

# INGENIERIE INNOVANTE, COLLABORATIVE ET APPRENANTE EN DEVELOPPEMENT AUTOMOBILE : VERS UNE CAO EN 5D AU SERVICE DE LA MOBILITE CONGRUENTE<sup>1</sup>

Patrick SERRAFERO<sup>1</sup>, Samuel GOMES<sup>\*\*</sup> & Davy MONTICOLO<sup>\*\*\*</sup>

---

Résumé. - L'automobile mute. Le consommateur, de plus en plus sensibilisé aux enjeux environnementaux du véhicule du XXIème siècle et aux capacités technologiques de sa technicité mécatronique, demande de nouvelles solutions congruentes de mobilité. Corrélativement, les méthodologies d'ingénierie évoluent pour tenir les cahiers des charges de plus en plus exigeants sous contrainte de temps de plus en plus serrée. Ainsi, aux cotés de la démarche d'« Ingénierie Système » et de son cycle en V de développement automobile global se généralise la « Conception DfX » intégrant localement de plus en plus de connaissances multi-métier pour une ingénierie sous contrainte de performance, d'ergonomie, de fabrication, d'assemblage, de logistique, de maintenance et de recyclage ... Enfin, les outils logiciels d'ingénierie numérique doivent également évoluer. Ils mutent cognitivement pour progresser vers une CAO en 5 dimensions, à la fois répartie géographiquement (grâce au paradigme de l'ingénierie collaborative) et apprenante collectivement (grâce à la généralisation des démarches de management des connaissances et de l'innovation).

Mots-clés : Mobilité congruente, Gestion des connaissances d'ingénierie, Conception Assurée par les Connaissances, méthodologies d'ingénierie collaborative

---

<sup>1</sup> Cet article a fait l'objet d'une publication dans la Revue des Ingénieurs des Arts et Métiers.

\* Professeur associé à l'Ecole Centrale de Lyon, Président-fondateur de IKNOVA Consulting.

\*\* Maître de conférences à l'Université de Technologie de Belfort Montbéliard.

\*\*\* Doctorant à l'Université de Technologie de Belfort Montbéliard.

## 1. Introduction

Dans le cadre des rencontres internationales MOBILIS'2006, organisée les 13, 14, 15 décembre 2006 par le Pôle Franc-comtois et Alsacien « Véhicule du Futur » à Sochaux, Montbéliard et Belfort, ce papier résume les idées présentées par les porteurs du projet labellisé CoDeKF (Collaborative Design and Knowledge Factory) lors de la 1ère table ronde plénière intitulée « l'ingénierie innovante et collaborative au service de l'excellence de la filière automobile ».

Les propos s'organisent autour de 3 idées clefs :

1. « le véhicule automobile change » : la mutation du couple produit/marché est profonde et le paradigme technico-économique évolue « des produits automobiles compétitifs du XXème siècle vers des solutions congruentes de mobilité pour le XXIème siècle » ([SER 95], [MEI 00] et [ROB 06]),
2. « les méthodologies de conception changent » : la formalisation et la rationalisation des processus d'ingénierie automobile [VAR 95] catalysent un changement profond des modalités organisationnelles. L'ingénierie évolue de la conception séquentielle du XXème siècle [PAH 99] vers une ingénierie intégrée de type DfX (Design for X), collaborative, répartie et apprenante du XXIème siècle [GOM 02],
3. « les outils logiciels d'ingénierie numérique changent » : les progrès logiciels attendus par la communauté des concepteurs automobiles de plus en plus contraints à l'innovation permanente et répétée ([AMI 01] et [SER 06]) amènent les outils de modélisation numérique à évoluer eux-aussi « de la CAO en 2D et 3D du XXème siècle vers la CAO en 4D et 5D du XXIème siècle ».

## 2. « Le véhicule automobile change »

Le XXème siècle a fait triompher l'économie de marché et son corollaire : la compétition entre les entreprises industrielles. Depuis 1945, les fournisseurs de biens et services ont vu leurs marchés traditionnellement « poussés par l'offre » – et sur lesquels les industriels étaient les barons – évoluer, à partir des années 1980, vers des marchés « tirés par la demande » où le consommateur est devenu roi.

