

-IX^{IEME} CONFERENCE INTERNATIONALE DE MANAGEMENT STRATEGIQUE-

" PERSPECTIVES EN MANAGEMENT STRATEGIQUE "

AIMS 2000

Montpellier

- 24-25-26 Mai 2000 -

**Vers une Ingénierie de l'innovation en situation complexe :
une étude sur le programme d'Ingénierie Assistée
par Ordinateur au Technocentre Renault.**

Laurent DUCAU

Attaché Temporaire d'Enseignement et de Recherche

Groupe de Recherche sur l'Adaptation, la Systémique et la Complexité Economique

GRASCE-CNRS, Faculté d'Economie Appliquée

15-19 Allée C. Forbin

13627 Aix en Provence Cédex 1

Tél : 04 42 96 14 96

Fax : 04 42 23 39 28

Courrier électronique : laurent.ducau@fea.u-3mrs.fr

Mots clés : innovation, co-construction de connaissance, réalité virtuelle, aide à la représentation.

Introduction

Suite au développement des technologies informatiques, notamment les capacités de mémorisation et de traitement de l'information, le concept de 'réalité virtuelle' occupe une place croissante dans des domaines très variés. La création d'environnements virtuels dans lesquels on peut "s'immerger" et "naviguer" va aujourd'hui bien au-delà du marché des jeux vidéo, de nombreuses applications sont maintenant développées à l'intention des entreprises.

Les Nouvelles Technologies de l'Information et de Communication (NTIC) commencent à avoir un rôle prépondérant dans les organisations. On trouve dans la littérature des Sciences de Gestion de nombreuses applications en termes de mémorisation (constitution de gigantesques bases de données), de communication (échange d'information entre acteurs plus ou moins éloignés), d'accès à l'information (Internet, bases de données professionnelles), ou d'aide à la décision (le plus souvent détermination quantitative d'une solution optimale)... Nous compléterons ici, et dans une certaine mesure nous modifierons, ces aspects du rôle des NTIC dans l'organisation.

Nous allons nous intéresser aux rapports entre les NTIC et le processus d'innovation dans l'entreprise. Les NTIC ont un "effet de levier" sur le processus d'innovation, enjeu stratégique, « avantage concurrentiel de cette fin de siècle » (P. DRUCKER [1992]). Très souvent utilisées pour une collecte massive d'information dans l'environnement, ces technologies s'avèrent parfois inutiles et même dangereuses pour l'organisation qui se retrouve confrontée à un flux de données qu'elle n'a pas les capacités d'exploiter. En revanche, il est intéressant de disposer de systèmes développés en fonction des finalités et des moyens de l'organisation. L'accompagnement du processus d'innovation par des techniques de *simulation* relève de cette logique.

Le constructeur Renault a recours aux techniques de calcul, simulation, CAO et réalité virtuelle pour soutenir la conception de ses nouveaux véhicules. La mise en place, la diffusion et le contrôle de ces nouvelles technologies font l'objet du programme « d'Ingénierie Assistée par Ordinateur ».

L'étude réalisée dans ce cadre et présentée ici, a pour but de décrire et de comprendre dans quelle mesure les NTIC peuvent soutenir le processus complexe de conception d'innovations chez ce constructeur. L'accent est mis sur l'étude des processus communicationnels et cognitifs afin de dégager des enseignements que nous tâcherons de situer dans le cadre des Sciences de Gestion et dans la pratique du management de l'innovation dans l'entreprise.

Le premier point de notre propos s'attachera à montrer en quoi la conception d'un nouveau véhicule peut être perçue comme un processus complexe. Le second point retracera la démarche et les principaux résultats de l'étude menée au Technocentre Renault. Enfin, le troisième point fera l'objet de propositions pour une ingénierie de l'innovation soutenue par les NTIC, en réponse à la complexité du processus.

