

# CFAO et Usine Numérique

3<sup>ème</sup> semestre

2012-2013

 **Horaires :** 8h CM, 6h TD, 24h TP

**Responsable :** J.C. FAUROUX

**Intervenants :** B. ASTRUC, J. COUDEN, E. DUC, J.C. FAUROUX, T. RABANY


 **Objectifs :**


- Donner les bases mathématiques de la **Modélisation Géométrique**
- Maîtriser la conception des **formes**
- Acquérir une **culture** CFAO et conception de produit
- Percevoir les possibilités et limites des différents **systemes**
- Comprendre et appliquer intelligemment le **calcul** par la **Méthode des Éléments Finis**
- Découvrir la **Fabrication Assistée par Ordinateur**

 **Contenu :**

1. - Représentation mathématique et numérique pour la **Modélisation Géométrique 3D**
  - **Interpolation** et **lissage**
  - Courbes **polynomiales**
  - Courbes de **Bézier**
  - Extension aux **B-splines**, aux surfaces et aux volumes
  - Utilisation pratique des courbes

2. - Présentation de la CFAO  
- Concepts de **SGDT** (Systèmes de Gestion de Données Techniques) et de **maquette numérique**  
- CFAO pour la **gestion de cycle de vie** du produit
  
3. - Notions fondamentales en modélisation  
- **Paramétrage** d'un modèle CAO  
- **Assemblage**  
- Modélisation **squelette**, modèles intelligents.  
- **Cinématique**  
- Modélisation **surfacique**  
- Échanges de données techniques (IGES,STEP)
  
4. - Sensibilisation à la **Fabrication Assistée par Ordinateur**  
- Présentation d'un **logiciel** de FAO  
- **Associativité** CAO-FAO  
- Programmation d'opérations d'**usinage**

 **Pré-requis :** Dérivées partielles, connaissances de base en DAO.

 **Évaluation :**  
- Examen de 2h (60%)  
- Travail de synthèse en TP sur logiciel de CAO (40%)

Exercice de  
synthèse TP

- Paramétrer, Modéliser, Assembler et Simuler une machine complète ou un mécanisme
- Contribuer à la base de mécanismes du projet européen thinkMotion  
<http://www.thinkmotion.eu>

# CFAO et Usine Numérique

## Références



### Bibliographie



« Modélisation et construction des surfaces par la CFAO », [J.C. LEON](#) - Hermès



« Courbes et surfaces pour la CAO », [G. FARIN](#) - Masson



« La CFAO », [Y. GARDAN](#), Hermès



« CAD-CAM - Principles, Practice and Manufacturing Management », [C. McMAHON](#), [J. BROWNE](#) - Addison-Wesley



### Journaux et sites internet



CAD Report ([Ifmanet](#) > [Bibliothèque](#) > [Index général du CAD report](#))



Harvest ([Bibliothèque IFMA](#))



L'Usine Nouvelle ([Bibliothèque IFMA](#))



Art of Design (<http://www.art-of-design.com>)

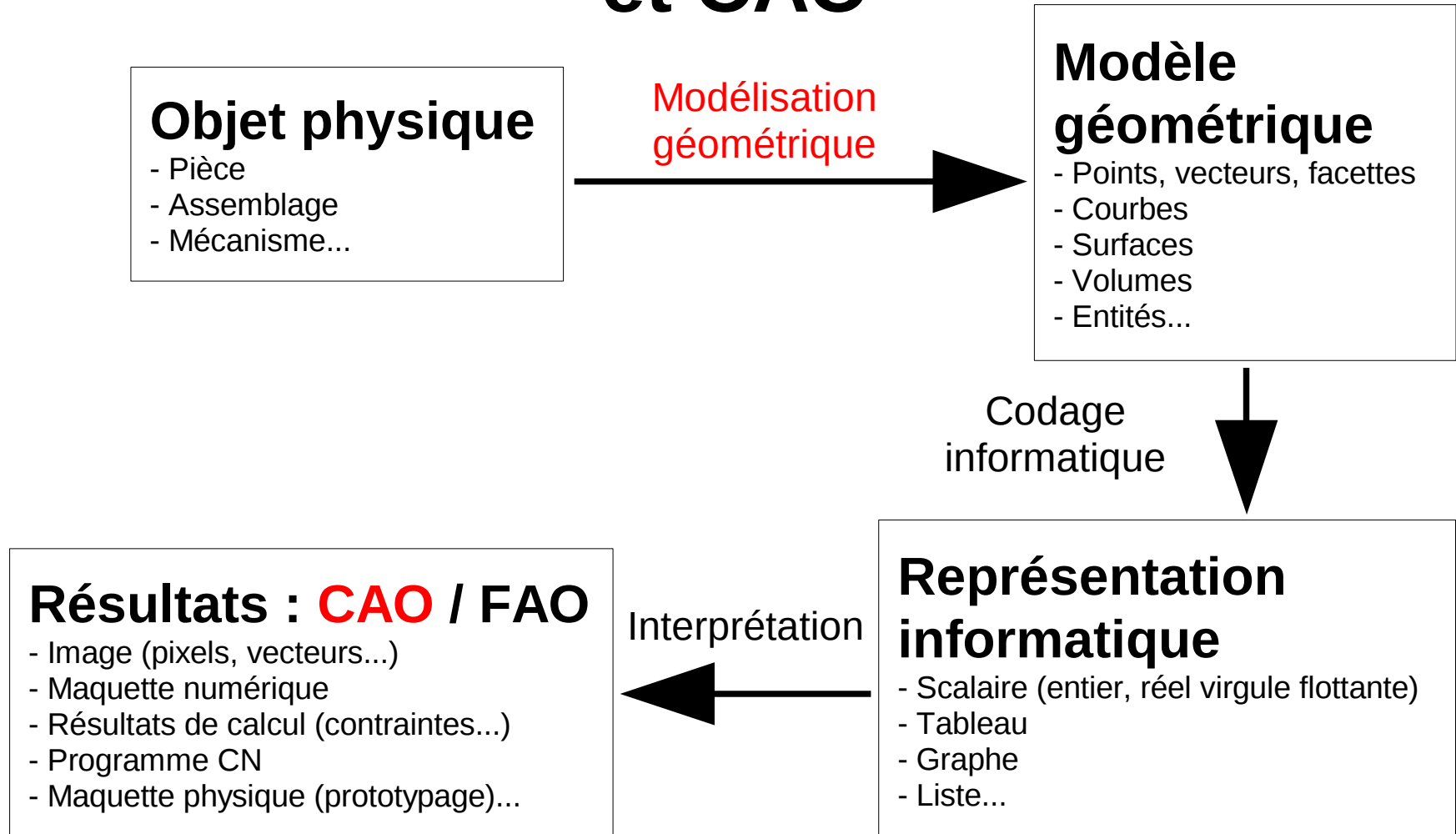


Portail de la CAO et journal en PDF 3D<sup>2</sup> (<http://www.cao.fr>)



L'actualité du cPLM (<http://www.cplmcommunity.com>)

# MODELISATION GEOMETRIQUE et CAO



# MODELISATION GEOMETRIQUE

## 2<sup>ème</sup> partie

### CFAO : Concepts et applications

1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

2. L 'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO)

3. Les axes de recherche en CAO

# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

## Plan

- ④ 1.1. Définition
- ④ 1.2. Domaines d 'applications
- ④ 1.3. Le marché de la CAO
- ④ 1.4. Structure modulaire des logiciels de CAO
- ④ 1.5. Les problèmes des logiciels de CAO

# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

## 1.1. Définition ?

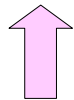
- 🌀 **CAO** = **C**onception **A**ssistée par **O**rdinateur  
**CAD** = **C**omputer **A**ided **D**esign
- 🌀 La CAO est un terme qui regroupe des notions **nombreuses et variées**
- 🌀 Quelle définition peut-on donner au terme CAO ?

*« Lorsqu'on recherche une réponse à cette question, on trouve autant de réponses que d'interlocuteurs, car en définitive, l'expression CAO, née il y a environ 25 ans, est un peu l'auberge espagnole de l'association de l'homme et de l'ordinateur dans un processus de conception » [ Giambiasi et al 85 ]*

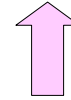
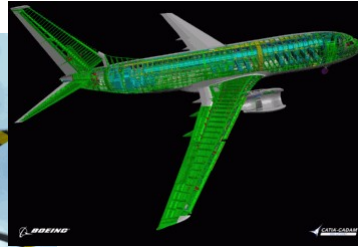
# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

## 1.2. Domaines d'application

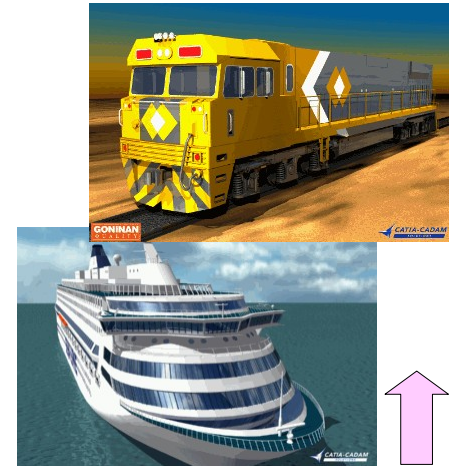
### Conception mécanique



Automobile

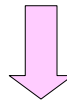


Aéronautique



Transports

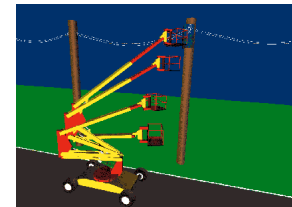
Electro-ménager



Installations industrielles



Machines spéciales



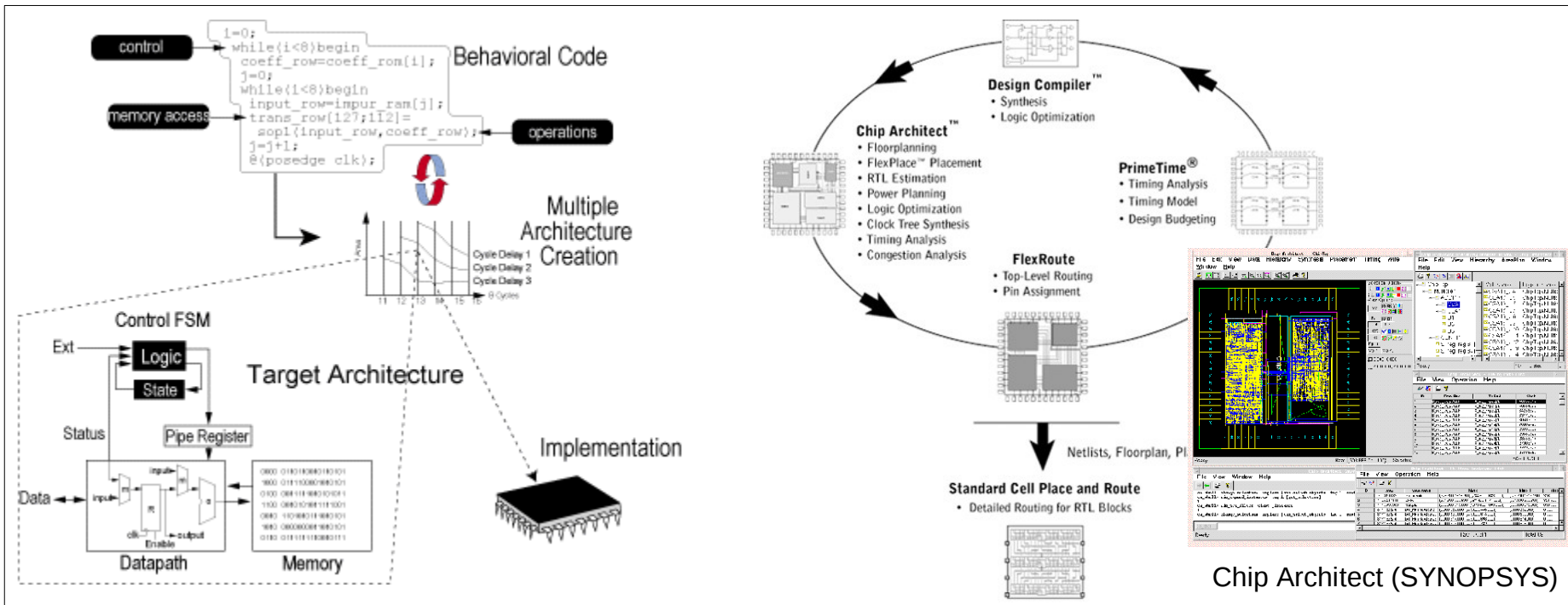
La CAO mécanique est portée par ce secteur dynamique de l'industrie



# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

## 1.2. Autres domaines d'application


### Conception électronique EDA (Electronic Design Automation)



- ➡ Depuis la spécification jusqu'à l'implantation des portes logiques
- ➡ Architecture de puces
- ➡ Routage optimal de circuits
- ➡ Des acteurs importants : Cadence Design, Synopsys, Magma...

# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

## 1.2. Autres domaines d'application

 Réalité virtuelle :  
Quelques applications

 Architecture



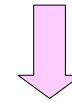
 Commerce virtuel  
(Citroën Picasso virtuel  
MICAD 2000)



 Archéologie  
(Abbaye de Cluny, IBM/Catia)



Démonstrations  
(Airbus A400M, Le Bourget 2001)



# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

## 1.2. Autres domaines d'application



Image de synthèse

Exemples :

Animation d'objets  
(3D Studio Max / Autodesk)

...ou de personnages  
(Character Studio / Autodesk)



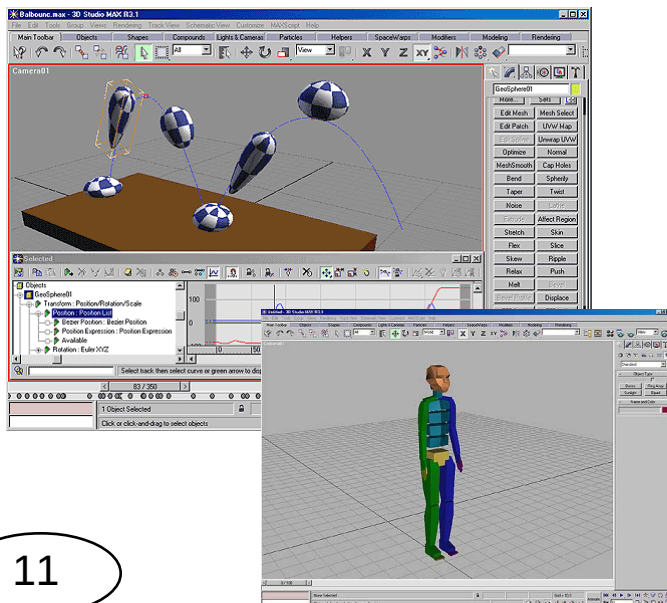
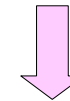
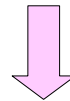
Design industriel, style

(Carrosserie Volvo  
Chaise Giugiaro  
Studio  
Alias/Wavefront)



Jeu vidéo / Moteur 3D  
(Unreal  
/ Epic Megagames)


Cinéma  
(« Sur la terre  
des dinosaures »)





Depuis 2000  
CA mondial Jeu Vidéo > CA mondial Cinéma


# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

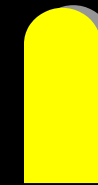
## 1.3. Quatre valeurs sûres du marché en 2006