Dès la fin de la 2nde guerre mondiale, des produits chers et de piètre qualité trouvaient immédiatement preneurs sur des marchés en pénurie qui s'accommodaient de tous délais allongés de livraison. Henri FORD avait d'ailleurs bien résumé - dès les années 1920 - la

domination du fournisseur sur le consommateur par son célèbre slogan « je vous livre tous les modèles de véhicules que vous souhaitez pourvu que ce soit une Ford T de couleur noire ».

A partir du 1er choc pétrolier des années 1975, les marchés se renversent pour devenir sensibles à la notion de rapport Qualité/Prix. Le consommateur – équipé de la tête au pied de tous les produits de la société de consommation dont il pouvait rêver – se met alors à comparer les offres de remplacement et à devenir exigeant sur les délais de livraison.

Enfin, à partir des années 1985, les Japonais gagnent la bataille de la qualité des produits automobiles sur le marché américain en vendant près d'une voiture sur 3 aux américains tandis que Chrysler se met sous la protection de la loi américaine des faillites tout en appelant Lee Iacocca à la rescousse pour sauver la vieille dame de Detroit fondée en 1925 par Walter Percy Chrysler.

La fin de XXème siècle consacre donc le triptyque Qualité/Coût/Délai comme véritable terrain de la compétition industrielle ... Les deux constructeurs automobiles français – en quasi faillite dans les années 1980<sup>2</sup> – trouvent finalement les ressources internes nécessaires pour gagner la bataille de la qualité en s'adaptant aux standards mondiaux d'excellence industrielle établis par les Japonais. La « supply chain » évolue profondément pour relever les défis de la qualité totale et des délais de livraison réduits. Le modèle de production de Toyota (kanban, just-in-time, poka-yoke, 5S hoshin, ...) devient la référence admise des années 2000, les services Achats<sup>3</sup> au sein de la chaîne Logistique Intégrée s'établissent comme les incontournables opérateurs de la création de valeur industrielle automobile.

Déjà, plusieurs évènements catalysent progressivement la prochaine évolution des attentes du consommateur automobile du XXIème siècle, ceci sous différents points de vue :

- économique : la création du marché européen unique et de l'Euro en 1999, l'émergence d'un nouveau modèle économique proposé par le constructeur automobile germano-suisse Smart en 1996<sup>4</sup>, le déploiement industriel des contrôles radar de vitesse automobile en France à partir de 2003 avec la naissance du permis à points en 1992, l'instauration du péage automobile urbain à Londres en 2003,

---

<sup>2</sup> Faut-il rappeler les 12 milliards de Francs de perte de la Régie Nationale Renault en 1984 deux années avant l'assassinat de son PDG Georges Besse et la nomination en 1983 du financier Jacques Calvet appelé à la rescousse de Peugeot-Citroën tandis qu'était dénoncé l'ouverture du marché français – via le marché unique européen – aux véhicules japonais et que disparaît en même temps le constructeur SIMCA-TALBOT suivi récemment de MATRA Automobile ?

<sup>3</sup> Près de 70% de la valeur ajoutée automobile est désormais achetée par les 2 constructeurs nationaux.

<sup>4</sup> Le projet initial prévoyait la mise sur le marché de la Swatchmobile qui devait utiliser des moteurs électriques placés dans les roues et bénéficier de formules révolutionnaires de location.

- géopolitique : l'ouverture sensible de la Chine aux capitaux étrangers après le triste épisode Tiananmen de 1989, l'élargissement de l'Europe aux pays « low-cost » de l'Est en 2001,
- écologique : la prise de conscience progressive du consommateur sur l'impact environnemental de l'automobile après l'épisode préliminaire du « trou de l'ozone »<sup>5</sup>, l'ambitieux protocole de Kyoto ratifié en 1998 par 156 pays, le succès de dernier film « Une vérité qui dérange » en 2006 du vice-président américain Al Gore, les nouvelles lois sur l'écotaxe obligeant les producteurs de biens industriels à reprendre leurs produits usagés,
- technologique : la généralisation des technologies Internet et de mobilité numérique<sup>6</sup> à partir de 1995, le succès technique et marketing mondial du véhicule hybride Toyota-Prius lancée en 1997, l'invention par Michelin du contrat de service OnWay en 2002<sup>7</sup>, le déploiement pilote du parc de vélos loués Vélo'V à Lyon par l'industriel Decaux en 2002.