1 La conception d'un nouveau véhicule est un processus (perçu) complexe :

Nous retenons avec J.L Le Moigne [1990] et D. Genelot [1993] plusieurs hypothèses qui nous permettent de percevoir un phénomène comme complexe. Les points proposés ne sont en aucun cas une liste de « critères objectifs » qui permettraient de déterminer avec certitude une éventuelle « propriété » complexe. Ce sont plutôt des repères susceptibles de guider la perception de l'observateur :

- L'imprévisibilité et l'incertitude sont des éléments déterminants de la complexité : « pour son observateur [le phénomène] est complexe précisément parce qu'il tient pour certains l'imprévisibilité potentielle des comportements » (J.L Le Moigne *ibid.* p 3)
- La complexité est irréductible à un modèle fini : aucun modèle fini, si élaboré soit il ne peut parvenir à cerner de manière exhaustive un phénomène complexe. Par opposition à un phénomène compliqué il ne doit pas être simplifié, réduit ou décomposé, il doit être étudié dans sa globalité et dans sa continuité (temporelle).
- Un phénomène est *perçu* complexe : la complexité est dans le regard de l'observateur. Rien n'assure qu'un phénomène soit complexe en lui-même, il existe (ou il existera) peut-être une intelligence capable de le prévoir, de le cerner ou de le simplifier. La complexité n'est « pas une propriété naturelle des phénomènes » (*ibid.*).
- L'enchevêtrement : Ce sont de multiples liens de causalité entre éléments divers qui constituent la complexité d'un phénomène. L'enchevêtrement de relations causales et récursives et d'influences d'individus, d'actions ou de facteurs multiples connus ou inconnus produit un amalgame tel que le modélisateur a des difficultés à appréhender le phénomène dans sa totalité.

Si l'on considère un véhicule en tant qu'objet, nous ne le percevons pas comme complexe. Il est constitué d'un nombre fini d'éléments, il peut être démonté, décomposé en sous parties plus simples (groupe motopropulseur ; trains roulants, caisse, etc...), chaque pièce est dotée de fonctions spécifiques et peut être détaillée sous forme de plans ou dessins. L'objet-véhicule est tout au plus, extrêmement compliqué. En revanche, si l'on considère le processus de conception du véhicule, celui-ci est à notre sens particulièrement complexe. Cette perception tient à de nombreux paramètres que nous nous proposons de détailler ici :

1.1 Une complexité liée aux contraintes de résultat :

La globalisation et la concurrence toujours plus vive dans le secteur automobile conduisent les constructeurs vers ce qu'il est commun d'appeler aujourd'hui la démarche QCD : Amélioration sensible de la Qualité, maîtrise des Coûts et réduction des Délais. Ces contraintes influencent considérablement le processus de conception d'un véhicule et traduisent plusieurs facteurs de complexité. Les exigences des clients et les réponses de la concurrence complexifient la conception de nouveaux véhicules : les concepteurs doivent créer et satisfaire des besoins toujours plus pointus. Alors que H. Ford ne proposait au début des années vingt sa "Model T" que dans une seule version et dans « toutes les couleurs pourvu qu'elle soit noire » (H. Ford [1924]), les combinaisons de motorisations, carrosserie, finitions et équipements optionnels divers conduisent couramment à la mise sur le marché de plusieurs centaines de versions d'un même modèle.

Ce besoin de diversité et de renouvellement accroît la complexité de la tâche des constructeurs : les goûts des consommateurs sont en grande partie imprévisibles, seuls quelques tests de pré-commercialisation renseignent les décideurs sur le succès potentiel d'une innovation. Or, étant donné que le processus de conception d'un nouveau véhicule dure de trois à cinq ans, la tâche des décideurs s'articule autour d'une dynamique complexe¹ d'anticipation-adaptation (répondre aux attentes futures du marché) et de stratégie pro-active (imposer de nouveaux standards, par exemple le marché des "ludospaces" dont l'impulsion fût donnée en France par le Renault Kangoo).

D'autre part, ce processus ne repose pas sur des bases stables : au cours du temps émergent de nouvelles opportunités techniques, mais aussi de nouvelles contraintes (légales, écologiques ou économiques) ou des phénomènes de modes (cabriolets, monospaces etc...).

A l'impératif de variété s'ajoute une exigence de qualité du produit final. Le problème de la qualité constitue un deuxième "éclaircissement" sur la complexité du processus de conception d'un nouveau véhicule. Celui-ci englobe le point de vue du consommateur et s'étend à la production, aux achats et à la sous-traitance. La qualité globale n'est possible qu'au prix de la qualité locale des outils et procédés de fabrication, des matières premières ou des éléments conçus et fabriqués par les fournisseurs.