 **Catia** par Dassault Systemes / IBM  
[www.catia.com](http://www.catia.com)

 **Inventor** par Autodesk  
[www.autodesk.com](http://www.autodesk.com)

 **Pro Engineer** par Parametric Technologies  
[www.ptc.com](http://www.ptc.com)

 **Unigraphics** par UGS / Siemens  
[www.ugs.com](http://www.ugs.com)



### 3 Victimes du marché

1998 : **Euclid**, de Matra Datavision disparaît

1998 : PTC étouffe Computervision (**CADDS**)

2001 : **I-Deas** (de SDRC)  
+ UG = NX

# ATTENTION !!!



- Le marché change perpétuellement
- Certains logiciels disparaissent
- Garder un certain recul

# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

## 1.3. Le marché de la CAO mécanique 1999 - 2004

### Conception et dessin 2D

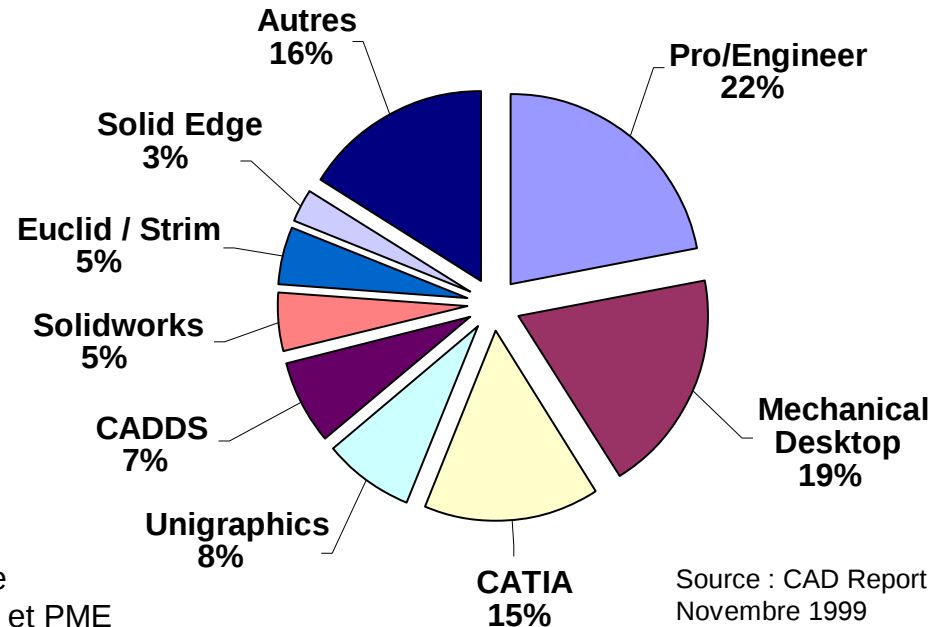
- Parc 2D (DAO) début 1999  
environ 4 millions de licences  
dont 2 millions de licences AutoCAD
- Migration progressive du 2D  
vers le 3D toujours en cours en 2004

### CAO 3D

- Des acteurs de tailles différentes
  - CAO "Lourde" pour la grande industrie
  - CAO "Moyenne gamme" pour artisans et PME
- En 2004, harmonisation des capacités des logiciels :  
Dessin 3D paramétrique / variationnel partout

### Répartition des logiciels de CAO mécanique 3D en 1999

( Parc total : 750 000 systèmes )



Source : CAD Report  
Novembre 1999

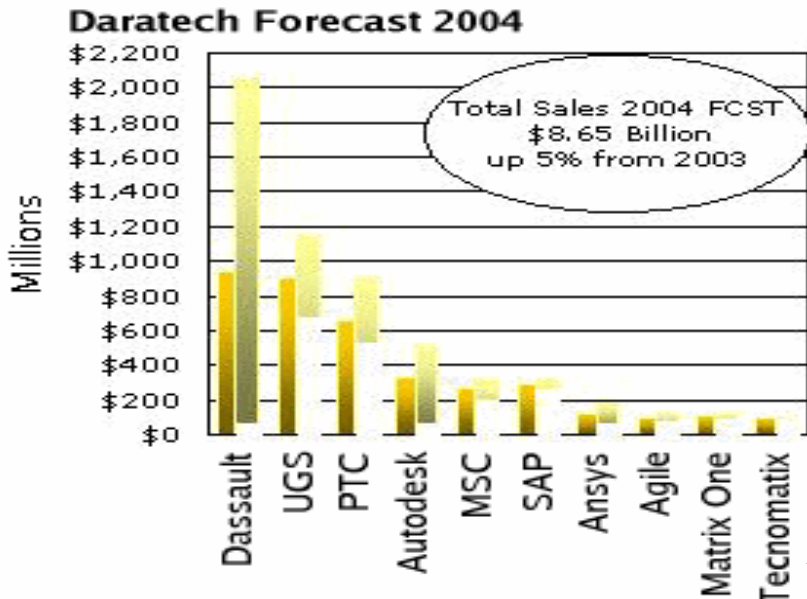
# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

## 1.3. Le marché de la CAO mécanique lourde en 2004

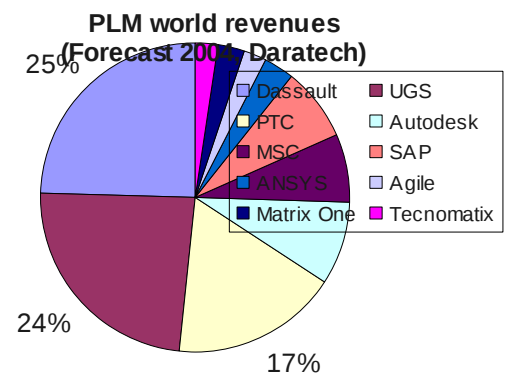
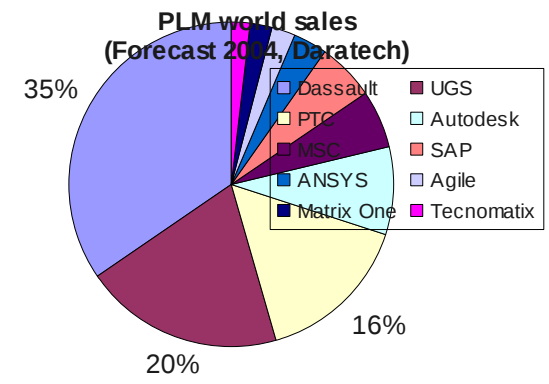
Des données pas facile à trouver

- De grands cabinets d'analystes (Cimdata, Daratech...)
- Informations confidentielles et coûteuses (10 k\$ pour un état du marché)

Software and Services Sales  
Product Lifecycle Management



← Racheté par UGS 2005  
← Racheté par DS 2006



Tendances CAO lourde 1999 - 2004

- PTC et Autodesk restent gros mais à la baisse
- Duel Dassault Systems / UGS dans le haut de gamme
- DS vend beaucoup mais UGS est plus rentable

# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

## 1.3. La CAO mécanique moyenne gamme en 2004

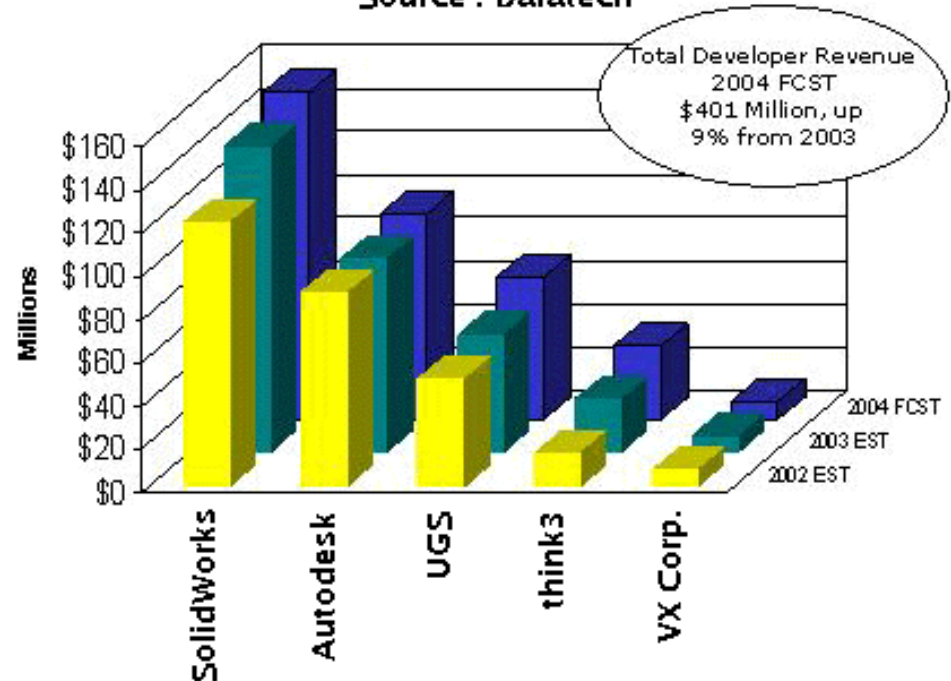
Les grands de la CAO disposent aussi d'un logiciel moyenne gamme

- 1997 : Dassault rachète Solidworks
- 1998 : UGS rachète SolidEdge à Intergraph
- 2005 : UGS lance Velocity Series

Tendances CAO moyenne

- Solidworks domine
- Autodesk se maintient
- Solid Edge persiste et progresse
- Think 3 progresse vite

Software and Services Revenue by Developer  
**Value-Priced 3D Mechanical Design Systems**  
Source : Daratech















Outils complexes de modélisation avec une **approche commune**

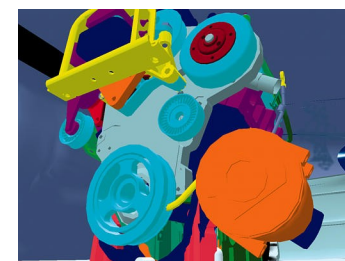
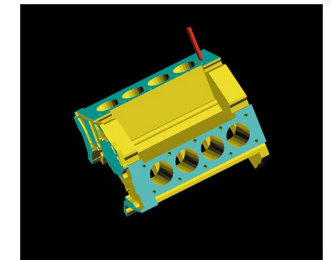
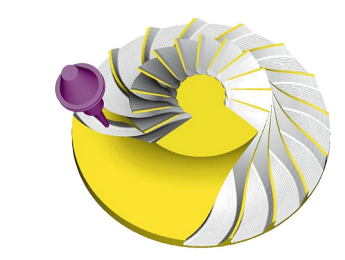
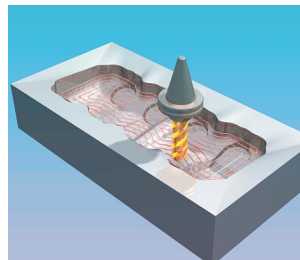
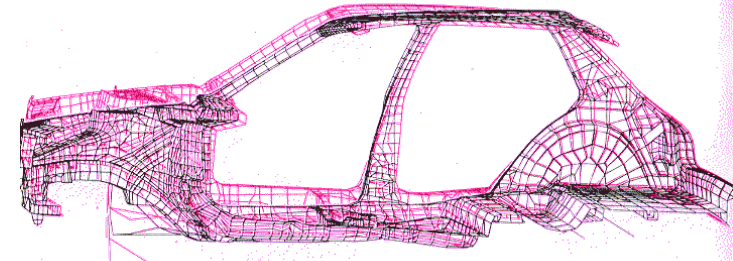
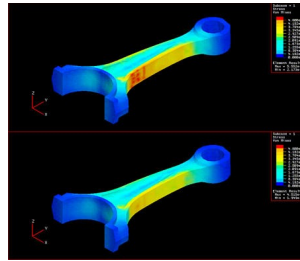
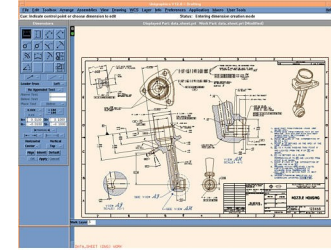
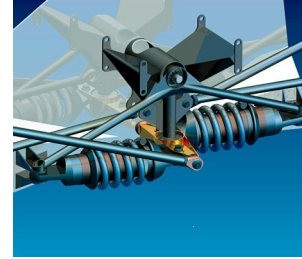
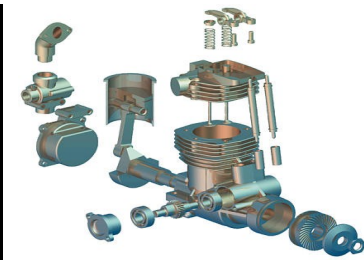
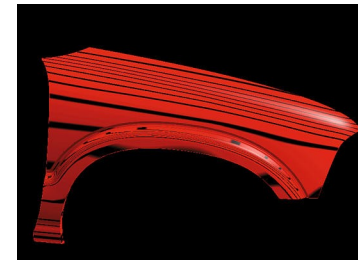
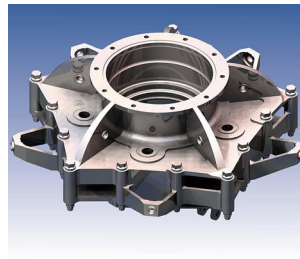
- ➡ Logiciel = collection de modules
- ➡ Modules liés entre eux
- ➡ Modules adaptés à la demande des entreprises

# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

## 1.4 Structure modulaire

 Modules **communs** à tous les produits (en général)

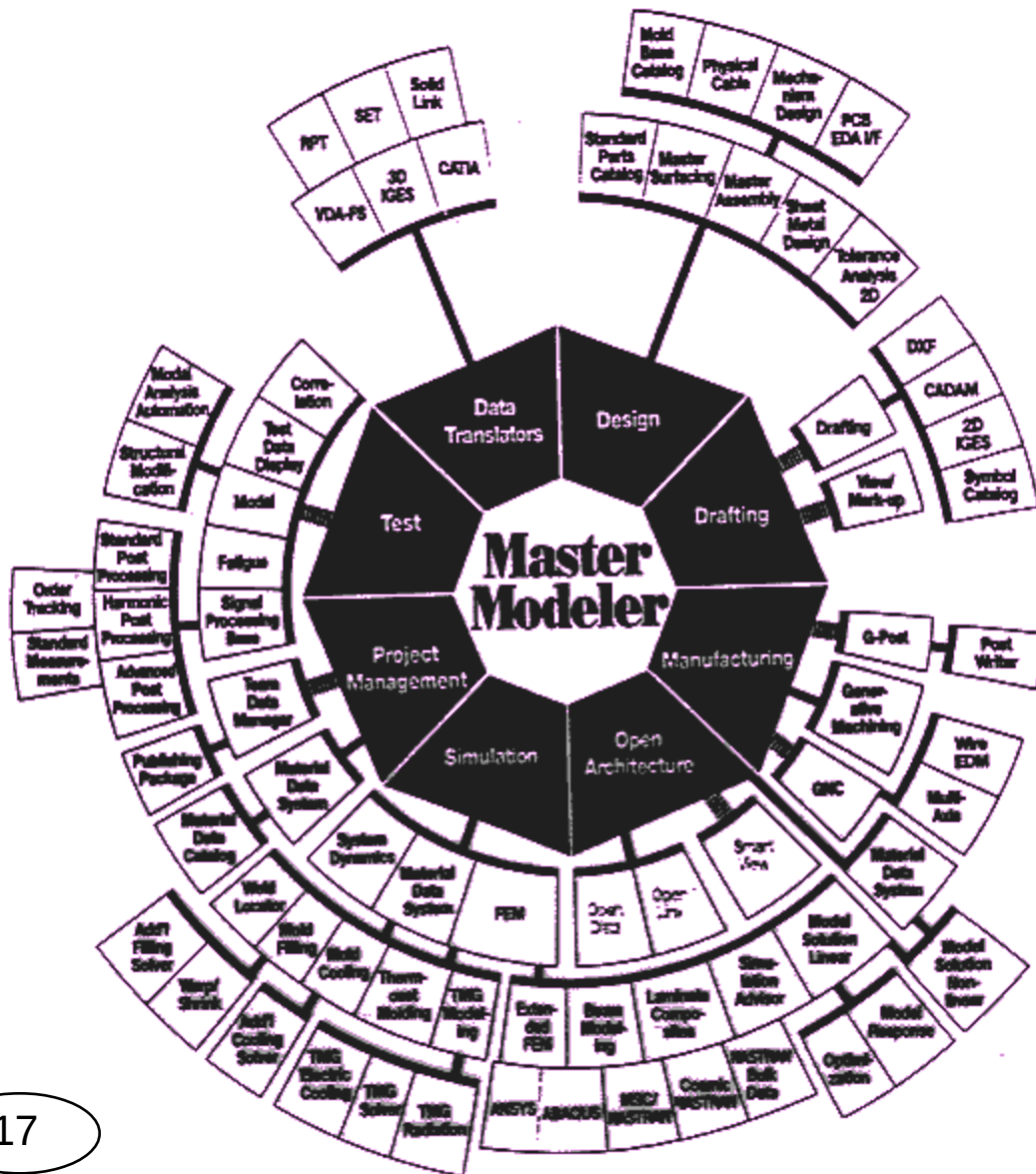
-  Modeleur volumique
-  Modeleur surfacique
-  Assemblage
-  Simulation de mécanisme
-  Mise en plan 2D (« Drafting »)
-  Calcul par Éléments Finis
-  Simulation d'usinage 3 axes
-  Simulation d'usinage 5 axes
-  Vérification d'usinage
-  Tolerie et métaux en feuille
-  Visite virtuelle
-  Rendu réaliste texturé





# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

## 1.4. Structure du logiciel I-DEAS



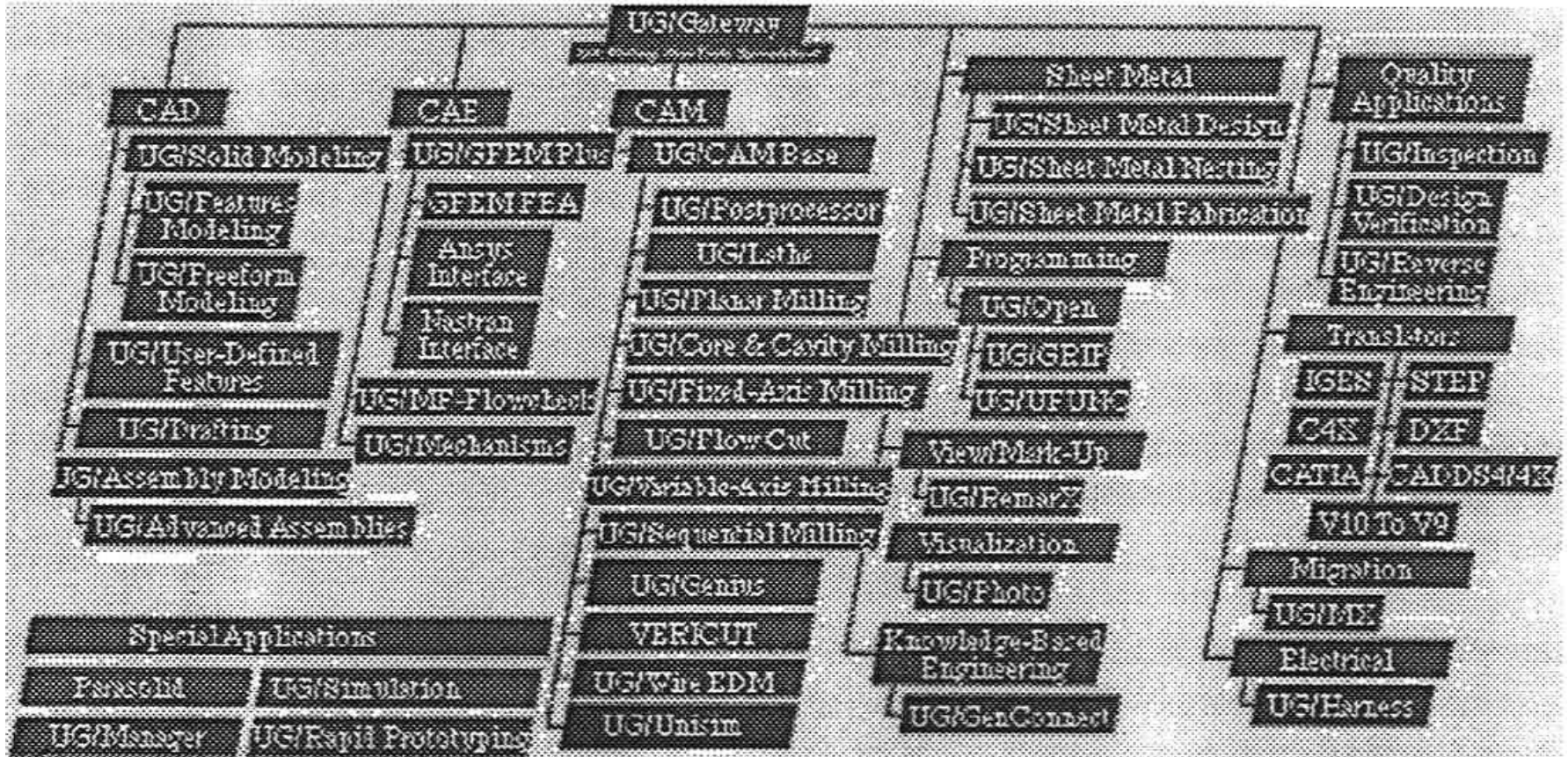
8 modules principaux

Des myriades de sous-modules

# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

## 1.4. Structure du logiciel Unigraphics

 Plus de 20 modules spécifiques







# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

## 1.5. Les spécificités des logiciels de CAO

☞ Chaque produit est **performant dans un domaine précis** et des **faiblesses apparaissent par ailleurs**

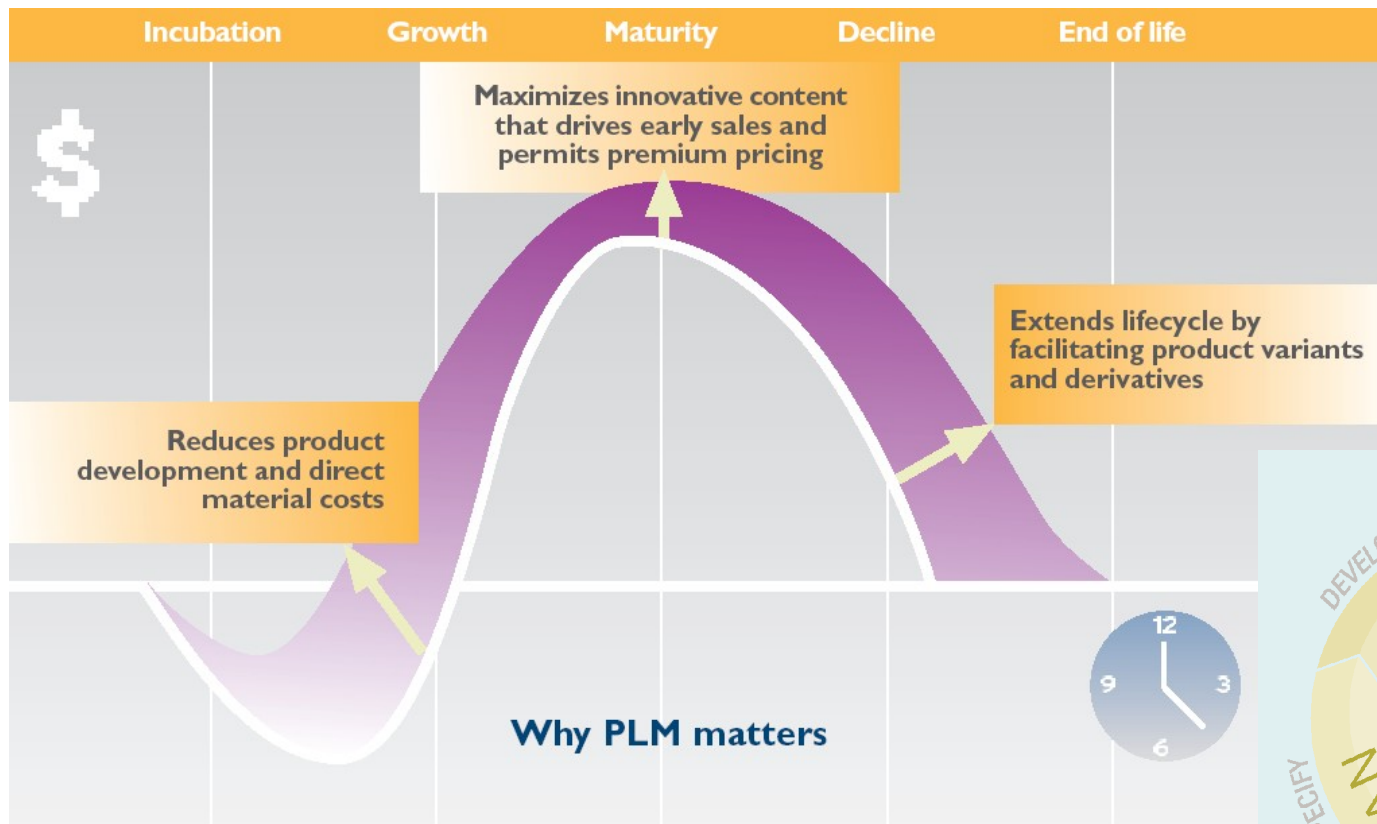
☞ Historiquement, ce sont de grandes entreprises qui ont investi dans le développement informatique pour un **besoin propre** :

- |                |   |   |
|----------------|---|---|
| - CATIA        |    | reconnu en <b>surfactive</b> (Dassault) |
| - I-DEAS       |   | reconnu en <b>calcul MEF</b> (Ford)     |
| - Pro Engineer |  | le précurseur du <b>paramétrage</b>     |
| - Unigraphics  |  | reconnu en <b>FAO</b> (General Motors)  |

# 1. La Conception Assistée par Ordinateur (CAO)

## 1.6. Vers la gestion complète du cycle de vie du produit

- Un objectif fédérateur pour les logiciels de CAO : compléter leurs lacunes et aller vers le **PLM** = **P**roduct **L**ifecycle **M**anagement



## 2. L 'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO) Plan

- ④ 2.1. Eléments de définition
- ④ 2.2. Conception simultanée
- ④ 2.3. Autres avantages de l 'IAO
- ④ 2.4. Le marché de l'IAO
- ④ 2.5. Réalité virtuelle en contexte d 'ingénierie
- ④ 2.6. Prototypage rapide
- ④ 2.7. Systèmes de Gestion de Données Techniques

## 2. L 'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO) Computer Aided Engineering (CAE)

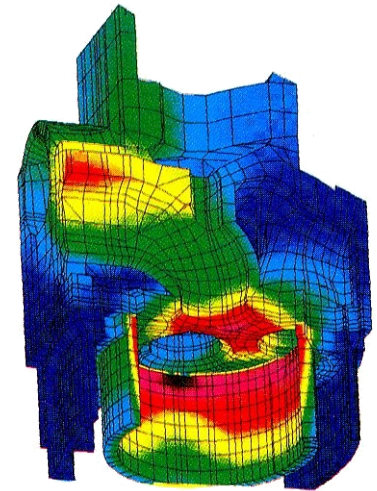
*« Cela fait un peu vieillot de parler aujourd 'hui de CAO. Il vaut mieux parler de processus de conception, ou encore d 'IAO. Ce qui inclut la maquette numérique (DMU, ou Digital Mock Up), les outils de travail coopératif à distance, les bases de données produits. Plus le calcul scientifique pour modéliser et simuler les crash-tests, l 'aérodynamique et la thermodynamique... »*

D 'après G. Ségara, délégué à la recherche chez Renault Industries, N°28, Juin 1997

## 2. L'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO)

### 2.1. Éléments de définition

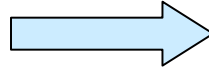
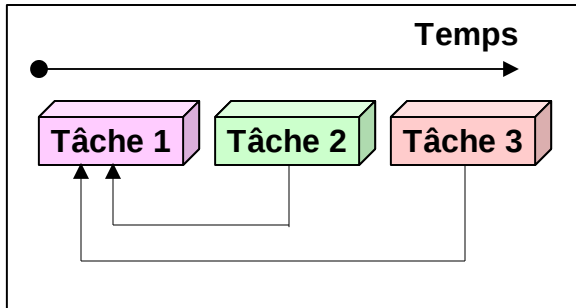
- 🔩 Concevoir en **3D** = dessiner + calculer + fabriquer en série
- 🔩 Concevoir un produit nouveau **ET** le processus industriel associé
- 🔩 Regrouper :
  - la **structure** du produit (nomenclature)
  - le **dimensionnement** du produit (notices de calcul)
  - le **processus** de fabrication (gamme de fabrication / d'assemblage...)
- 🔩 **IAO** = Ingénierie Assistée par Ordinateur  
**CAE** = Computer Aided Engineering
- 🔩 Notion de **maquette numérique**
  - ➡ Elle contient toutes les données du bureau d'études
  - ➡ Elle permet de travailler à plusieurs
  - ➡ Un outil fédérateur pour l'entreprise
- 🔩 Réduction sensible des délais (« Time to market »)
  - ➡ Conception de la gamme de moteurs PSA de 48 en 36 mois



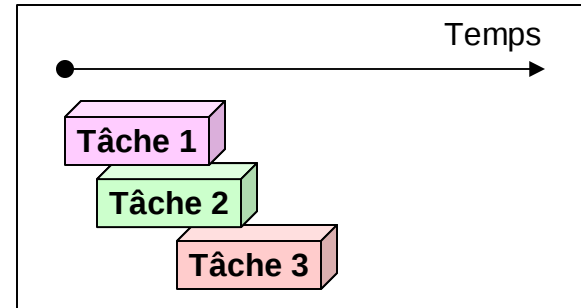
## 2. L'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO)

### 2.2. Conception simultanée



#### Processus séquentiel




#### Processus simultané (« concourant » = anglicisme)



#### Exemple chez Renault et PSA

-  1998-2002, désormais 150 fournisseurs qui travaillent en parallèle sur la même maquette numérique via un réseau sécurisé national
-  C'est l'**entreprise étendue**

#### Exemple chez Airbus

-  1988 - **A320** : des compétences multiples regroupées en plateaux-projets  
Conception, calcul, installation des systèmes, usines, maintenance...



# 2. L'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO)

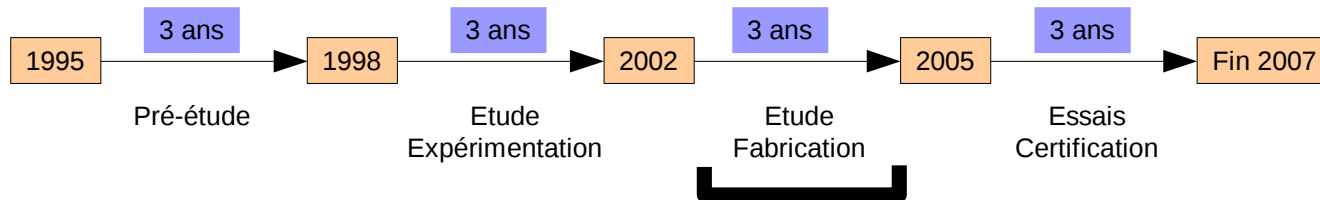
## 2.2. Conception simultanée : Exemple d'application

🌀 Exemple chez Airbus : l'**A380** (M. PERRIER, Chef de projet A380, CFM'2005)

➡ 2001 - **A380** : 1 bâtiment complet de 1200 personnes à Saint-Martin  
Tous les **métiers**, tous les **pays**, mais aussi les **clients** (compagnies aériennes)

➡ Organisation en 500 sous-groupes

➡ Projet complexe et long



Manque une maquette numérique globale  
570 t. au lieu des 470 t. Prévues (B747 = 370 t.)