Cette mutation profonde des attentes du consommateur automobile<sup>8</sup> est qualifiée ici de « révolution progressive vers des solutions congruentes de mobilité », portée par 2 tendances fondamentales :

- la mutation de la demande de produits compétitifs qualité/coût/délai vers une demande de solutions de mobilité congruente, la congruence<sup>9</sup> se définissant alors

<sup>5</sup> qui serait – après l'interdiction des gaz CFC chlorofluorocarbures proposée en 1989 par l'Europe – en voie de stabilisation.

<sup>6</sup> Téléphonie sans fil, web-conférences, voix sur IP, ... évitant ainsi de nombreux déplacements physiques inter-sites ou inter-pays.

<sup>7</sup> En optant pour l'achat de pneus Michelin, le consommateur européen peut bénéficier gratuitement de l'accompagnement « Michelin OnWay » prévoyant 3 services innovants face aux imprévus de la route : assistance pneumatiques, garantie dommages pneumatiques et SOS direction.

<sup>8</sup> Le marché automobile reste toujours un marché d'offre mais l'offre est devenue mondiale. Le client n'a pas, à priori, une idée claire de ce qu'il veut mais sait choisir, parmi l'offre qui lui est faite, ce qui lui convient le mieux. La démarche dite « de marketing » qui consiste à essayer de cerner les attentes du client est toujours un échec. Autrement dit, on ne peut pas encore définir *ab initio* et de façon rationnelle le cahier des charges du futur véhicule idéal.

<sup>9</sup> La notion de congruence provient ici de la mécanique articulaire où une « une articulation congruente » implique l'accord parfait entre les deux surfaces articulaires d'un membre ou d'une prothèse (<http://sfmm.free.fr/medmecanique.htm>). La congruence au sens du présent article est donc ici porteuse d'une idée d'harmonie, de fonctionnement fluide en phase avec le milieu, le produit congruent étant alors en accord avec des valeurs sociétales fortes d'écologie, d'interaction ergonomique et « amicale » avec l'utilisateur, de non-agression de l'homme et de la nature, de « sérénité zen » ... notamment du fait de l'éco-compatibilité du produit avec l'environnement et des services

comme la super-compétitivité fonctionnelle à 5 axes : qualité/coût/délai/écologie/service [OTA 94],[SER95],

- l'abandon d'un postulat de propriété organique d'un véhicule pour envisager des solutions fonctionnelles multi-modales de mobilité, impliquant l'usage de véhicules automobiles, de transports en commun, de vélos urbains, de trains à grande vitesse, d'avions « low-cost » et de téléconférences.

On peut alors se poser la question si demain, la solution fonctionnelle et congruente de mobilité ne passera pas par une « drive-box » qui, postulant l'abandon de la propriété organique d'un véhicule alors remplacée par un abonnement mensuel de services, non pas à 29,90 €HT/mois mais à 299,90 €HT/mois par exemple, proposera un package de mobilité basique comprenant une carte orange, un quota d'heures d'utilisation d'un Velo'V, une quantité mensuelle de kilométrage sur un véhicule urbain automatique<sup>10</sup> de type Smart régulièrement entretenu<sup>11</sup>, une quantité mensuelle de kilométrage sur un véhicule routier de type Espace ... surtout quand - dans peu de temps probablement avant 2020 - les véhicules urbains et routiers pourront être livrés automatiquement à domicile sans pilote après réservation sur le net, le pilotage automatique des avions étant déjà livré en série depuis près de 30 ans ?

### 3. « Les méthodologies de conception changent »

Pour concevoir des solutions de mobilité congruente, les méthodologies de conception doivent également muter et passer d'une logique d'organisation séquentielle stricte des acteurs marketing/ étude/industrialisation/fabrication à une logique intégrée de coopération simultanée inter-métiers entre tous les acteurs du triptyque projet/produit/process. L'objectif de ces nouvelles modalités organisationnelles est alors de concevoir un produit automobile

---

d'accompagnement qui assurent sa correcte performance fonctionnelle et écologique tout au long de sa vie.