Enfin, les contraintes liées aux résultats sont imbriquées et s'opposent à tel point que les décideurs sont en permanence en situation "d'arbitrage" : La compétitivité sur le marché impose aux constructeurs une réduction des coûts (concurrence de l'Asie du Sud Est notamment), or, la diversité accrue des modèles (réduction des économies d'échelles et des effets d'apprentissage) et les exigences de qualité à tous les niveaux ont un effet inverse. De plus la nécessité de réduire les cycles de développement (délais) complexifient encore le processus, notamment en rendant nécessaires de profonds changements organisationnels (ingénierie concourante par exemple). Pour rester compétitifs les constructeurs automobiles travaillent pour réduire les délais de développement d'un nouveau véhicule à vingt quatre mois (ils étaient encore de soixante mois au début des années quatre vingt dix, il ont été progressivement réduits à quarante huit mois puis à trente six mois).

Chacune des "contraintes QCD" tend à rendre le processus de conception encore plus incertain qu'il ne l'est : elles induisent de nombreuses interrogations, notamment : la réduction des délais ne va-t-elle pas se faire au détriment de la qualité ? Inversement les problèmes de qualité posés par tel composant ne vont-ils pas engendrer un retard insurmontable pour la commercialisation du véhicule ? A-t-on pratiqué suffisamment de tests sur telle pièce ? Combien nous coûterait l'obligation de revoir sa conception dans plusieurs mois ? etc ...

Qualité, coûts et délais sont des éléments liés aux résultats (souhaités ou non) de la conception d'un nouveau véhicule. Ce sont des facteurs de complexité externes au sens où ils ne sont pas générés par le processus de conception lui-même mais plutôt par les clients, les fournisseurs, les concurrents, les institutions (normes de sécurité ou de pollution par exemple).

¹ J. Piaget [1977] a conceptualisé la dynamique de « l'équilibration permanente » entre « accommodation » (adaptation défensive) et « assimilation » (adaptation offensive).

Dans l'organisation (interne) du processus de conception nous pouvons relever d'autres facteurs de complexité. Cette complexité organisationnelle tient en grande partie à l'enchevêtrement des tâches.

1.2 Une complexité liée au processus d'organisation

Rappelons avec J.C. Moisdon et B. Weil [1992] ou C. Midler [1993] que l'ingénierie concurrente a gagné la production puis la conception automobile à la fin des années quatre vingt. La conception jusqu'alors organisée de manière séquentielle et cloisonnée se transforme radicalement pour s'organiser en parallèle et en simultané : la principale finalité est la réduction des cycles de développement des nouveaux véhicules. Les métaphores (sportives) consacrées sont, d'une part, la course de relais (conception séquentielle) et d'autre part, la progression d'une ligne d'avants de rugby (conception simultanée)¹.

Au delà des dysfonctionnements liés à cette nouvelle organisation relevés par C. Midler [1993] p. 122 (refus d'implication, « querelles de doctrines métiers », décisions finales prises par la hiérarchie), nous souhaitons mettre ici en évidence le problème de l'enchevêtrement des tâches de conception.

L'avantage des interventions échelonnées de l'organisation séquentielle était de faciliter la coordination en la simplifiant (J.C. Moisdon et B. Weil *ibid*). Chaque acteur reprenait le projet au point où les acteurs "amont" l'avaient laissé. L'ingénierie concurrente est plus complexe au sens où le travail de chaque acteur doit être coordonné avec celui des autres. Plusieurs centaines d'individus travaillent au même moment sur un même projet. Chaque tâche a un effet sur le développement de l'objet en conception mais aussi sur les autres tâches. Ainsi, il peut devenir très difficile de retrouver quel métier précisément est à l'origine d'un phénomène constaté. Le recours à l'ingénierie concurrente s'est ainsi accompagné d'une complexification des activités de conception.

Enfin, le point suivant se place au niveau des individus pour mettre en évidence une complexité liée aux processus de communication.

1.3 Une complexité liée au processus de communication

Outre le nombre d'acteurs impliqués dans le processus de conception (de plusieurs centaines à plusieurs milliers selon le degré d'implication), ce sont les processus de communication entre ceux-ci qui peuvent être perçus comme source de complexité. Chaque métier impliqué dans le processus de conception d'un nouveau véhicule utilise un langage spécifique. Ce "jargon" complexifie les interactions entre les individus et de ce fait, la co-construction de connaissance.

De plus, une partie des connaissances détenues par les individus est tacite. Conceptualisée par M. Polanyi [1967] p.4 à partir de l'idée : « We know more than we can tell », la connaissance tacite se révèle difficilement transmissible à moins d'efforts coûteux, notamment par un processus de codification (D.Foray [1995]).

¹ Ces métaphores illustrent le passage de l'organisation séquentielle à l'organisation simultanée dans de nombreux ouvrages, notamment H. Takeuchi et I. Nonaka [1985], M. Imai [1986], J.C. Moisdon et B. Weil [1992], ou C. Midler [1993].