➡ Néanmoins, utilité des outils numériques

- **Silence** : Simulation acoustique (bruit de jet / de pale)

- **Montage** :

- A300 : une cinquantaine de bâtis d'assemblage
- A380 : plus que 3 bâtis de 60 t.

- Minimisation des coûteux **essais** statiques et dynamiques :

- Essais CEAT : 8000 jauges / 300 vérins / Bâti de 1000 t.

➡ Premier vol le 27 avril 2005



Flèche : 6,8 m



## 2. L'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO)

### 2.3. Autres avantages de l'IAO

#### Suppression des prototypes physiques

➔ 100% numérique : plus économique et rapide  
(cependant, le **prototypage rapide** conserve un intérêt, c.f. 2.5)

Exemple chez ESI (France) :

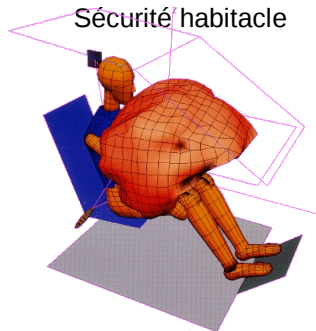
Simulation de comportement

Crash-tests virtuels

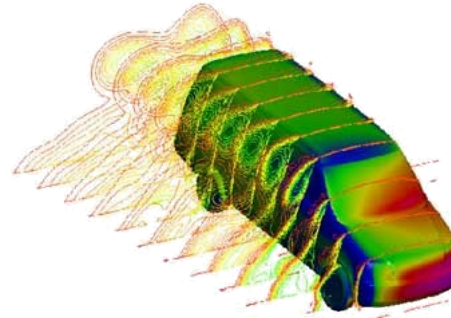


Simulation en conditions réelles

Sécurité habitacle

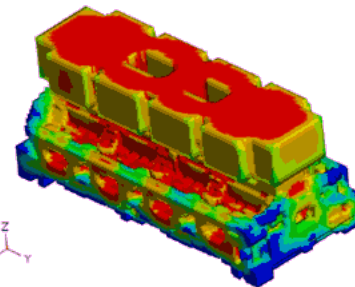


Aérodynamique

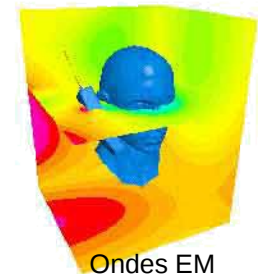


Procédés

Emboutissage



Fonderie



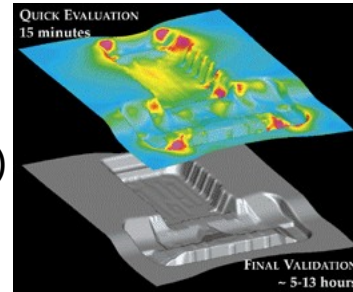
Ondes EM

➔ Retouche en **temps réel**

➔ **Outil fédérateur** entre les différents services de l'entreprise

➔ Contribution à une amélioration de la **qualité**

➔ Outil commercial de choix (Ex : **Citroën Picasso**)



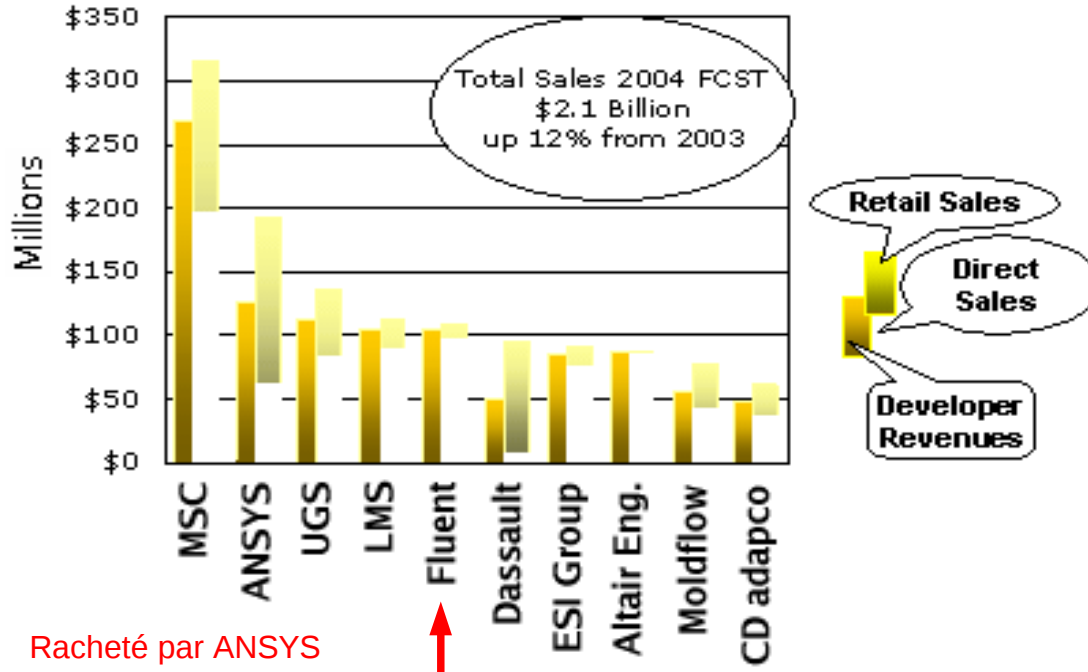
## 2. L'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO)

### 2.4. Le marché de l'IAO

#### Le marché en 2004

##### Software and Services Sales Digital Prototyping and Simulation (CAE)

##### Daratech Forecast 2004



Racheté par ANSYS  
(2006)



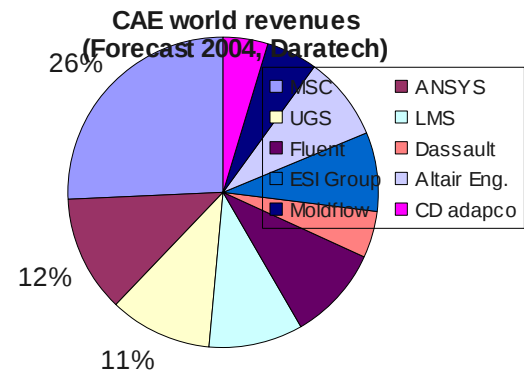
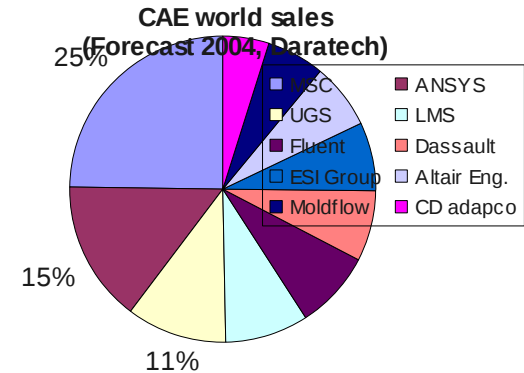
Un poids lourd généraliste : MSC / Un poids lourd spécialiste : ANSYS



Les généralistes CAO derrière (UGS, Dassault)



Deux groupes français (Dassault, ESI)



## 2. L 'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO)

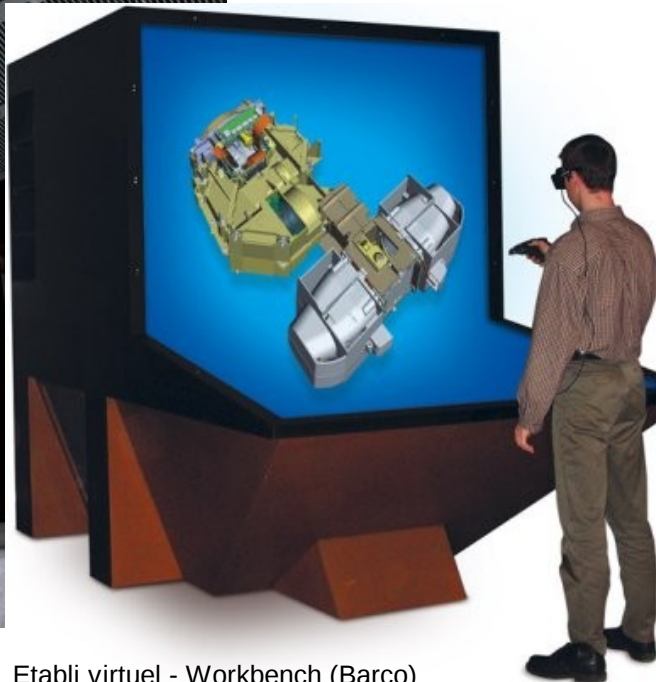
### 2.5. Réalité virtuelle

☞ Définition en 3 points (MICAD 2000) :

- ➡ Immersion (Image stéréo, niveau d'immersion fort ou faible)
- ➡ Interaction (Capteurs 3D, retour haptique...)
- ➡ Cognition (Intelligence du modèle)



Mur d'images 3D - CAD wall (Barco)



Etabli virtuel - Workbench (Barco)



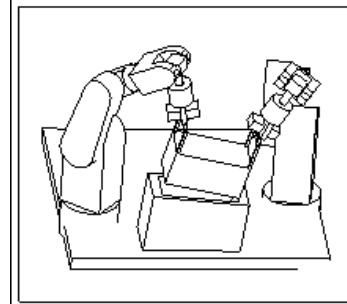
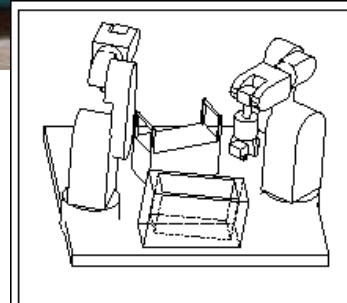
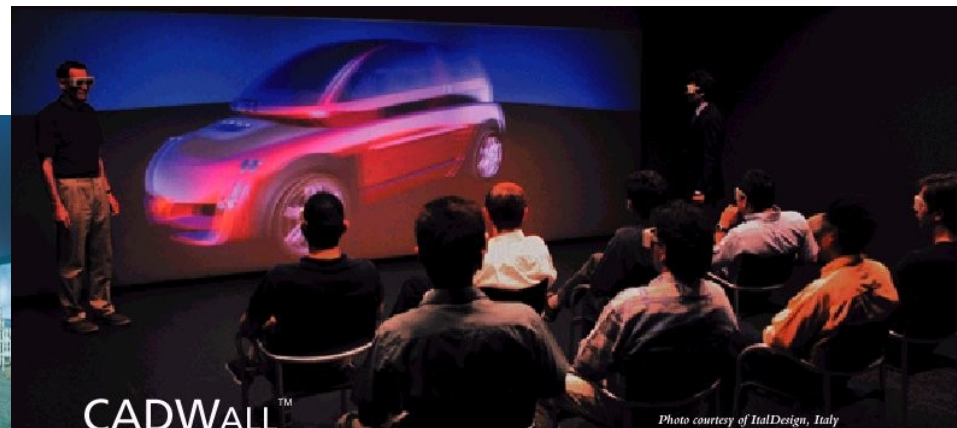
Bras à retour d'effort Phantom 3 (Sensable)

## 2. L'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO)

### 2.5. Réalité virtuelle

#### 🌀 Application typique : la revue de projet

- ➡ Prise de décision en groupe
- ➡ Evaluation du design
- ➡ Intégration dans le monde réel (Renault)
- ➡ Problèmes complexes d'assemblage ou de montage en milieu encombré



## 2. L'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO)

### 2.6. Prototypage rapide

#### 🌀 Pourquoi ?

- ➔ Obtenir rapidement une représentation 3D du produit pour les réunions de revue de projet
- ➔ Créer un moule ou un outil pour une présérie
- ➔ Réticences par rapport au « Tout virtuel » et possibilité de toucher la pièce (si faibles dimensions)

#### 🌀 Diverses techniques (cf. **maquettes**)

##### ➔ Stéréolithographie (Ex : 3D Systems)

- Un laser polymérise une résine couche par couche
- Matériau : résine Epoxy la plupart du temps
- Pièces métalliques obtenues par **moulage en cire perdue**  
(Pièce résine noyée dans du plâtre réfractaire / Pyrolysée à 1100 °C / Cendres évacuées par soufflage)

##### ➔ Imprimante 3D par dépôt de matériau

- Rapide et assez peu coûteux
- Matériel « de bureau »
- Ex : 300 x 400 x 600 dpi (xyz)
- Couches de 0,1 mm
- Matériau : ABS par exemple



## 2. L'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO)

### 2.6. Prototypage rapide (Suite et fin)

#### Diverses techniques (suite)



Frittage laser (Ex : Phenix-Systems)

- Matériau : poudre de métal ou de céramique
- Bonne résistance mécanique (moules utilisables 1000 fois)
- Possibilité de recuit et d'infiltration de bronze
- Idéal pour pièces sur mesure (prothèses auditives)



Multi-feuilles aluminium (Ex : Solidica)

- Consolidées par ultrasons
- Densité = 98% du solide



Stratoconception (Ex : CIRTES)



Carton multicouche



Usinage

- Matériaux tendres solides
- Liquides à mouler

#### Format d'échange de fichiers : STL



Représentation facettisée approchée

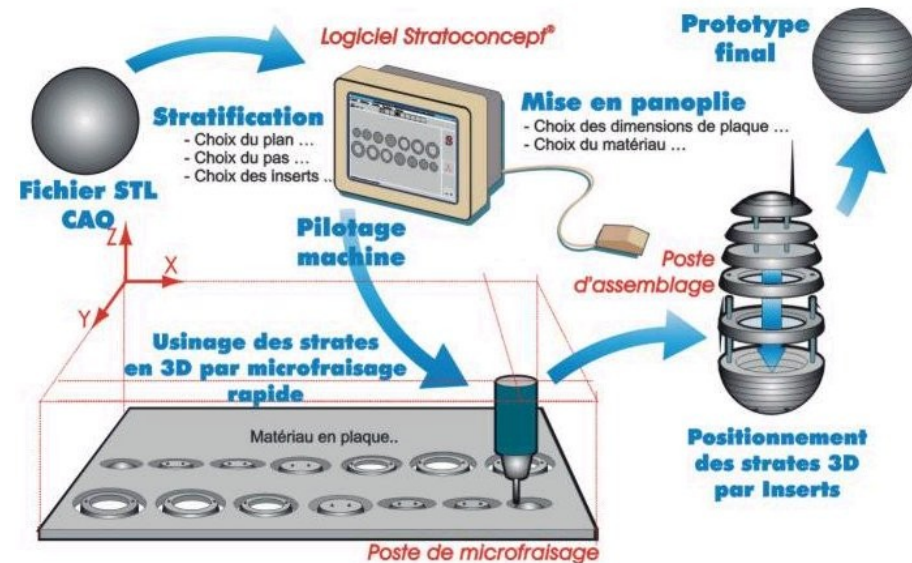
#### Complémentaire de la CFAO



Lenteur relative des procédés : de plusieurs heures à plusieurs jours



Une véritable imprimante 3D



## 2. L 'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO)

### 2.7. Systèmes de Gestion de Données Techniques

- ☛ Terminologie : **SGDT** ou **PDM** (**P**roduct **D**ata **M**anagement)
- ☛ But originel : fédérer toutes les données en rapport avec le produit
  - ➡ Maquette Numérique
  - ➡ Permettre la gestion du produit dans son cycle de vie (Product Life Management)
- ☛ Avantages :
  - ➡ Coffre-fort de l 'information
  - ➡ Historique des versions et traçabilité des modifications
  - ➡ Conception à plusieurs sans conflits
- ☛ But actuel : fédérer les données de l 'entreprise
  - ➡ Notion d 'ingénierie collaborative
  - ➡ BE + Achats + Fabrication + Essais + Marketing + SAV
  - ➡ Bientôt imbrication avec les sous-traitants
- ☛ Un marché extrêmement dynamique
  - ➡ Croissance soutenue de 25% par an de 1999 à 2001 (Cimdata)