<sup>10</sup> La voiture automatique n'est pas encore à l'ordre du jour. Ce qui l'est, c'est l'aide intelligente au conducteur, dans le domaine de l'efficacité et de la sécurité.

<sup>11</sup> Est-il nécessaire de souligner les bénéfices de tels véhicules urbains automatiques – véritables taxis numériques – qui permettront d'activer tous les temps morts passés dans les embouteillages en autorisant l'abonné à la « drive-box » par exemple à continuer sa sieste, à téléphoner, à consulter ses mails, à travailler, à manger ... (comme il peut déjà le faire sur la banquette arrière d'un taxi urbain) tout en étant affranchi de la question du stationnement (puisque le véhicule urbain automatisé retournera seul en fin de course soit au dépôt ou soit vers une nouvelle demande de mobilité d'un abonné) tout en évacuant la question du vol ou de la dégradation volontaire du véhicule personnel si fréquents dans les agglomérations ?

congruent (i.e. performant sur les 5 axes : qualité/coût/délai/écologie/service) dans un délai moindre<sup>12</sup> [TIG 01].

C'est ainsi qu'est apparu à la fin des années 1990, le vocable de « Conception DfX » (« Design for X ») qui peut être résumée ici comme la conception du couple produit/process sous contrainte d'ingénierie de différents métiers (voir Fig 1), notamment :

- le « Design for Performance » (baptisé ici « perfo-conception ») : conception fonctionnelle du produit sous l'angle des fonctions et services rendus au client, impliquant notamment des méthodologies de modélisation fonctionnelle du besoin par la valeur, l'objectivation des performances produit attendues, l'analyse des risques de défaillance (AMDEC), la recherche de différents concepts innovants, la conception systémique du produit du point de vue « ingénierie système », la conception à l'écoute du marché,
- le « Design for Usability » (dénommé aussi « ergo-conception ») : conception ergonomique du produit du point de vue de son utilisabilité et de son adéquation à l'utilisateur en objectivant et optimisant les aspects confort, santé, sécurité et efficacité dans la relation homme/produit/environnement,
- le « Design for Manufacturing » (baptisée ici « copo-conception ») : conception sous contrainte de fabrication des pièces unitaires avec intégration, tout au long du processus de définition des formes fonctionnelles simultanément avec les choix des matériaux, de règles métier de fabrication (ex : emboutissage, forgeage, moulage, injection plastique, fraisage, tournage, brochage, rectification, électro-érosion, traitement thermiques, ...),
- le « Design for Assembly » (baptisée ici « légo-conception ») : conception sous contrainte de montage aisé et ergonomique de sous-ensembles fonctionnels (ex : cockpit véhicule, ouvrants, sellerie, ligne d'échappement, groupe motopropulseur...) qui peuvent alors éventuellement être sous-traités en totalité à des fournisseurs de rang 1 (ex : Valéo, Faurecia, Delphi, Visteon, TRW, Bosch, Siemens, NipponDenso, Michelin...). Cette notion poussée de modularité des ensembles fonctionnels automobiles a notamment donné naissance à des organisations industrielles centrées autour des notions de « modules » et de « plateformes automobiles ».

---

<sup>12</sup> Le délai d'ingénierie produit/process d'un projet automobile est aujourd'hui étalé sur 3 ans avec la volonté affichée de le porter à 104 semaines (2 ans), certains constructeurs japonais annonçant déjà un objectif de 78 semaines (1,5 an).

- le « Design for Logistics » (baptisée ici « géo-conception ») : conception sous contrainte de logistique et de décisions géostratégiques de production en usines « low cost », avec organisation d'un réseau logistique de transport juste-à-temps des productions expatriées à destination des usines d'intégration finales,
- le « Design for Maintenance » (baptisé ici « méso-conception ») : conception sous contrainte de maintenance et d'entretien où la durée de vie des véhicules a tendance à se rallonger<sup>13</sup> avec des délais d'intervention augmentés entre chaque révision<sup>14</sup> tandis que les délais de réparation – vu les taux horaires élevés des garagistes – sont optimisés. La notion de « coût total de possession du véhicule » voit alors le jour pour prendre en compte les coûts de maintien en conditions opérationnelles,
- le « Design for Recycling » (dénommée aussi éco-conception) : sous contrainte de compatibilité avec l'environnement et de recyclage des produits industriels usagés avec obligation, pour les constructeurs, de retraitement des déchets dangereux.