Enfin, chaque acteur a sa propre vision du problème, elle est influencée par sa culture-métier, son expérience ou la pondération qu'il attribue à tel point précis. Il lui devient alors difficile d'envisager le point de vue des autres acteurs. C. Midler explique que « chacun reste sur sa position. Le travail intermétiers se réduit à une confrontation de monologues [...] ».

Les trois niveaux de complexité que nous avons mis en évidence en les présentant de "l'extérieur vers l'intérieur" de l'organisation (des contraintes externes aux acteurs) ne sont pas exhaustifs. Les enjeux de pouvoir, les processus de décision individuels et collectifs ou les aspects techniques sont autant de phénomènes complexes qui pourraient compléter notre modélisation du processus de conception. Cette modélisation est une modélisation systémique (au sens de J.L. Le Moigne *ibid.*) dans la mesure où elle nous a permis de nous construire une représentation du processus de conception d'un nouveau véhicule en décrivant « une ACTION (un enchevêtrement d'actions), DANS un environnement ('tapissé' de processus) POUR quelques projets (Finalités, Téléologie), FONCTIONNANT (faisant) ET SE TRANSFORMANT (devenant) » (*ibid.* p.40). Elle est à ce titre pertinente afin de comprendre et donner du sens au processus de conception (perçu dans sa complexité) sans le "mutiler".

Le programme d'Ingénierie Assistée par Ordinateur (IAO) peut être vu comme un outil développé afin de faire face à la complexité (croissante) du processus de conception d'un nouveau véhicule. Nous nous proposons ici d'étudier dans quelle mesure les technologies introduites soutiennent le processus d'innovation chez le constructeur en nous intéressant plus particulièrement aux aspects cognitifs. Quel rôle jouent ces technologies dans les processus cognitifs individuels ? Qu'apportent elles aux dessinateurs, ingénieurs ou designers ? Quels changements induisent elles au niveau des activités créatrices par rapport aux outils de dessin 'classiques' ? Les processus de communication, de co-construction de connaissances et de coopération sont ils facilités ? Les processus d'apprentissage par essais-erreurs sont ils accélérés ? Comment s'articulent changements techniques et changements organisationnels ? Quels enseignements peut on retirer pour la conception et la mise en œuvre des systèmes d'information dans les entreprises animées par des projets d'innovation ?

Nous aborderons l'ensemble de ces points selon les dimensions organisationnelles et informationnelles en nous intéressant plus particulièrement aux individus, à leurs compétences, à leurs représentations et à leurs échanges.

Présentation du dispositif méthodologique

Sur le plan méthodologique, nous avons privilégié une étude qualitative pour deux raisons essentielles : d'une part, l'objectif était de s'insérer dans une organisation afin de comprendre, autant que faire se peut, le fonctionnement, les projets, les enjeux et les comportements d'acteurs. D'autre part, le degré de confidentialité, les enjeux stratégiques de l'innovation, les aspects éthiques et la très faible diffusion de ces technologies (à un niveau comparable tout au moins) dans l'industrie, rendaient une étude quantitative représentative du secteur automobile¹, ou des activités de conception en général, totalement inadaptée.

¹ Notons que l'autre constructeur automobile français est en phase de développement d'un projet comparable au programme d'IAO de Renault, il s'agit du projet INGENUM (Ingénierie Numérique PSA

Le but de notre étude était de déterminer dans quelle mesure les NTIC (ici les outils de réalité virtuelle) étaient susceptibles de soutenir le processus de conception d'innovations. Cette étude de cas est construite à partir d'entretiens menés au Technocentre, de l'étude de documents (papier, vidéo ou numériques) et d'observations sur le site. Cette « triangulation » (F. Wacheux [1996] p.225) assure à l'étude qualitative menée, des "éclairages" divers, une variété et une hétérogénéité d'analyses, des contrastes et parfois des contradictions¹ qui n'ont pas été perçues comme des obstacles mais plutôt comme de nouveaux éléments de réflexion. La réflexion est en effet au cœur de ce type d'étude dont l'objectif n'est pas la génération de solutions à des problèmes constatés, mais plutôt la compréhension des situations et des problèmes, l'explication des processus et la construction d'hypothèses que l'on s'efforcera de replacer dans le contexte des Sciences de Gestion. En d'autres termes, « le chercheur qualitatif abandonne l'idée de révéler des vérités contingentes générales pour adopter une attitude ouverte de compréhension de la réalité » (ibid p.188).