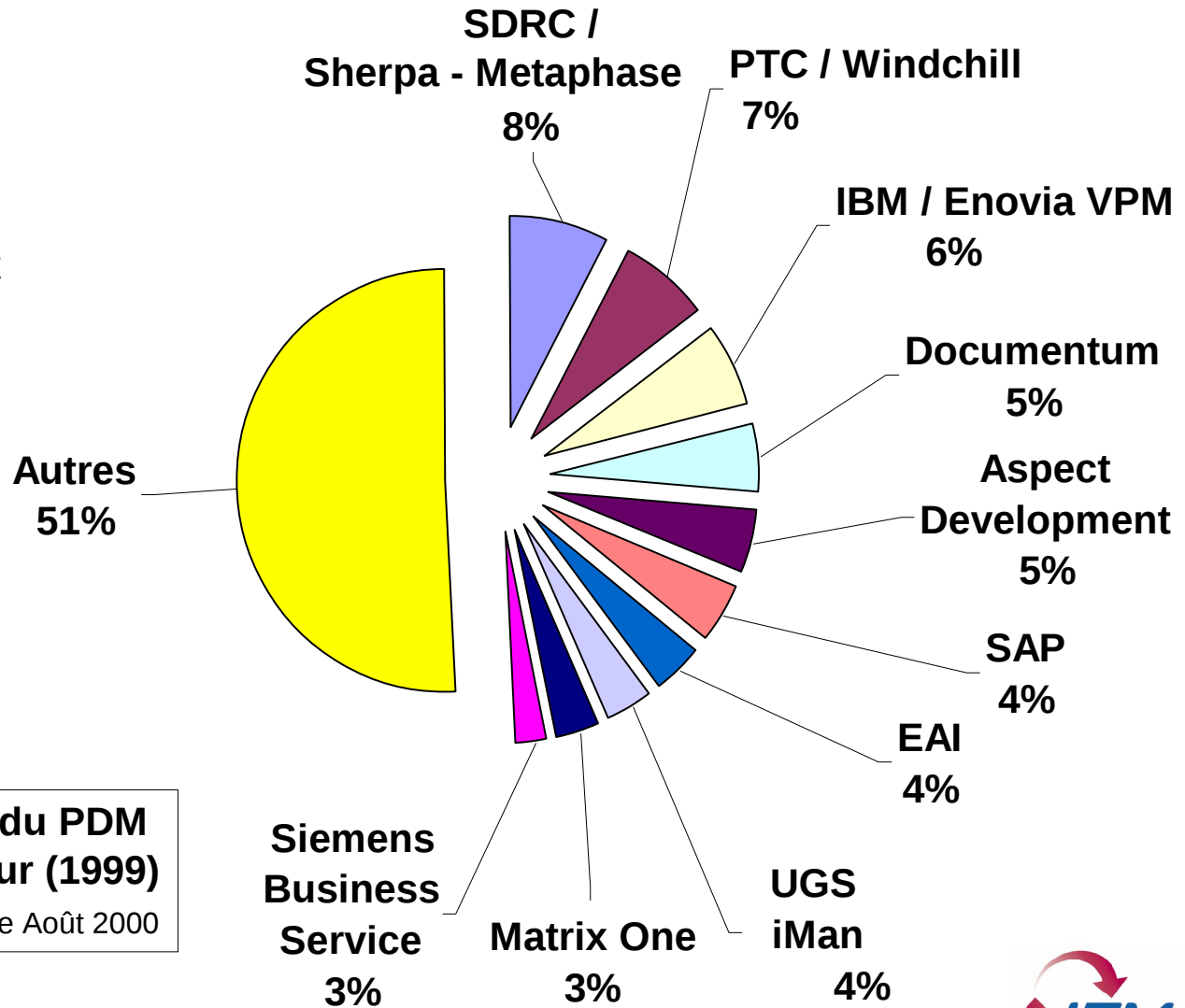


## 2. L'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO)

### 2.7. Systèmes de Gestion de Données Techniques

#### Les problèmes :

- ➔ C'est **LE** problème des années 2000
- ➔ Chaque éditeur fournit son propre SGDT
- ➔ Les standards tardent à émerger
- ➔ Une mise en place lourde et pénible
- ➔ Des logiciels qui doivent mûrir

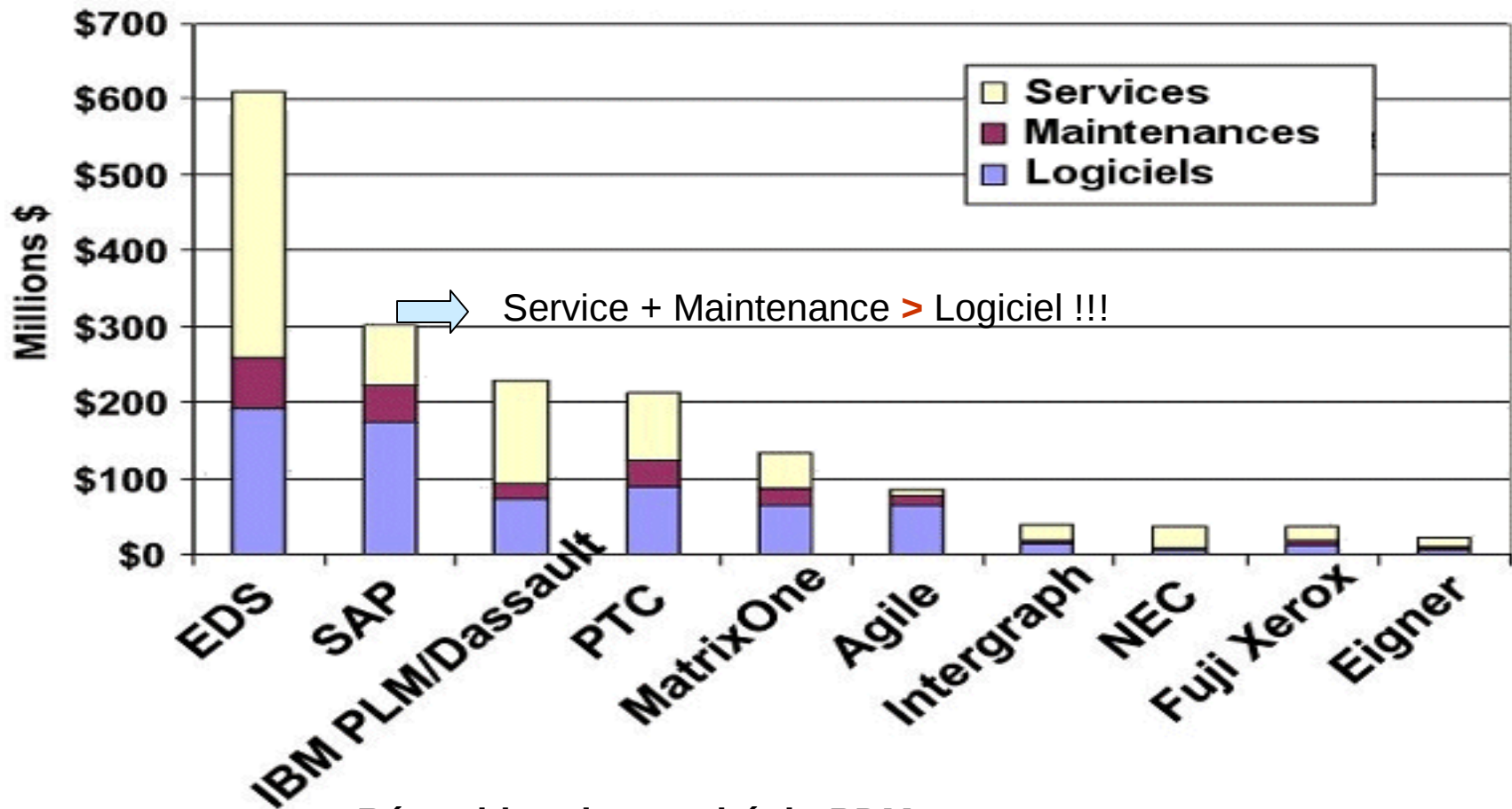


#### Répartition du marché du PDM par éditeur (1999)

Source : CIMDATA / L'Usine Nouvelle Août 2000

## 2. L'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO)

### 2.7. Systèmes de Gestion de Données Techniques



Répartition du marché du PDM par éditeur (2001)

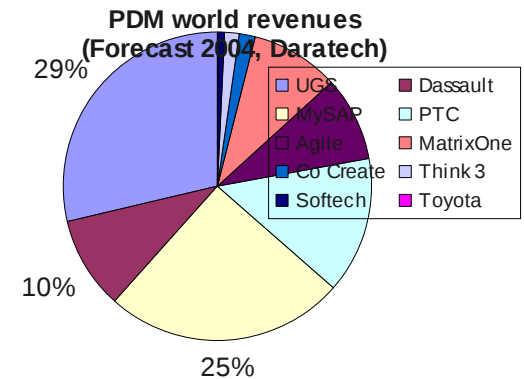
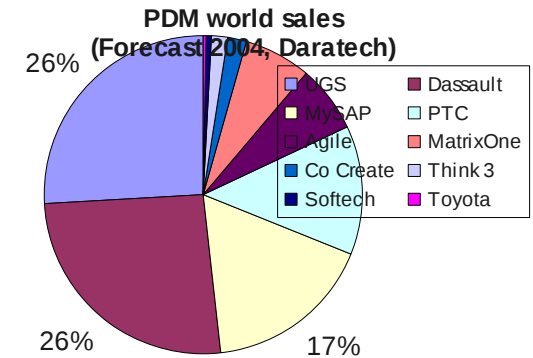
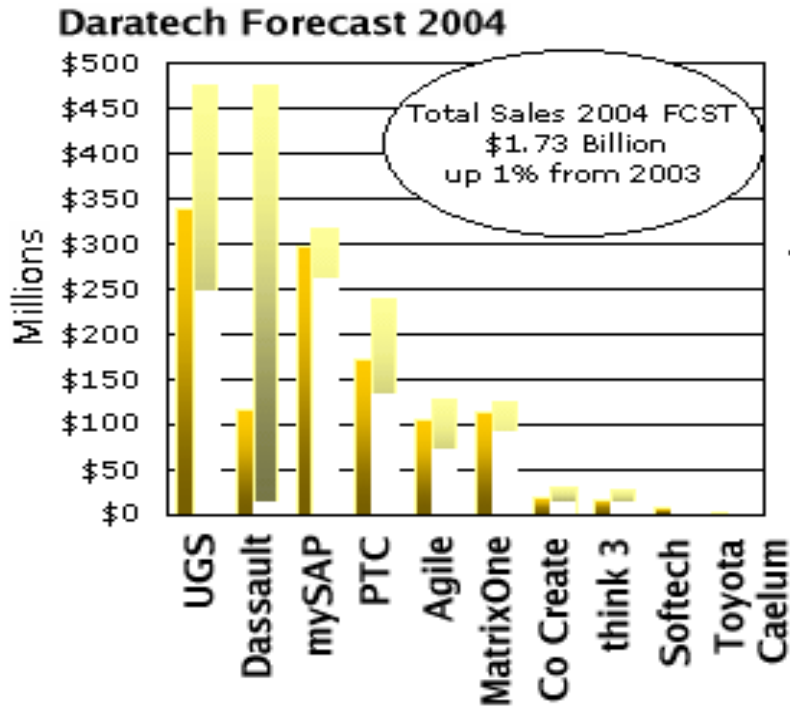
Source : CIMDATA / CAD Report Mai 2002

# 2. L'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO)

## 2.7. Systèmes de Gestion de Données Techniques

🌀 Le marché en 2004

Software and Services Sales  
Product Data Management



- ➡ UGS et Dassault se partagent 50% du marché
- ➡ UGS bien plus rentable
- ➡ En 2004, ce n'est plus une croissance à 2 chiffres

# 3. Les axes de recherche en CAO

## Plan

- ④ 3.1. Intranet
- ④ 3.2. Echanges de données et normalisation
- ④ 3.3. Modeleurs CAO : représentation interne des données
- ④ 3.4. La notion d'entité
- ④ 3.5. Adapter les outils aux métiers





## 3. Les axes de recherche en CAO

### 3.0. Perspectives selon les chercheurs en 1995

« Les éléments essentiels d'une chaîne de conception intégrée sont la communication entre les acteurs du processus de réalisation, une gestion cohérente des données, l'instauration de développements concourants et la prise en compte des besoins spécifiques de l'entreprise. »