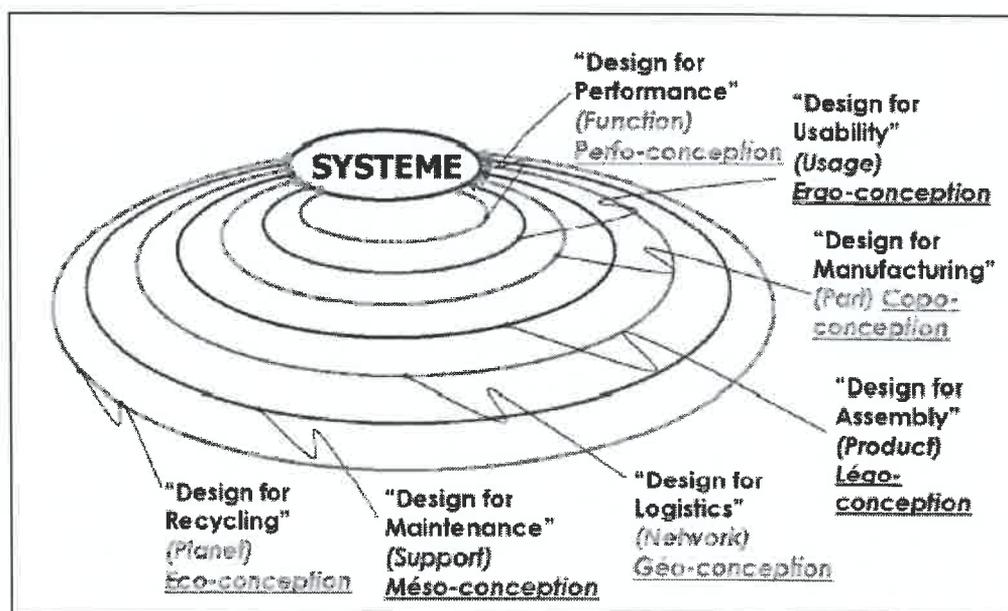


Figure 1 : Boucles d'« ingénierie système » orientées métier et basées sur les connaissances du processus de conception.

<sup>13</sup> Les modèle de performance automobile prévoit maintenant une durée de vie véhicule de 100 000 km et 3 ans de garantie constructeur, telle qu'initialement proposée par Toyota depuis les années 1990.

<sup>14</sup> Une révision automobile tous les 30 000 km tend à devenir la norme, au lieu de tous les 15 000 km au siècle précédent.

Ainsi, l'arrivée dans les bureaux d'ingénierie des méthodologies du « Design for X » du XXIème siècle organise progressivement les équipes projets automobiles autour de pôles d'expertise métier, portées par une organisation matricielle projets/métiers devenue maintenant un grand classique managérial ancré dans une vision partenariale, désormais qualifiée d'« entreprise étendue ».

#### 4. « Les outils logiciels d'ingénierie numérique changent »

Forts des évolutions méthodologiques DfX en cours dans les bureaux d'ingénierie répartis (dans un espace de plus en plus éclaté) et intégrés (sur une échelle temps de plus en plus comprimée), les outils logiciels d'ingénierie numérique doivent aussi s'adapter et évoluer sous l'action de 2 tendances fortes :

- une mutation collaborative « des software vers les groupware » : dans une logique de productivité collective, les logiciels d'ingénierie numérique évoluent vers des outils collaboratifs intégrés où les nouvelles technologies de l'information et de la communication ouvrent des espaces fonctionnels insoupçonnés [GOM 02],
- une mutation cognitive « de la CAO en 2D vers la CAO en 5D » : dans une logique de productivité individuelle, les logiciels de génération de formes géométriques fonctionnelles (ie : remplissant une fonctions techniques), performantes (ie : tenant les charges statiques et dynamiques) et fabricables (ie : réalisables sur machines-outils) assistent de plus en plus le concepteur, à l'aide d'algorithmes de simulation des raisonnements déductifs en prise direct avec des bases de connaissance métier [GRU 00], [YVA 01], [GOM 05] [GOM 07].