Sur le plan opératoire, la première partie de l'étude a reposé sur une recherche documentaire (journaux, magazines et documents de communication interne) et sur des réunions (au Technocentre et dans les locaux de notre laboratoire), l'objectif était alors de se construire une représentation du programme d'IAO suffisamment précise pour pouvoir mettre au point un guide d'entretien et pour l'exploiter sur le terrain. Ensuite, quatorze entretiens semi-directifs ont été menés auprès de différents responsables de services ou de projets, d'utilisateurs des technologies de calcul, CAO et Réalité Virtuelle et de développeurs d'applications. Nos interlocuteurs ont été choisis à différents niveaux hiérarchiques (diversité 'verticale') parmi plusieurs activités liées à la conception des véhicules (diversité 'horizontale') : organisation, informatique, achats, métrologie, CAO, marketing, stratégie, ressources humaines, avant projets, mécanique et ingénierie véhicule. Les observations sur le site ont suivi la logique de la diversité des acteurs, notons cependant que les observations des situations de conception n'ont pu être celles de situations réelles en raison du caractère confidentiel (principalement concernant le Design) et du degré de maturité de plusieurs projets. En revanche, de nombreux acteurs rencontrés ont eu l'amabilité de nous faire des démonstrations des pratiques qui constituent leurs métiers au quotidien et des potentialités des outils dont ils disposaient.

2 Une étude sur le programme d'Ingénierie Assistée par Ordinateur de Renault

A l'occasion du centenaire de la marque le constructeur Renault inaugure un outil de conception innovant : le Technocentre de Guyancourt.

Face aux défis de la mondialisation et d'une concurrence exacerbée le cahier des charges du Technocentre se positionne selon trois axes: meilleure gestion du triptyque QCD (qualité, coûts, délais), conception intégrée du véhicule et de ses moyens de fabrication

Peugeot Citroën) : « en 2002, tous les projets devraient utiliser les outils de maquette numérique d'une manière banalisée » (J.J. Urban Galindo, Directeur du projet d'Ingénierie Numérique de PSA, 'L'objet virtuel au cœur de l'atelier', dossier 'Les chantiers de l'après 2001-Produire', *01 Informatique*, n°1565, 19 Novembre 1999, pp.16-18.

¹ « Pour être utilisables, les données doivent provenir de plusieurs sources, même si cela doit amener la contradiction et l'interrogation » (ibid. p.192).

et amélioration de la validation industrielle, passage de la phase de conception à celle de montage en usine.

Entièrement dédié à la Recherche et Développement le site devient l'espace de rencontre unique des acteurs impliqués dans la conception du futur véhicule. L'architecture même du bâtiment assure la proximité des différentes équipes et leurs interactions (avant-projets, bureau d'études, ingénieurs, designers...). Les NTIC constituent l'un des piliers de cette organisation. A ce titre, la réalité virtuelle fait partie des principes fondateurs du Technocentre.

Le point de départ de notre recherche est la curiosité qu'a suscitée pour nous la Salle de Visualisation Virtuelle mise au point sur le site : dans une salle pouvant accueillir une vingtaine de personnes un écran de six mètres cinquante sur deux mètres cinquante de haut permet de visualiser le véhicule en cours de conception en images de synthèse, en trois dimensions et à l'échelle un. Très rapidement, lors de nos échanges au Technocentre, nous nous sommes rendus compte que la salle de visualisation virtuelle n'était pas une vitrine technologique destinée à conforter l'image Hi-Tech de Renault, ou un outil de conception marginal, mais au contraire un outil utilisé au quotidien par de nombreux acteurs, un outil impliquant des changements organisationnels profonds, faisant partie du programme global d'IAO, nouveau fer de lance du constructeur.

Afin de rendre compte des aspects techniques, organisationnels, communicationnels et stratégiques du programme d'IAO, nous structurons les renseignements recueillis lors de cette étude selon cinq points : les objectifs de la réalité virtuelle (R.V) chez Renault, le fonctionnement de la salle de visualisation virtuelle, la place de la R.V dans le processus de conception, les changements organisationnels induits, et enfin les perspectives.