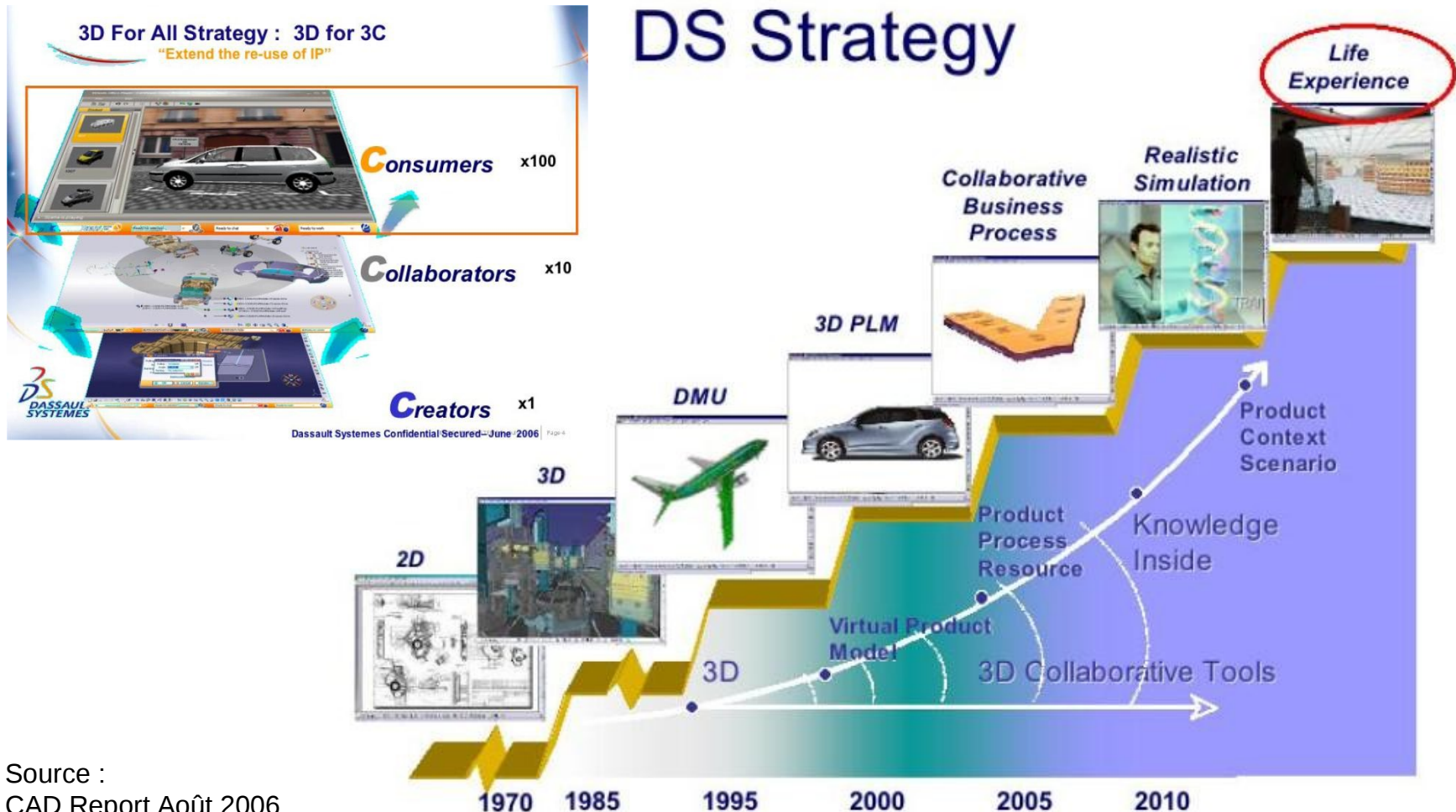
D'après S. ABOU-HAIDAR

4<sup>ème</sup> Colloque PRIMECA, La Plagne, 1995

-  Communication
-  SGDT
-  Conception concourante
-  Adaptation au besoin

# 3. Les axes de recherche en CAO

## 3.0. Perspectives selon Dassault Systèmes en 2006

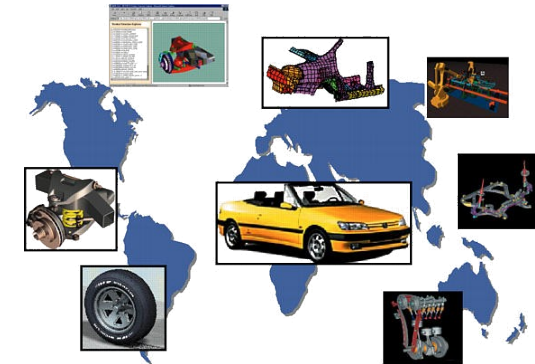


Source :  
CAD Report Août 2006

# 3. Les axes de recherche en CAO

## 3.1. Intranet

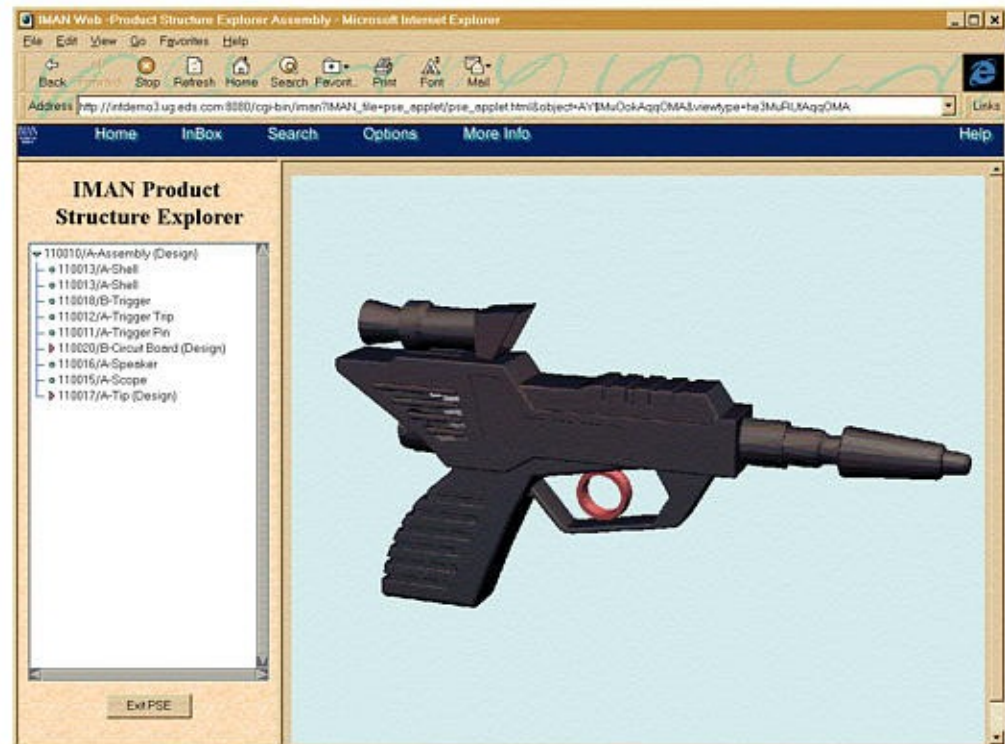
Utilisation du réseau Web comme support pour le **partage des informations** au sein d'une équipe ou d'une entreprise



La plupart des logiciels intègrent un **navigateur** (« browser »)

→ IMAN Browser

→ Module « Travail en groupe et conférence » de Catia



# 3. Les axes de recherche en CAO

## 3.1. Intranet (Suite et fin)

### 🌀 Visionneuses CAO (Ex: Product Vision de EAI)

➡ A distance, les utilisateurs peuvent :

- consulter le projet sans le logiciel de CAO
- l'annoter
- procéder à des mesures

➡ Format propriétaire allégé

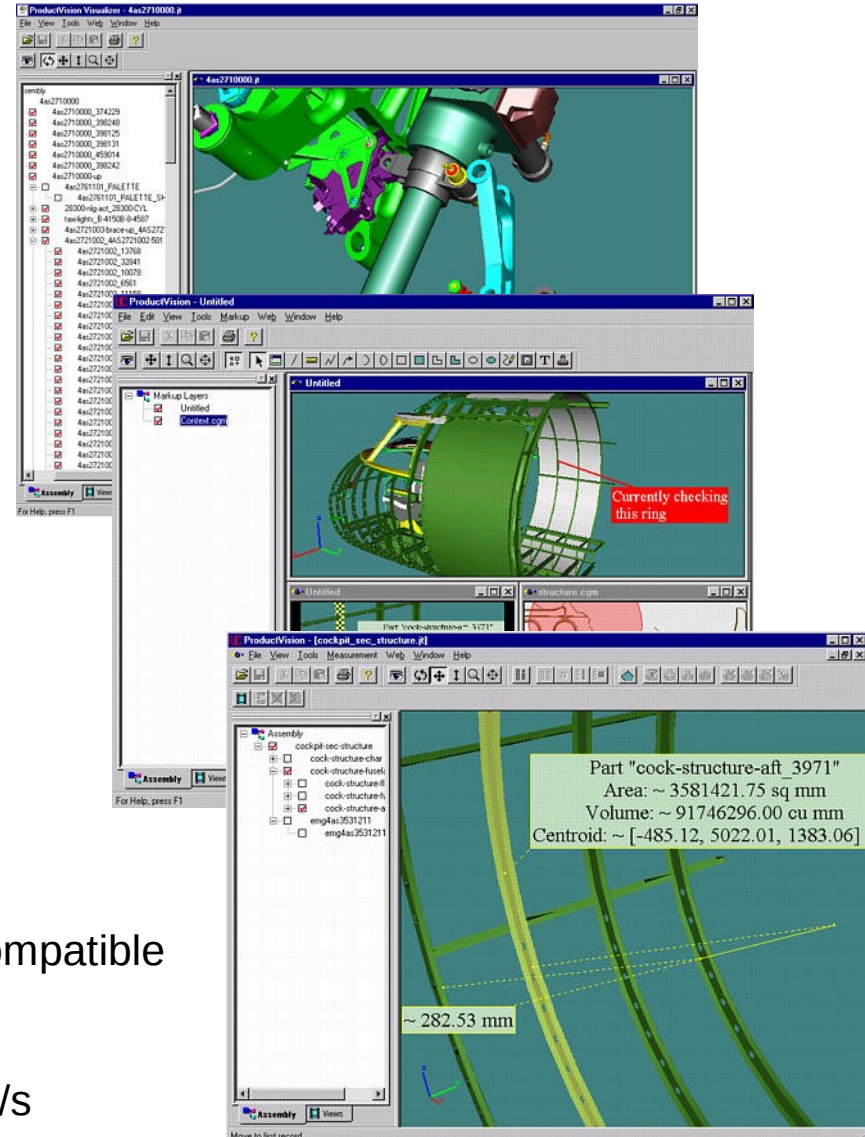
### 🌀 Problèmes - Inconvénients :

➡ Confidentialité pas encore parfaite

- Firewall
- Encodage SSL
- Gestion des droits des utilisateurs

➡ Volume des données difficilement compatible avec le débit du Web

- Web : débit Ethernet ~ 1 à 10 Mo/s
- CAO : de l'ordre de ~ 50 à 100 Mo/s





# 3. Les axes de recherche en CAO

## 3.2. Compatibilité des données

🌀 Problème : échange de données CAO par réseau entre entreprises

- ➡ Machines hétérogènes
- ➡ Logiciels hétérogènes et nombreux
- ➡ Mauvaise communication entre les différents acteurs de la conception
- ➡ Coûts et délais non optimaux

🌀 Néanmoins : structure commune des logiciels de CAO

- ➡ Tous les **modeleurs volumiques** sont construits sur une base objet
- ➡ Différents points de vue de chaque application sur le produit

Modeleurs  
« standards » :  
- ACIS  
- Parasolid  
- Granit One (PTC)  
- Open Cascade  
...

🌀 Des enjeux importants

- ➡ Des formats en évolution permanente (Ex: Catia V5R6 décodé par Datakit)
- ➡ Une volonté de secret (Ex: Pro Engineer encode son format de fichiers en V2000i)

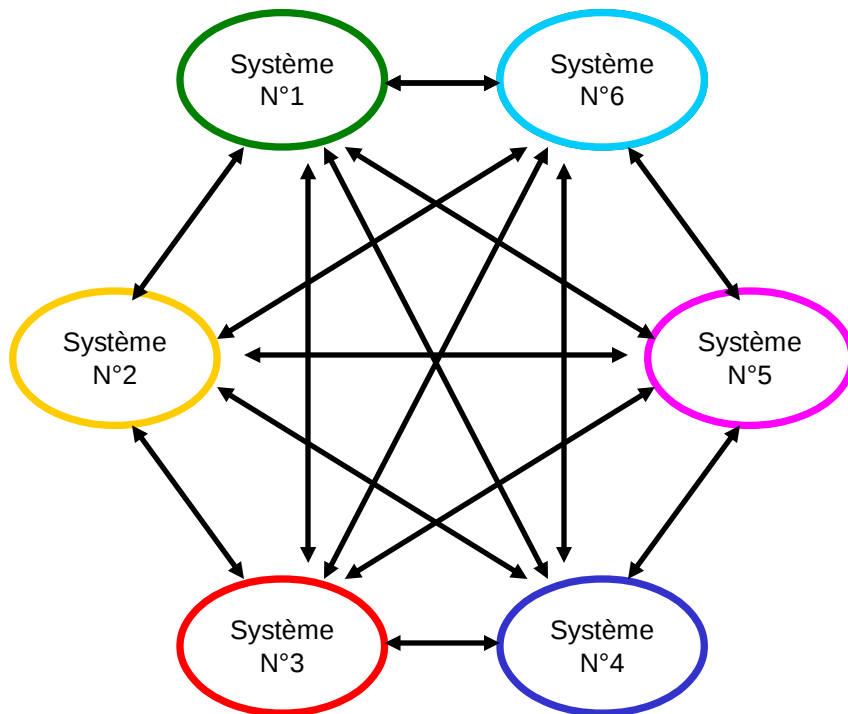
🌀 Tentatives de normalisation :

- ➡ IGES (Initial **G**raphics **E**xchange **S**pecification)
- ➡ STEP

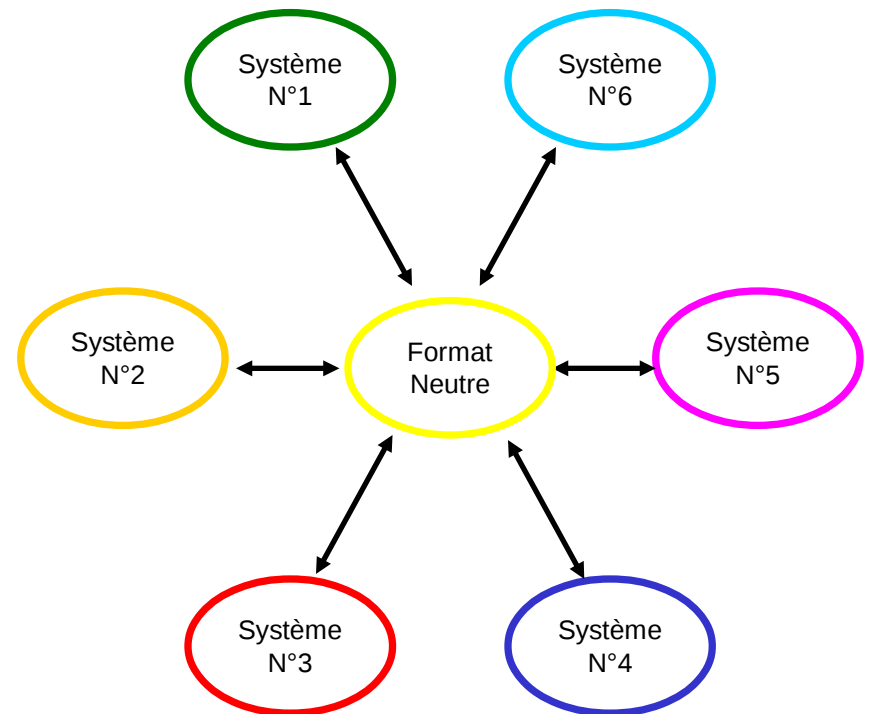
# 3. Les axes de recherche en CAO

## 3.2. Avantages d'une normalisation

Soient 6 systèmes CAO dotés chacun d'un format natif



Sans format neutre  
→ 30 convertisseurs



Avec format neutre  
→ 6 convertisseurs


### 3. Les axes de recherche en CAO

#### 3.2. STEP = Standard For Exchange of Product data

##### Un modèle de données unique ?

« STEP est un mécanisme neutre capable de caractériser complètement un produit à travers son cycle de vie. » [ Leveaux 93 ]

 Proposé par l'ISO

 Regroupe différents standards nationaux :

- SET (France)
- VDA (Allemagne)
- IGES (Etats-Unis)


 Représentation et échange de modèles de produits durant tout leur cycle de vie

- géométrie
- cinématique
- tolérances
- matériaux
- états de surfaces
- gamme de fabrication
- données administratives
- planification de projet
- ...

 Formalisme **EXPRESS** = véritable langage de programmation orienté objet, pour représenter les données des différents Protocoles d'Application (AP) de STEP

- AP 203 (Mécanique)
- AP 214 (Automobile)
- AP...