Concernant la première mutation vers les outils de « groupware », les nouveaux moyens logiciels sont principalement utilisés pour améliorer la qualité et la productivité des équipes de conception en s'appuyant sur la maquette numérique du produit. En effet, des débuts industriels en 1890 jusqu'aux années 1990, la plupart des pièces automobiles composant un véhicule étaient validées par maquettage physique. La maquette physique, réalisée à l'échelle 1 en bois, polyester ou métal, permettait alors d'évaluer l'état d'avancement d'un projet par visualisation du fonctionnement du futur produit tout en permettant de prévoir et de résoudre les problèmes de cinématique, d'utilisabilité, de collision d'assemblage, etc ... ainsi que conception du futur process industriel, d'aménagement de l'espace de montage disponible lors de la production, détection des problèmes de démontabilité en après-vente, etc ... . Néanmoins, la complexité croissante des produits et les évolutions méthodologiques DfX ont mis en évidence la lourdeur de la réalisation physiques de ces maquettes. La recherche d'une durée de conception produit toujours plus réduite ne permet plus aux équipes d'ingénierie de plus en

plus distribuées géographiquement de créer une maquette physique pour chacune des variantes de produit. Ainsi, la mise en place de la maquette numérique pilotée par des outils de « groupware » tels que les Systèmes de Gestion de Données Techniques (SGDT) ou de Product Lifecycle Management (PLM) couplés à des moteurs de Workflow (gestion des processus de travail) s'est donc développée de plus en plus dans les bureaux d'ingénierie. En ce début de siècle nouveau pour l'automobile, l'ensemble de ces outils collaboratifs, associés aux concepts de modules et de plate-forme déjà mentionnés, ont largement contribué à une réduction drastique de la durée de développement d'un nouveau véhicule, passant ainsi de 208 semaines d'ingénierie produit/process à 104 semaines, et ceci en moins de 10 ans.

La seconde mutation cognitive - celle des logiciels de CAO évoluant vers le 5D - peut être résumée de la façon suivante [SER 00], [CIG 00] :

- 1960-1990 : CAO 2D graphique : « la CAO 2D génère automatiquement les modèles linéiques CAO 1D », i.e. : les hachures des contours des plans,
- 1975-2005 : CAO 3D géométrique gestionnaire : « la CAO 3D génère automatiquement les modèles graphiques CAO 2D », i.e. : les plans cotés et des dessins assistés par ordinateur gérés par les SGDT<sup>15</sup> et outils logiciels de PLM<sup>16</sup>,
- 1990-2020 : CAO 4D technologique cognitive : « la CAO 4D génère automatiquement les modèles géométrique CAO 3D », i.e. : les formes géométriques tridimensionnelles,
- 2005-2035 : CAO 5D fonctionnelle apprenante : « la CAO 5D génère automatiquement les modèles cognitifs CAO 4D », i.e. : les bases de connaissances d'ingénierie routinières.

Le tableau 1 résume et positionne ces différentes générations d'outils CAO ainsi que les progrès logiciels déjà effectués et envisagés de la CAO 2D à la CAO 5D ([SER 97], [HAM 99] et [SER 99]) :

---

<sup>15</sup> Système de Gestion des Données Techniques, ancêtre des systèmes de PLM.

<sup>16</sup> « Product Lifecycle Management » : gestion des données techniques produit/process sur tout le cycle de vie produit.