2.1 Les objectifs de la réalité virtuelle chez Renault

Le recours à la réalité virtuelle engendre des coûts très importants , le matériel utilisé est sans commune mesure avec un ordinateur familial (par exemple la station de travail de la salle de visualisation virtuelle dispose d'une mémoire vive et de 4,6 Giga-octets, soit 150 fois plus qu'un PC actuel). Seuls des objectifs très ambitieux et des contraintes lourdes pouvait justifier de tels investissements :

- La co-conception assistée par ordinateur :

Jusqu'alors même si l'on avait franchi le stade de l'organisation par projet (C. Midler [1993]), « chaque équipe dessinait ses propres pièces, puis on essayait de les assembler, mais cela posait de nombreux problèmes »¹. La réalité virtuelle permet aux acteurs de travailler ensemble sur la conception d'une pièce devant l'écran, chacun expliquant les contraintes liées à son métier. On passe d'une logique selon laquelle on essayait au niveau global d'assembler à posteriori des résultats obtenus au niveau local, à une situation dans laquelle les acteurs construisent ensemble au niveau local une solution globale.

- Faire face aux contraintes QCD :

La mondialisation et la concurrence exacerbée auxquelles nous avons fait référence, ont poussé le constructeur à améliorer la qualité des produits, des services, des process et de

¹ Source : entretien.

l'organisation, à réduire les coûts et les délais. La réalité virtuelle répond à ce triple défi : les ingénieurs peuvent reproduire la séquence essai-erreur-correction avec une fréquence plus élevée sur une maquette virtuelle que sur une maquette physique. Ils peuvent anticiper de nombreux problèmes de conception, par exemple, chez les acousticiens « le bruit est traqué avant même d'exister »¹. Le gain de temps "local" a une répercussion sur le délai de conception "global". Des études internes estiment que la réduction des délais à trois ans engendre une économie de 1 à 1,5 milliards de francs sur chaque nouveau modèle.

- Une réponse à « l'explosion combinatoire »

En termes de complication une Safrane n'a plus grand-chose de comparable avec une Frégate des années cinquante. « Nous avons été condamnés au recours à la maquette virtuelle par l'explosion combinatoire, par exemple sous le capot d'une Safrane on trouve plus de mille combinatoires »². La modélisation analytique que peuvent produire les outils de simulation, par exemple la décomposition de parties mécaniques en sous parties est à même de fournir aux acteurs une intelligibilité des phénomènes compliqués.

- La notion de compromis satisfaisant

Nous avons établi au point précédent qu'en considérant l'ensemble du processus de conception d'un véhicule, les contraintes techniques, les savoir-faire, les rapports humains, les processus de décision, le traitement de l'information ou les phénomènes incertains, etc., nous percevons ce processus comme un processus complexe. Plusieurs responsables de projet que nous avons rencontré en milieu industriel étaient à la recherche de la solution optimale à leurs problèmes de conception et plus encore cherchaient à agréger les optima locaux en un optimum global. Nous avons vu que le Technocentre Renault avait une approche toute autre de la conception locale/globale, mais au-delà de cette approche, nous avons pu retrouver en pratique une des idées diffusées par H.A. Simon [1982] sur la résolution de problèmes. H.A. SIMON explique que la rationalité limitée des êtres humains ne les conduit pas à déterminer une solution optimale à un problème perçu complexe, mais plutôt vers une solution " satisfaisante " (au sens « satisficing »). Nous avons fait remarquer à l'un de nos interlocuteurs au Technocentre qu'il n'avait à aucun moment employé le terme "optimal" mais des expressions du type « l'objectif du crash-test numérique est d'arriver plus vite à *une bonne* solution ». Il nous a dit être convaincu que les différents métiers ne construisaient pas un véhicule optimal selon tous les critères mais plutôt un bon compromis compte tenu de leurs nombreuses contraintes, notamment les "QCD".

La réalité virtuelle est un projet global, largement diffusé au Technocentre, chacun a accès à une station de travail avec laquelle il conçoit grâce à une interface graphique en trois dimensions, reproduisant le mouvement (voire une interface sonore). Cependant au-delà de ces outils "individuels", nous avons souhaité insister sur l'outil "collectif" que constitue la salle de visualisation virtuelle.

2.2 Le fonctionnement de la S.V.V

Avant tout, la salle de visualisation virtuelle est un espace de rencontre des équipes de conception. Tous les acteurs impliqués dans un projet y ont accès, y compris les

¹ Source : document vidéo interne.