**Indépendance** vis-à-vis du logiciel de XAO utilisé




 **Compatibilité** des données = souci **majeur** dans l'industrie

( Plus que l'Intranet )




## 3. Les axes de recherche en CAO

### 3.3. Modeleurs CAO : notion de qualité d'un modèle

 Le fichier CAO est un support de communication

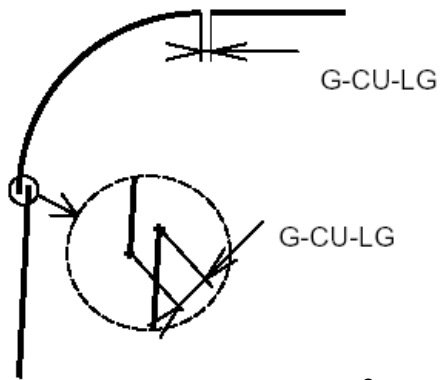
-  Fichier CAO = moyen d'échange entre sous-traitants et donneurs d'ordres
-  Créé par l'un, il doit être lisible par tous
-  Ex : Renault exige de Valéo un standard de qualité pour ses fichiers CAO

 Le fichier CAO contient parfois des défauts

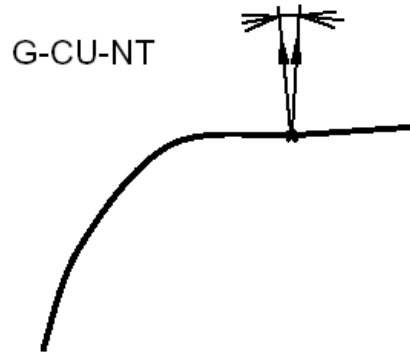
-  Des erreurs dans les conventions (Ex : contenu des calques, stratégie de conception...)
-  Des erreurs dans la géométrie
  - courbes
  - surfaces
  - volumes
-  Des logiciels spécialisés dans la réparation des fichiers CAO

# 3. Les axes de recherche en CAO

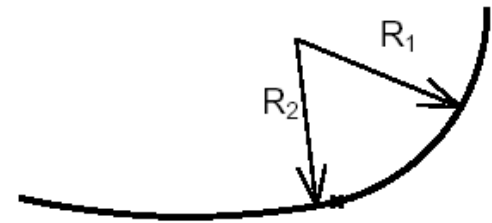
## 3.3. Modeleurs CAO : qualité des courbes



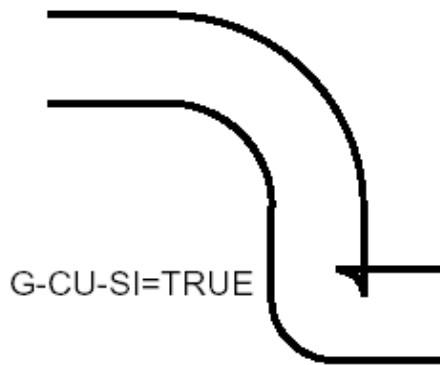
Discontinuité  $C^0$



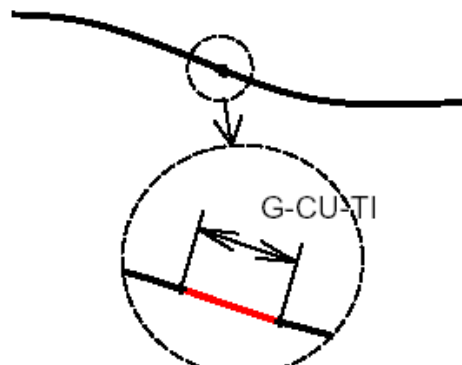
Discontinuité  $C^1$



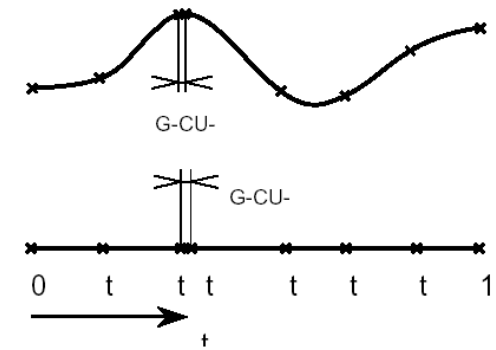
Discontinuité  $C^2$



Auto-intersection



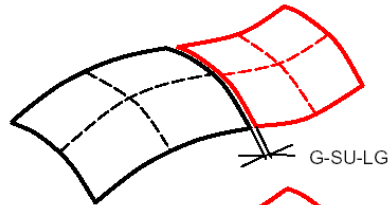
Micro-courbe



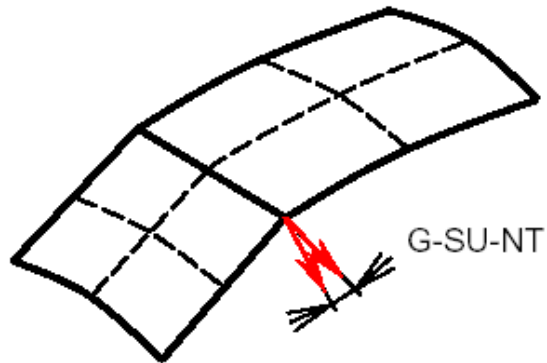
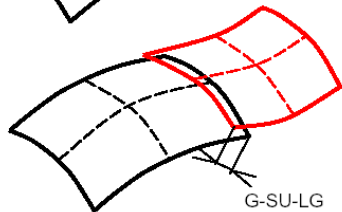
Noeuds indistincts

# 3. Les axes de recherche en CAO

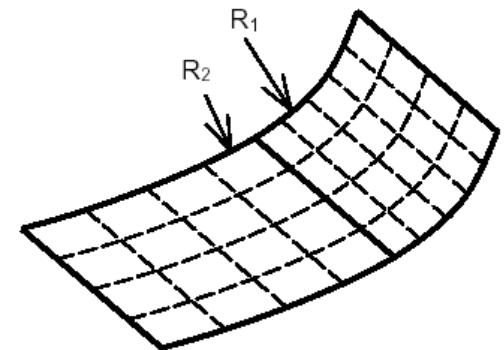
## 3.3. Modeleurs CAO : qualité des surfaces



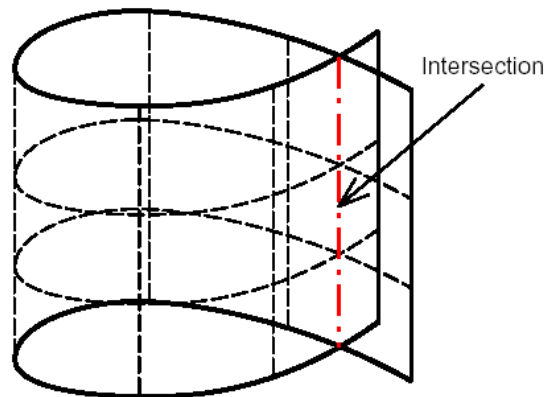
Discontinuité  $C^0$



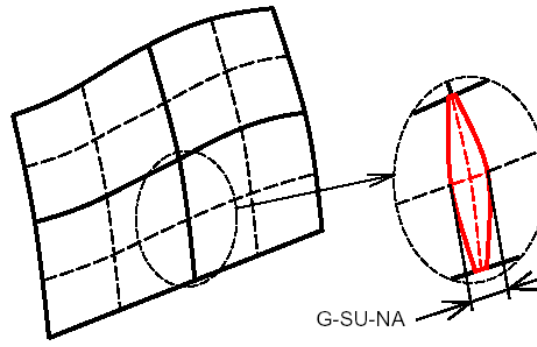
Discontinuité  $C^1$



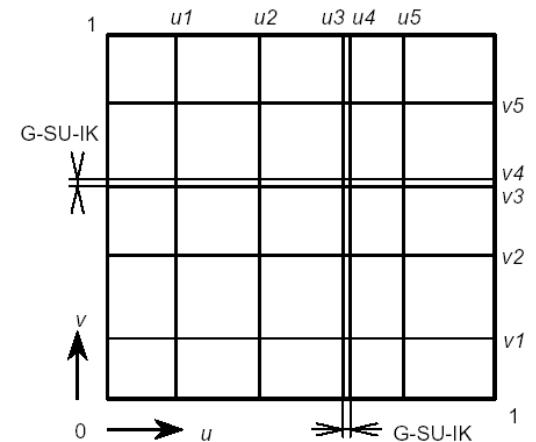
Discontinuité  $C^2$



Auto-intersection



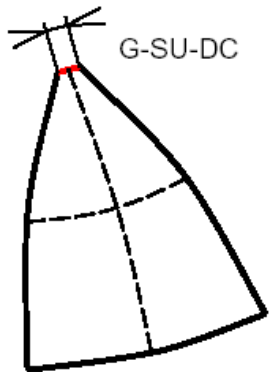
Micro-surface



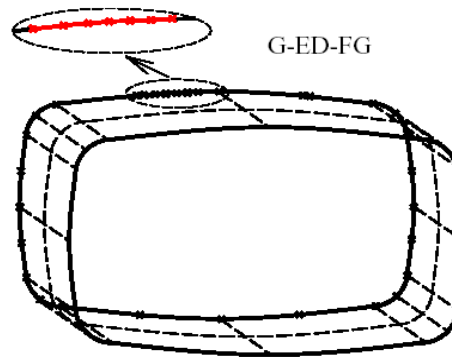
Noeuds indistincts

# 3. Les axes de recherche en CAO

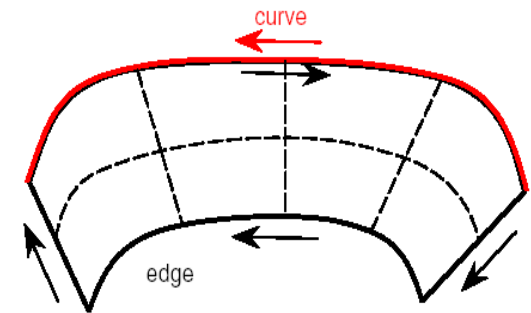
## 3.3. Modeleurs CAO : qualité des surfaces



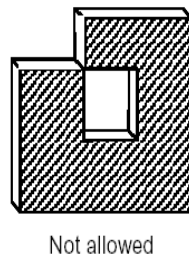
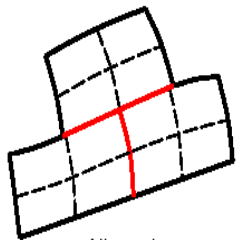
Frontière dé générée



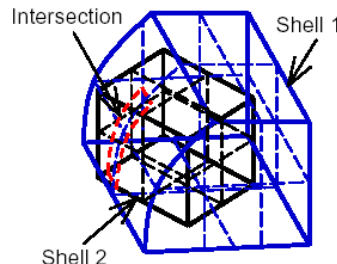
Frontière fragmentée



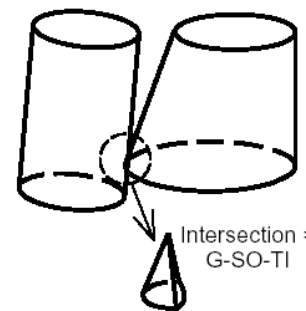
Frontière mal orientée



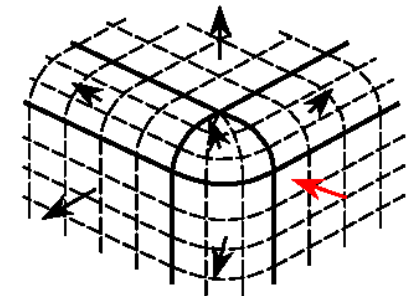
Arête commune entre faces (non manifold)



Volume inclus



Micro-volume



Normale mal orientée

# 3. Les axes de recherche en CAO

## 3.3. Modeleurs CAO alternatifs

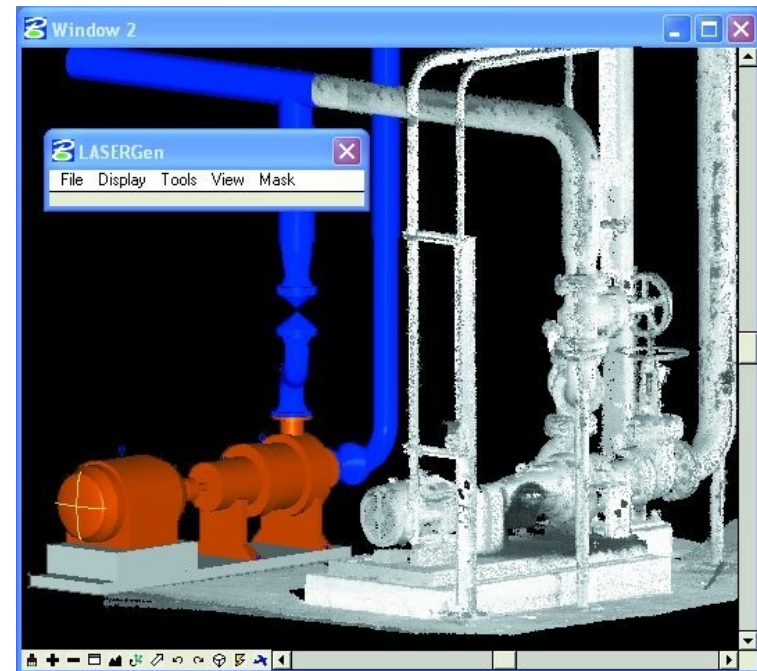
### ☞ Une alternative moins répandue

- ➔ Modélisation par **VOXELS** (VOLUME piXELS)
  - Représentation volumique discrétisée en petits cubes
- ➔ Stockage optimal dans des arbres de type **Octree**
  - Tout volume est approché par un ensemble de cubes
  - Pour coller au plus près des formes, tout cube est décomposable récursivement en 8 sous-cubes jusqu'à une certaine précision (capacité RAM)

- ➔ Applications :
  - Arts plastiques : on sculpte la matière
  - Surfaces complexes (Ex : moule de semelle de chaussure)



- Scan 3D par laser de pièces existantes
- Reconstruction virtuelle de sites industriels (Lasergen de Bitwise Solutions)





# 3. Les axes de recherche en CAO

## 3.4. La notion d 'entité

🌀 Notion d 'entité (« feature ») apparue dans les années 1970

➡ Notion d 'objet paramétré

➡ Mise en pratique depuis peu :  
- Amélioration des modeleurs paramétrés  
- Couplage SGBD orienté objet

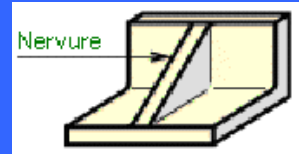
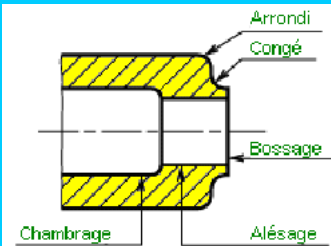
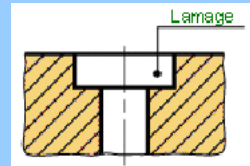
➡ Nombreux projets de mise en œuvre de ce concept  
- Conception  
- Usinage

➡ Les logiciels du marché ont inclus cette notion de façon simple  
- Bibliothèques d 'entités standards :

lamages , congés, bossages, nervures ...