	CAO en 2D	CAO en 3D	CAO en 4D	CAO en 5D
Dénomination	CAO graphique	CAO géométrique	CAO cognitive	CAO apprenante
Années de déploiement	[1960 – 1990]	[1975 – 2005]	[1990 – 2020]	[2005 - 2035]
Exemples de produits logiciels représentatifs	AUTOCAD <sup>17</sup> CADKEY <sup>18</sup> MEDUSA <sup>19</sup>	EUCLID3 <sup>20</sup> CATIAS <sup>21</sup> Pro-Engineer <sup>22</sup>	Kadviser <sup>23</sup> ICAD <sup>24</sup> Knowledgeware <sup>25</sup>	KAD-Office <sup>26</sup>
Modèles produit/process à base de	primitives graphiques	primitives géométriques	cognitons routiniers	cognitons innovants
Exemples de méthodologies de modélisation	Segments, Arcs, Courbes	CSG <sup>27</sup> , Surfacique <sup>28</sup> Paramétrique <sup>29</sup>	CYGMA <sup>30</sup> , MKSM <sup>31</sup> , MD&MV <sup>32</sup>	KnoVA <sup>33</sup>
Automatisation possible de	la génération 1D des hachures	la génération 2D des plans	la génération 3D des volumes	la génération 4D des compétences
Théories mathématiques support	Géométrie des intersections, Intégrales de surfaces fermées	Algèbre des solides, Topologie, Courbes et surfaces complexes	Algèbre des intervalles, Logique formelle non monotone	Théorie positiviste du cogniton
Exemples de problèmes d'ingénierie adressables	Génération automatique de nomenclatures et de cartouches de plans	Calcul automatique du volume d'un solide, de ses moments d'inertie, Génération automatique de trajets FAO	Génération automatique de gammes d'usinage, d'assemblage, de montage	Génération automatique de la conception d'un magnétoscope à enregistrer les rêves
Moteur de résolution	Standard graphique (ex : GKS <sup>34</sup> )	Moteur géométrique (ex : ACIS <sup>35</sup> )	Moteur de déduction (ex : CAD-X1 <sup>36</sup> )	Moteur d'induction (ex : KAD-Induce <sup>37</sup> )
Motivations industrielles	Remplacement de la planche à dessin, Corrections rapides des plans, Echanges de données	Rendus réalistes, Simulation numérique par éléments finis, Détection de collisions, Génération FAO	Ingénierie robuste, Assurance Qualité, Traçabilité, Knowledge Management, Plans d'Expérience Numérique	Conception et Innovation Assurées par les Connaissances
Domaine d'excellence	la Génération de Plans	l'Ingénierie Intégrée	la Conception Routinière	la Conception Innovante

Tableau 1 : Différentes générations de systèmes CAO : du 2D au 5D.

## 5. Conclusion

L'automobile est plus que centenaire. Elle a du évoluer de nombreuses fois pour aujourd'hui concerner 600 millions de véhicules en circulation dans le monde pour une production annuelle de 60 millions d'unités. Elle va continuer de progresser, notamment vers des solutions congruentes de mobilité qui passeront probablement par un véhicule automatique sans pilote et l'abandon progressif de la propriété organique d'une automobile.

Parallèlement à ces progrès technologiques mécatroniques, les méthodologies d'ingénierie s'adaptent. La généralisation progressive de la « Conception DfX » complète la méthodologie d'« Ingénierie Système » importée du monde logiciel et aéronautique. Ces méthodes portent les nouveaux paradigmes organisationnels destinés à réduire des délais d'ingénierie en entreprise étendue et collaborative tout en améliorant les exigences classiques Qualité/Coûts/Délais auxquelles s'ajoutent les nouvelles demandes d'éco-compatibilité et de service d'accompagnement du client pour le maintien en conditions opérationnelles du véhicule.

Enfin, les outils logiciels d'ingénierie numérique progressent également. Ils incorporent de plus en plus d'intelligence et de connaissances métier. Ils évoluent de la génération CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing ou CAO en 2D et 3D) du siècle précédent vers le KAD/KAM (Knowledge Aided Design / Knowledge Aided Manufacturing ou Conception et Fabrications Assurées par les Connaissances, dites aussi CAO en 4D et 5D) du XXIème siècle.

