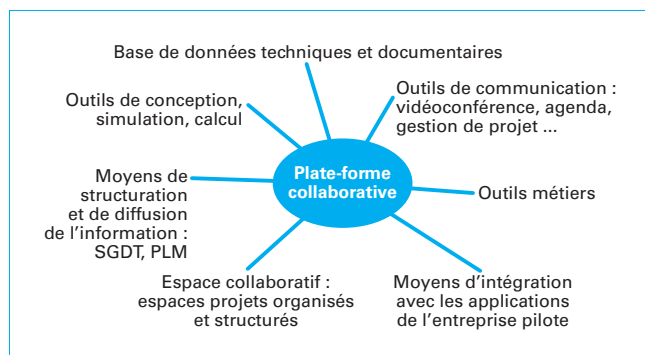


Figure 6 – Fonctions d'une plate-forme collaborative



Figure 7 – Modèle de pistolet haute pression conçu par la société ACOM avec ses partenaires en utilisant la plate-forme PC2M

### 3.3.2 Plateau virtuel

Le plateau virtuel a pour but de faire travailler en temps réel et à distance les différentes entreprises partenaires d'un même projet de conception et de développement d'un produit d'un donneur d'ordre. La différence entre plate-forme collaborative et plateau virtuel repose sur la méthodologie de déploiement du projet qui commence par une phase de mise au point des méthodes de travail sur un plateau physique organisé par le donneur d'ordre, avant d'entrer dans la phase de travail à distance avec les outils accessibles sur le portail du donneur d'ordre.

Le plateau virtuel fait appel à différents principes qui guident la conception collaborative sur la base de la maquette numérique :

- un logiciel est utilisé pour centraliser l'ensemble des données de la maquette numérique d'un produit ;
- comme pour une maquette physique, la maquette numérique permet d'assembler les composants d'un système mécanique afin de vérifier la cohérence des solutions. Cela permet de réduire les coûts et délais d'industrialisation ;
- l'apport de la maquette numérique est de faciliter la conception en contexte (le composant est conçu en tenant compte de son environnement : le système mécanique dans lequel il doit s'intégrer) ;
- l'accès à ce logiciel est sécurisé de manière que les concepteurs ne voient que ce qu'ils doivent voir ;
- la conception d'un sous-ensemble est déléguée à un fournisseur ;
- les équipes de fabrication, de maintenance sont associées dès la phase de conception.

De grands donneurs d'ordre tels que Renault, Peugeot-Citroën, Airbus Industries, Dassault Aviation... ont mis en place un plateau virtuel pour faciliter la conception collaborative avec leurs partenaires.

Par **exemple**, afin de permettre un partage des données entre tous les acteurs d'un projet et une disponibilité immédiate des informations, Dassault Aviation a mis au point des méthodes de travail innovantes, à travers l'utilisation d'un plateau virtuel pour le programme Falcon 7X.

Dans un premier temps, Dassault Aviation a ainsi sélectionné vingt-sept partenaires de différentes nationalités, d'accord pour participer au programme 7X selon une formule de risques financiers partagés. Sous conception générale de Dassault Aviation, chaque partenaire s'est vu confier la conception détaillée d'une partie de l'avion. Quelque quatre cents ingénieurs issus du bureau d'études de la société et des vingt-sept sociétés partenaires se sont retrouvés, chez Dassault Aviation, à Saint-Cloud, pour réaliser la conception préliminaire de l'avion : c'était le travail en « plateau physique » (figure 8). Une phase de contact direct incontournable afin que tout le monde puisse se connaître et utiliser les méthodes de travail définies par le maître d'œuvre.

Les partenaires sont ensuite rentrés dans leurs entreprises à travers le monde afin de réaliser, en réseau, la définition détaillée de l'appareil. Le travail en « plateau virtuel » a alors débuté. Les partenaires ont continué à travailler ensemble comme en « plateau physique » en alimentant une base de données unique consolidée et mise à jour quotidiennement par Dassault Aviation à Saint-Cloud. Chacun avait connaissance à tout moment de ce qui était fait par les autres dans le domaine le concernant. Dassault Aviation, l'architecte industriel, disposait quant à lui d'une vision globale et continue de l'avancement de l'avion.