² Source : entretien.

fournisseurs. La présence de ces derniers n'est pas surprenante dès lors que l'on considère que soixante-dix pour cent des pièces du nouveau véhicule (en valeur) sont produites en externe. Notons cependant que bien que la SVV soit unique sur le site du Technocentre, de nombreux autres espaces de visualisation virtuelle sont à la disposition des acteurs de la conception. En effet, de nombreuses salles de réunion sont équipées de grands écrans (2M x 3M) et de vidéoprojecteurs et permettent de mener des revues de projet numériques 'partielles', pour un groupe d'individus plus restreint. Toutefois, le « viewer » (ensemble matériel et logiciel qui permet la visualisation virtuelle) reste le même.

Les différents métiers se retrouvent devant l'écran. Ils ont la possibilité de rapprocher le résultat de leurs recherches, d'exposer précisément leurs problèmes aux autres acteurs, de visualiser l'enchevêtrement des tâches, de confronter leurs conceptions et d'en construire de nouvelles. Par exemple nous avons pu voir des images reproduisant l'habitacle du futur véhicule, le problème posé était celui de la pose du tableau de bord dans la caisse pré-assemblée. La visualisation virtuelle a permis de faire un "montage à blanc", de vérifier que les dimensions de la pièce étaient compatibles avec les composants déjà en place, de s'assurer que les points de fixation correspondaient bien entre eux, mais aussi d'anticiper d'éventuelles difficultés lors des phases ultérieures : lors de la fixation du tableau de bord aura-t-on assez de place pour réaliser le process? La séquence de montage de cet élément vis à vis des éléments périphériques ne doit elle pas être modifiée afin d'avoir une plus grande liberté d'opération ? Les outils nécessaires parviendront ils à entrer puis à sortir du véhicule une fois la tâche réalisée ? Dans le cadre d'une intervention après-vente l'accès à tel voyant lumineux ne risque t-il pas de prendre trop de temps?

L'image permet d'établir une communication entre les acteurs.

Après avoir abordé les objectifs de la réalité virtuelle chez Renault et le fonctionnement d'un outil particulier, la salle de visualisation virtuelle, nous nous intéressons maintenant à la place de la réalité virtuelle dans le processus de conception au Technocentre.

2.3 La place de la réalité virtuelle

Nous avons vu que la réalité virtuelle faisait partie des principes fondateurs du Technocentre, il y a une véritable volonté d'ancrer cette technologie au cœur même de l'organisation (cela fera l'objet du point suivant). L'envergure du programme d'IAO (Ingénierie Assistée par Ordinateur) en témoigne. Chaque acteur impliqué dans le processus de conception a accès à un ordinateur, sur lequel il développe l'essentiel de son travail. L'objectif est de « démocratiser le virtuel »¹.

La réalité virtuelle intervient à deux niveaux dans le processus de conception : au quotidien lors d'échanges plus ou moins formels, mais aussi lors de « temps forts » (M.J. Avenier [1997] chapitre 10) "orchestrés" par le directeur du projet.

- Les revues de projet au quotidien :

Au fur et à mesure de l'avancement de leur travail les acteurs d'un métier confrontent leurs résultats à ceux des autres. Ainsi s'improvisent des réunions pour faire le point entre deux ou trois métiers. Elles peuvent prendre la forme d'une simple discussion devant l'écran d'un ordinateur dans le bureau d'un architecte, ou si le nombre d'acteurs

¹ Source : entretien

l'exige, celle d'une mise au point dans la salle de visualisation virtuelle. Chaque acteur est capable de faire fonctionner le système informatique et ainsi de présenter visuellement son travail aux autres.

- Les revues de projet pré-programmées :

A l'initiative du directeur de projet, tous les métiers se réunissent dans la salle de visualisation virtuelle lors de « temps forts ». En général un ou deux acteurs représentent chacun des métiers, y compris les fournisseurs. Une vingtaine de personnes se retrouvent alors pour une sorte de " répétition générale ".

L'objectif est de réaliser un "montage à blanc" du futur véhicule. Cette échéance a deux vertus : elle est une date butoir pour laquelle chacun s'est préparé: effort d'explicitation, de lisibilité, travail de synthèse, prise de décision. Elle est aussi l'occasion de révéler des problèmes, quitte à faire éclater des conflits latents entre métiers. Les réunions sont pilotées par le directeur de projet, on vérifie l'état d'avancement du projet, un ordre du jour peut avoir été communiqué précédemment aux acteurs concernés et aucun métier ne doit manquer à l'appel.

On parle alors de « revue de projet numérique »¹, le « viewer » n'est pas, comme on pourrait le penser à priori, utilisé par un coordinateur, spécialiste du système informatique et chargé de "traduire" les travaux de chacun en images de synthèse. Il est au contraire animé par chacun des acteurs. Les travaux préparés localement sont présentés et confrontés aux résultats collectifs. Ainsi, par exemple c'est l'ingénieur responsable de la conception du capot moteur qui est derrière le pupitre lors de l'assemblage virtuel de cet élément.