## 6. Bibliographie

- [AMI 01] Amidon D., *Innovation et Management des Connaissances*, Editions d'Organisation, 2001, p. 45.
- [CIG 00] Cigref (Club Informatique des Grandes Entreprises Françaises), Groupe de réflexion "Gérer les Connaissances : défis, enjeux et conduite de projet" animé par Patrick Dailhé, Oct. 2000, p. 16.
- [ERM 96] Ermine J.L., Chaillot M., Bigeon P., Charreton B., Malavieille D., "MKSM: Méthode pour la Gestion des Connaissances", *Ingénierie des systèmes d'information*, AFCET-Hermès, 1996, vol. 4, n°4, p. 541-575.
- [ERM 96a] Ermine J.L., "Les systèmes de connaissances", Edition Hermès, 1996, p. 133.
- [GOM 02] Gomes S., Sagot J.-C., "A concurrent engineering experience based on a cooperative and object oriented design methodology". Best papers book. *3rd International Conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering*, Kluwer Academics Publisher, 2002, p. 11-18.
- [GOM 05] Gomes S., Serrafiero P., Monticolo D., Eynard B., "Extracting engineering knowledge from PLM systems: an experimental approach". *International Conference on Product Lifecycle Management*, 2005.
- [GOM 07] Gomes S., Bluntzer J.B., M. Mahdjoub, J.C. Sagot, "Collaborative, functional and knowledge based engineering using a PLM environment", *International Conference on Engineering Design*, ICED'07, paris, france, 2007
- [GRU 00] Grundstein M., "Repérer et mettre en valeur les connaissances cruciales pour l'entreprise", *10ème Congrès International de l'AFAV*, Paris, 7-8 novembre 2000.
- [HAM 99] Hamelin H., Schaaf J., "L'INnovation Assistée par Ordinateur : une nouvelle catégorie d'outils logiciels", *Micad'1999*, Edition Hermès, Paris, 1999, p. 37-42.
- [MEI 00] Meillaud L., Schneider A., "Demain l'Automobile", ISBN : 2-9515699-0-4, Edition Prologos, Paris, 2000.
- [OTA 94] Colloque OTAN, *Computer Integrated Production Systems and Organizations*, Edition NATO ASI Series F, 1994, p. 294.
- [PAH 99] Pahl G. and Beitz W. "Engineering Design. A systematic approach". Springer edition. Second edition, 1999, 400p.
- [ROB 06] Roby F., "Vers la voiture sans pétrole ?", ISBN : 2-86883-874-x, Edition EDP Sciences, Les Ulis, 2006.

- [SER 95] Serraféro P., "Ductcess design ou la conception simultanée de couples produit/procédé congruents", *Colloque PRIMECA Conception Mécanique Intégrée*, La Plagne, 1995, p. 159-165.
- [SER 95a] Serraféro P., Bourne C., "Catégorisation des connaissances industrielles", *Connaissances et Savoir Faire en Entreprise*, Edition Hermès, 1997, chap. 9.
- [SER 97] Serraféro P., "Du CAD/CAM au KAD/KAM ou de la Conception Assistée par Ordinateur à la Conception Assurée par les Connaissances", *Congrès SIA*, Paris, 1997.
- [SER 99] Serraféro P., Vargas C., Renson D., "Knowledge Aided Design : les démarches de PSA et Techspace Aero", *Micad'1999*, Edition Hermès, Paris, 1999, p. 23-36.
- [SER 00] Serraféro P., "Cycle de vie, maturité et dynamique de la connaissance : des informations au cognitions de l'Entreprise Apprenante", *Revue Annuelle U.E. des Arts et Métiers sur le Knowledge Management*, Edition Dunod, 2000, p. 158.
- [SER 06] Serraféro P., Gomes S., Bonnavard D., Jézéquel L., "De la mémoire projet à la compétence métier : vers la synthèse de connaissances métier en ingénierie robuste des produits/process", *6<sup>th</sup> international conference on Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering (IDMME'06)*, Grenoble, 17-19 mai 2006, <http://idmme06.inpg.fr/user/www>
- [TIG 01] Tiger H., "Capitaliser les savoirs et innover dans les projets : deux démarches antinomiques ?", *Journée AIP-PRIMECA Dynamique des connaissances en conception : acquisition, capitalisation et réutilisation*, Grenoble, 22 mai 2001, p. 73-78.
- [VAR 95] Vargas C., "Modélisation du Processus de Conception en Ingénierie des Systèmes Mécaniques", *Thèse de Doctorat*, ENS de Cachan, 1995, p. 38-39.
- [YVA 01] Yvars P.A., "Représentation des connaissances à base de contraintes en ingénierie d'ensembles mécaniques", *Journée AIP-PRIMECA Dynamique des connaissances en conception : acquisition, capitalisation et réutilisation*, Grenoble, 22 mai 2001, p. 29-35.