Alors qu'avant il fallait près de trois semaines pour que les personnes soient informées des changements issus des revues de maquettage destinées à valider la définition, une nuit est aujourd'hui suffisante pour que les coopérants reçoivent, par liaisons numériques sécurisées, les modifications qui les concernent. À travers cet espace de collaboration, mille cinq cents ingénieurs concepteurs, implantés dans différents pays, ont ainsi contribué simultanément à ce programme.



Figure 8 – Expérience du travail en plateau physique et virtuel pour le projet Falcon 7X (source : Dassault Aviation)

## 3.4 Fonctions complémentaires

Des fonctions complémentaires, telles que les catalogues numériques ou les appels d'offres en ligne, sont souvent proposées sur des sites dédiés ; on peut quelquefois les trouver sur des portails collaboratifs.

### ■ Catalogues numériques

Les catalogues électroniques proposent en ligne des composants de différents logiciels avec leurs données techniques.

Il s'agit de sites qui offrent soit une bibliothèque de brochures techniques au format PDF de différents fournisseurs avec une recherche par fournisseur ou type de composants comme par exemple [www.directindustry.fr](http://www.directindustry.fr), soit des données CAO téléchargeables selon les formats compatibles avec les principaux logiciels du marché comme par exemple [www.traceparts.com](http://www.traceparts.com). Des interfaces au-delà des systèmes CAO, telles que des interfaces avec des logiciels de PLM ou ERP, existent également comme le propose par exemple le site [www.cadenas.fr](http://www.cadenas.fr).

Par ailleurs, il existe des normes sur les bibliothèques de composants mécaniques qui définissent les caractéristiques des composants normalisées, avec les paramètres à prendre en compte.

### ■ Appels d'offres en ligne

Les appels d'offres en ligne permettent à un fournisseur ou un sous-traitant de répondre à l'offre d'un client. Il s'agit de sites portails dans lesquels les clients spécifient leur demande de fourniture de pièces mécaniques. Généralement, le service est libre pour l'acheteur et le fournisseur doit payer une cotisation annuelle ou un droit.

Par exemple, [www.mfgquote.com](http://www.mfgquote.com) est une place de marché permettant de mettre en relation instantanément le dessin d'une pièce et ses spécifications, élaborés par un client, à des sous-traitants qualifiés.

De même, le portail de la sous-traitance : [www.soustraitance-internationale.com](http://www.soustraitance-internationale.com) permet à un client de déposer ses appels d'offres et de lui remettre une analyse complète des différentes offres, outre le fait que le site propose également des nouvelles, un calendrier des salons, une base de données fournisseurs.



## 4. Aspects juridiques de la conception collaborative

### 4.1 Protection intellectuelle

La constitution d'un modèle de CAO d'un sous-ensemble demande un investissement qui se base sur un savoir-faire et aboutit souvent à une solution innovante. La diffusion de cet investissement de l'entreprise par le transfert de modèles à son client ou à son partenaire et, plus généralement, en dehors de l'entreprise peut aboutir à une spoliation de cette propriété intellectuelle qu'il convient de protéger.

Une première mesure de protection est de faire en sorte que le donneur d'ordre ou le partenaire se contente d'un modèle « mort », c'est-à-dire expurgé de l'intelligence incorporée (les règles de conception qui ont permis d'établir le modèle). Un format standardisé (norme ISO 10303 dite STEP) répond à cette attente. À noter que ce format est aussi une réponse à la difficile question d'archivage long terme.

Une seconde mesure est de contractualiser la propriété en définissant dès le début du projet les droits de propriété respectifs de chacun, sur quels objets ils portent, leur étendue dans le temps et par pays, les exclusivités, les redevances éventuelles.