- Personnalisation possible :





➡ facile de décliner une pièce en plusieurs dimensions



## 3. Les axes de recherche en CAO

### 3.4. La notion d 'entité (Suite)

 La **recherche** sur les entités porte sur :

-  L 'enrichissement de l 'information contenue dans cette entité, tout au long du processus de conception
-  Projet **FIRE** : approche à plusieurs niveaux
  - Conception
  - Calcul
  - Usinage
-  Automatisation de certains mécanismes d'analyse par **reconnaissance d 'entités** ou de formes fonctionnelles
-  Application à l '**usinage** :
  - **Décomposition** d 'une pièce complexe en éléments simples correspondant à des **étapes élémentaires d 'usinage**
  - Génération possible de **gammes d 'usinage**





 La démarche est **en accord complet** avec la norme STEP

## 3. Les axes de recherche en CAO

### 3.4. Points de vues sur les entités

#### Exemple de forme géométrique :

Trou alésé vu par les différents intervenants

-  Pour le **concepteur**  
Surface complémentaire de la **barre de guidage**. Ce sont ses **qualités de guidage** (précision, glissement, ...) qui l'intéressent
-  Pour le **gammiste**  
Alésage résultant du travail d'un **foret** puis d'un **alésoir**.  
C'est l'aspect « **qualité de réalisation** » qui l'intéresse
-  Pour le **spécialiste de la prise de pièce**  
Cavité pour centreur. C'est la **dispersion sur la qualité** de toute la série et la **résistance de la surface** qui l'intéressent.
-  Pour le **forgeron**  
Celui-ci ne **voit pas un trou**. Son obtention est impossible par les techniques de forge classique.

## 3. Les axes de recherche en CAO

### 3.4. Entités liées à la conception

#### Entité de conception fonctionnelle

- Choix de solutions technologiques qui se traduisent par des **surfaces fonctionnelles**.  
Pour l'instant, la **relation forme - fonction** n'est pas encore maîtrisée
- **Ex:** guidage en rotation, liaison engrenage

#### Entité de peau

- Permet de décrire des surfaces fonctionnelles composant un mécanisme
- Expression de contraintes sur les surfaces

#### Entité squelette

- Décrit le flux de matière de la pièce lors de la conception. Permet aux différents fabricants d'appliquer une partie de leurs connaissances métier.

### 3. Les axes de recherche en CAO

#### 3.4. Entités liées à la conception (Suite)

##### Entité abstraite ou de liaison

 On l'utilise quand toutes les variables ne sont pas définies

 **Notion de géométrie floue [ MON 91 ] ou conception par moindre engagement [MAN 89a]**

##### Entité topologique

 Expriment les relations topologiques **entre** et **dans** les entités

##### Entité de précision ou de tolérance





 Déviation acceptable par rapport à la forme / taille nominale

- Entité de tolérance couplée à un paramètre d'une **entité de forme** (diamètre)
- Entité de tolérance qui a un effet sur la relation entre les **éléments géométriques** (//)


# 3. Les axes de recherche en CAO

## 3.4. Entités liées à la fabrication


### Entité d'assemblage

-  Orientation relative de la pièce
-  Surfaces d'interaction
-  Relations cinématiques
-  Ajustages

### Entité d'usinage

-  Elle est définie par une forme géométrique et un ensemble de spécifications pour lesquelles un processus d'usinage est connu

### Entité prise de pièce

-  C'est une forme géométrique et un ensemble de spécifications pour lesquels une qualité de posage et de bridage sont reconnus


# 3. Les axes de recherche en CAO

## 3.4. Autres entités

### Entité matériau

 Composition, couleur, propriétés mécaniques ou électriques, consignes de traitement


### Entité technologique

 Autres informations sur :

- Gamme d'usinage
- Maintenance
- Tests de performance
- ...

 Contient des informations utiles au calcul en CAO

### Entité administrative

 Autres informations sur :

- Références
- Fournisseurs
- Détails d 'approvisionnement
- ...

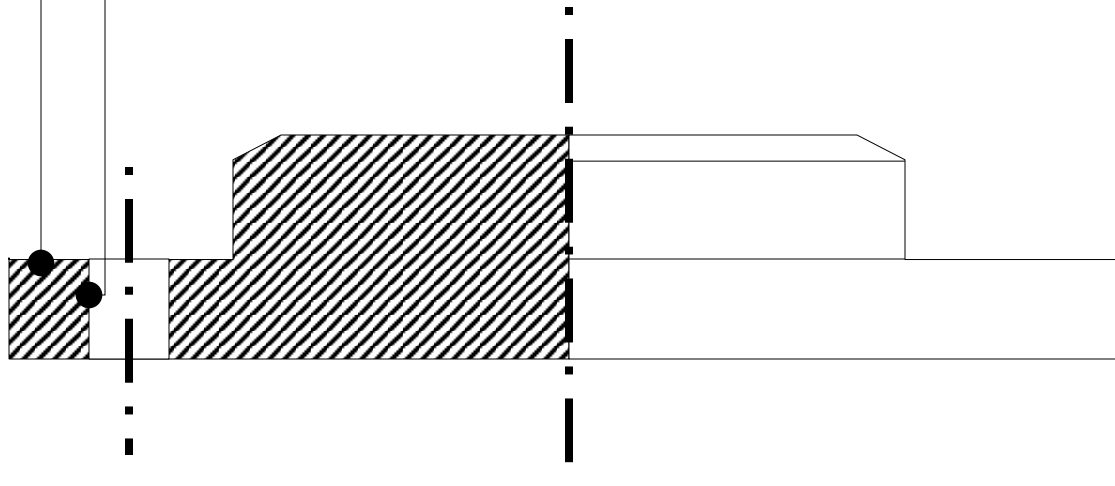
### 3. Les axes de recherche en CAO

#### 3.4. Exemple de vues d'une même entité

#### Exemple d'un bouchon de carter

- Vue géométrique : plan
- Vue fabrication : dressage
- Vue conception : surface d'appui

- Vue géométrique : cylindre
- Vue fabrication : perçage
- Vue conception : trou de passage de vis










## 3. Les axes de recherche en CAO

### 3.4. Entités : Perspectives

#### Taxonomie des entités

-  Les entités sont très **variées**, il faut donc essayer de les classer
-  Classification orientée **fabrication**
-  Classification par **familles** de pièces
-  Classification par entités d'usinage et par entités de la gamme de fabrication

#### Méthodologie de modélisation par entités : 2 approches

-  Approche « a priori »
  - La conception débute par des notions fort abstraites
  - Enrichissement progressif de la géométrie et des autres informations
  - Conception générale plutôt que détaillée
  - Le concepteur ne doit pas faire de choix arbitraire

## 3. Les axes de recherche en CAO

### 3.4. Entités : Perspectives (Suite et fin)

#### Méthodologie de modélisation par entités : 2 approches

- ➡ Approche « a posteriori »
  - La plus utilisée
  - Correspond à la conception détaillée
  - Les entités définissent la forme, les propriétés des matériaux, la géométrie variationnelle

#### Conception par entités :

- ➡ Démarche prometteuse permettant l'intégration des métiers
- ➡ Les entités sont disponibles dès le début de la conception : méthode naturelle mais impliquant de faire des choix implicites ou inconscients
- ➡ Les concepteurs ne sont pas encore très familiers de ce mode de conception mais tous les logiciels récents s'en réclament

#### Reconnaissance automatique d'entités

- ➡ Développement d'outils informatiques pour :
  - Traiter et décoder la BDD du modéleur solide
  - Retrouver les formes géométriques et remonter à l'usinage

# 3. Les axes de recherche en CAO

## 3.5. Adapter les outils aux métiers

Les logiciels de CAO permettent :

➔ D'ajouter une **fonction spécialisée** développée sur mesure

➔ On peut donc **greffer des branches** supplémentaires au tronc commun du modelleur

**I-DEAS** ➔ Open Architecture

**Unigraphics** ➔ GRIP

**CATIA V4**

➔ **IUA** : langage interprété permettant à l'utilisateur d'écrire des scripts

➔ **CATGEO** : bibliothèque de plusieurs centaines de fonctions FORTRAN  
Accès à la base de données CATIA

- en lecture (lecture de dimensions, d'informations)

- en écriture (création, modification ou destruction d'entités ou de données)

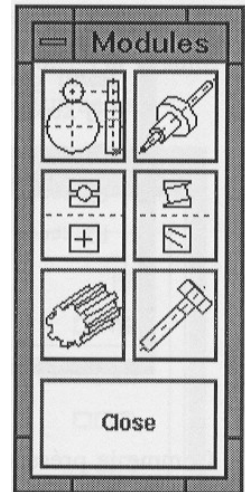
➔ **GII** : la boîte à outils du programmeur

- permet de créer de nouvelles fonctions CATIA

- permet d'intégrer les connaissances société au logiciel

**CATIA V5**

➔ **Visual Basic** : macros-commandes ➔ **C++** : classes complètes



## 3. Les axes de recherche en CAO

### 3.5. Adapter les outils aux métiers

#### Inconvénients :

- Risque de péremption de l'application développée si on travaille isolément.  
Mieux vaut établir un partenariat fort avec l'éditeur de CAO

Exemples : **General Motors / UG** , **Ford / I-Deas**

- Cette démarche est loin de la philosophie des applications métier puisqu'on **adapte** un outil pré-existant à ses besoins spécifiques






#### Des **bibliothèques de classes d'objets** réutilisables permettent de satisfaire les critères de conception concourante

Lorsque le système de CAO - FAO n'est plus satisfaisant, la base de développement offrant des composants modulaires et ré-utilisables permet de résoudre des problèmes particuliers dans un contexte métier

## 3. Les axes de recherche en CAO

### 3.5. Adapter les outils aux métiers

 Liste non exhaustive des besoins à satisfaire dans le futur

-  Etre indépendant de la **plate-forme** utilisée (Matériel + Système d'exploitation)
-  Posséder une architecture d '**application distribuée** qui assure une capacité d'ouverture vers l 'extérieur
-  Avoir une **gestion centralisée** et cohérente des données
-  Etre d'une technologie d'avenir afin d'assurer la **compatibilité** entre les versions et une certaine **pérennité** dans le temps
-  Pouvoir s'adapter à des domaines d'applications spécialisées et permettre d'inclure des **connaissances** relatives au **métier**

# 3. Les axes de recherche en CAO

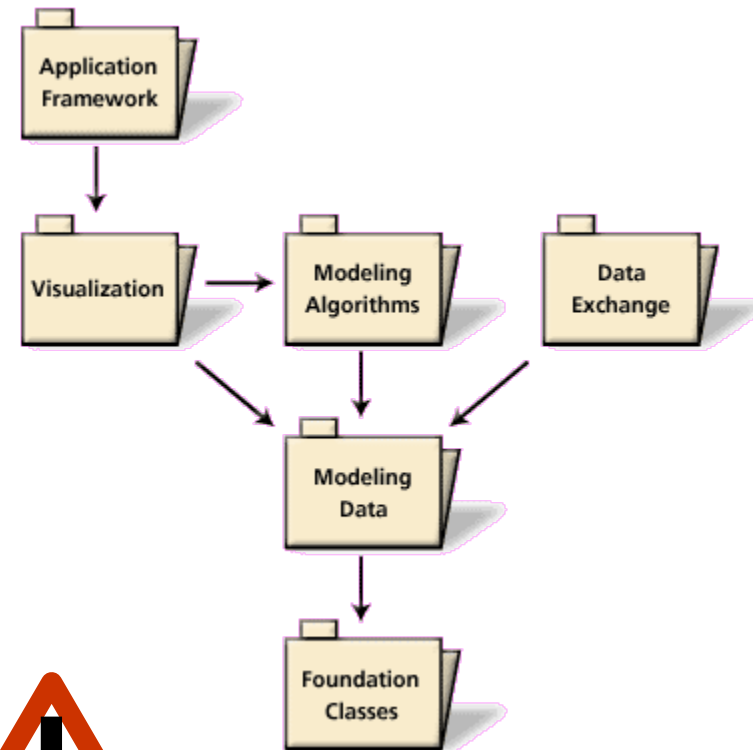
## 3.5. Adapter les outils aux métiers : Cascade

### ☞ Un exemple frappant

- ➔ **Cas.Cade/SF** de Matra Datavision
- Boîte à outils pour la CAO (Euclid)
  - POO et C++  
(modulaire, réutilisable, héritage...)
  - Maturité indiscutable
  - Utilisation industrielle possible



- ➔ **2000 : Open Cascade**
- Open Source
  - Multi plate-forme (Linux, Unix, NT)
  - Gère les formats neutres (IGES, STEP)
  - Très complet
  - Documenté
  - En évolution constante



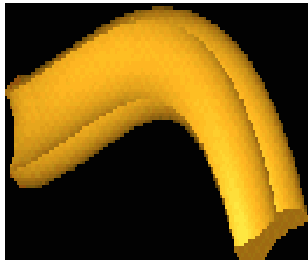
# 3. Les axes de recherche en CAO

## 3.5. Adapter les outils aux métiers : Cascade

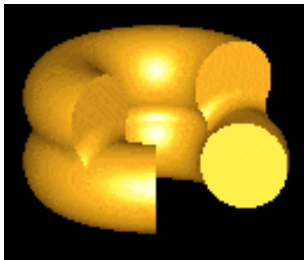
Des capacités multiples :

→ Adapté à la conception intégrée au sein d'une entreprise

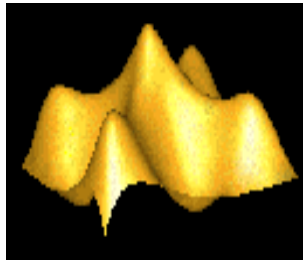
Extrusion



Op. booléennes



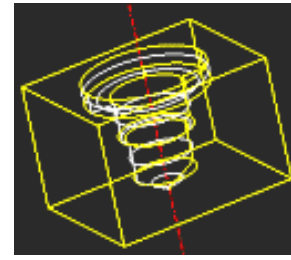
Surfacique



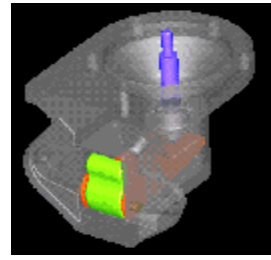
Chanfreins



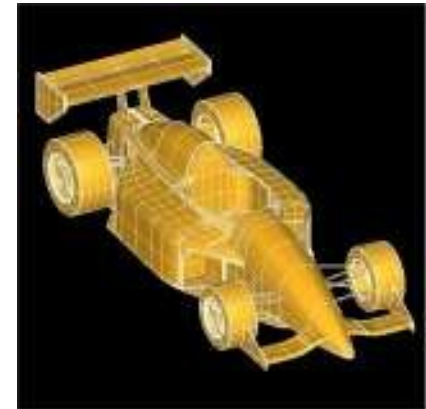
Entités



Visualisation



Exemples de modèles  
créés avec Open Cascade



Idéal pour développer des outils métier


# CFAO et Usine Numérique

## Conclusion

 La CFAO à l'IFMA

 Réalité virtuelle :  
Salle Cre@vi

 De saines lectures :

-  Harvest ([Bibliothèque](#))
-  L'Usine Nouvelle ([Bibliothèque](#))
-  CAD Report ([Ifmanet > Bibliothèque > Index général du CAD report](#))
-  Art of Design (<http://www.art-of-design.com>)
-  Portail de la CAO et journal en PDF 3D<sup>2</sup> (<http://www.cao.fr>)
-  L'actualité du cPLM (<http://www.cplmcommunity.com>)





# Jargon

## Acronyme anglais

CAD  
CAE  
CAM  
DMU  
PDM  
PLM  
VR

## Sens anglais

Computer Aided Design  
Computer Aided Engineering  
Computer Aided Manufacturing  
Digital Mock-Up  
Product Data Management  
Product Lifecycle Management  
Virtual Reality

## Acronyme français

CAO  
IAO  
FAO  
—  
SGDT  
—  
RV

## Sens français

Conception Assistée par Ordinateur  
Ingénierie Assistée par Ordinateur  
Fabrication Assistée par Ordinateur  
Maquette numérique  
Systèmes de Gestion de Données Techniques  
Gestion de Cycle de Vie du Produit  
Réalité Virtuelle