Une autre mesure de protection consiste à déposer le dessin du modèle, voire une enveloppe Soleau si la solution est innovante. Le dépôt de modèle ou le dépôt d'enveloppe Soleau auprès de l'INPI (Institut national de la propriété industrielle), sont des solutions rapides et peu coûteuses qu'il faut signaler au donneur d'ordre ou au partenaire afin que celui-ci ne soit pas tenté, par ignorance ou malveillance, de spolier la propriété de la solution proposée, par exemple en demandant à un autre fournisseur de réaliser la pièce innovante proposée par l'entreprise qui a conçu cette solution.

### 4.2 Contractualisation de l'échange

Lorsqu'un processus d'échange de données techniques est mis en œuvre entre partenaires, il est fortement recommandé d'établir au préalable une « convention d'échange », de nature contractuelle, qui doit contenir les objectifs de l'échange, sa fréquence, sa taille et les moyens mis en œuvre (outils, organisation).

Les questions à se poser sont les suivantes :

- de quelle information mon partenaire a-t-il besoin ?
- quel type d'information est exploitable par le système de mon partenaire ?

Il est indispensable de déterminer, de façon précise, le domaine pratique de l'échange. Ce domaine résulte de l'intersection entre

les possibilités des applications, des normes et des interfaces utilisées (le domaine potentiel d'échange), et les besoins spécifiques des partenaires (le domaine dans lequel l'échange s'effectuera réellement).

Étant donné que les méthodes de conception du modèle influencent le résultat, il faut éviter d'utiliser les fonctionnalités conduisant à la création d'entités « à problèmes ». Les applications disposent toutes d'utilitaires de « nettoyage » et de vérification du modèle. Il faut systématiquement les utiliser avant de créer le fichier d'échange. Les interfaces comportant généralement des paramètres à choisir, il convient de s'assurer que les paramètres utilisés sont compatibles avec les données que l'on souhaite échanger.

La définition d'une série de cas tests permet de vérifier par la pratique la chaîne d'échange.

Ces cas tests prendront en compte toutes les entités identifiées dans le domaine potentiel d'échange. Ils peuvent se composer de cas tests « élémentaires » et de cas tests de pièces réelles représentant des exemples typiques de l'échange à mettre en œuvre. Réalisés dans le cadre de l'établissement de la convention d'échange, ces essais permettent de mettre au point la chaîne d'échange avant d'être soumis aux contraintes opérationnelles de production.

## 5. Conclusion et perspectives

Les produits mécaniques deviennent des systèmes de plus en plus complexes qui exigent de recourir à différents métiers et, de ce fait, à plusieurs entreprises pour être conçus. Les technologies de l'information offrent par ailleurs les moyens techniques permettant de s'affranchir des contraintes de lieu et de temps. Dès lors, la compétitivité d'un produit ne repose pas seulement sur l'entreprise chef de file, maître-d'œuvre du projet, mais sur une grappe d'entreprises qui contribuent au produit final.

Il est clair que, dans ce contexte, les moyens offerts par la technologie sont en avance par rapport aux autres domaines, notamment les modèles économiques et juridiques. Le chef de file peut être tenté de se réserver la marge dégagée, il peut aussi être tenté de se réserver la propriété intellectuelle. Mais il risque d'affaiblir ou de perdre ses fournisseurs et finalement d'être lui aussi perdant sur le long terme.

Il convient d'être conscient que la conception collaborative et, plus généralement, l'entreprise étendue engendrent un bouleversement dans les relations interentreprises. Il s'agit d'un véritable challenge pour les entreprises industrielles qui peut aboutir au pire comme au meilleur. On peut penser que ces difficultés seront surmontées par des grappes d'entreprises qui sauront établir des relations « gagnant-gagnant », sans doute les entreprises compétitives de demain qui devraient pouvoir innover ensemble et concrétiser le concept d'innovation ouverte (*open innovation*).