Enfin, précisons qu'il n'y a pas de fréquence pré-déterminée pour ce type de réunion. Le directeur du projet décide des échéances en fonction de l'avancement du projet, des contraintes internes et externes qu'il perçoit ou de ses objectifs. Elles peuvent être quotidiennes, hebdomadaires voire mensuelles.

De toutes façons omniprésente dans l'activité de conception des véhicules (au niveau individuel ou collectif et au quotidien ou lors des « temps forts ») la réalité virtuelle a des répercussions en termes de changement organisationnel.

2.4 Les implications de la réalité virtuelle en termes de changement organisationnel

Les témoignages et observations nous ont conduit à émettre l'hypothèse selon laquelle les outils de réalité virtuelle seraient d'autant plus opérants qu'ils seraient couplés à une organisation par projet. Leur intérêt principal est la communication et la co-construction de connaissances entre des métiers impliqués dans un même projet. Dans le cadre d'une organisation qui ne serait pas fondée sur la concourance, une telle communication ne servirait pas à grand chose étant donnée la séquentialité des processus et à l'absence de "feed-back" de l'aval à l'amont. Ainsi nous pouvons affirmer qu'en ce qui concerne le constructeur Renault, une grande partie du changement organisationnel permettant une utilisation satisfaisante de la réalité virtuelle était déjà réalisé (voir par exemple la genèse de l'organisation par projet chez Renault, C. Midler 1993 chap.7).

L'étape suivante qui constitue celle du « déploiement massif des NTIC » (l'un de nos interlocuteurs a souhaité insister sur le terme « massif ») entraîne des changements en

¹ Source : document vidéo interne.

termes humains et organisationnels. Selon ce même interlocuteur, les investissements en matériel et en formation doivent être menés de concert. La « démocratisation du virtuel » c'est à dire l'accès aux techniques virtuelles par l'ensemble des acteurs doit être accompagné d'une gestion de l'investissement en matériel et de la formation des individus : « être capable de faire cohabiter deux maturités, les technologies et les hommes pour les utiliser ». Ainsi les acteurs du processus de conception tendent vers la révolution du « paperless » en passant des plans 2D (ie à deux dimensions) à l'image de synthèse 3D animée. Le défi réalisé au Technocentre était par exemple celui de faire passer les maquetistes de la planche à dessin à une représentation en 3D puis à une maquette virtuelle, malgré les réticences de certains ou celles des syndicats.

L'ensemble des métiers a dû alors se familiariser avec ces techniques, chacun avec des finalités et des moyens différents : designers, stylistes et architectes avaient depuis longtemps recours à la CAO, l'effort demandé était moins important que pour certains fournisseurs voire fournisseurs de second rang¹, PME-PMI pour qui le recours à l'informatique se résumait parfois aux logiciels comptables. Aujourd'hui même si l'objectif du « recours massif » à la technologie de réalité virtuelle n'est pas complètement atteint (en particulier chez certains fournisseurs de second rang), l'équipement est jugé « satisfaisant », par les acteurs rencontrés, pour un soutien efficace à la coopération des acteurs.

La démocratisation de la réalité virtuelle étant aujourd'hui partiellement "assimilée" par l'organisation, il nous reste à aborder les évolutions pressenties par nos interlocuteurs.

2.5 Les perspectives de la réalité virtuelle

Nous avons abordé l'importance du déploiement concerté des techniques et des savoir-faire des individus. En respectant cette démarche, la réalité virtuelle peut s'implanter de manière encore plus sensible dans le processus de conception. L'un de nos interlocuteurs travaille à ce développement selon trois axes : conforter le déploiement massif, poursuivre les travaux pionniers sur « l'usine virtuelle » et réaliser un prototype complet en « réalité virtuelle augmentée ».

- Propager la réalité virtuelle :

Si la R.V est bien ancrée dans les pratiques du Technocentre (conception), beaucoup reste à faire avec les partenaires extérieurs. Nous avons vu que certains fournisseurs (principalement de second rang) étaient encore peu équipés (et formés). Cette étape fait aujourd'hui l'objet de nombreux efforts, mais une seconde difficulté se dessine : au sein des équipes projet on s'est aperçu que les fournisseurs pouvaient être désavantagés par rapport aux acteurs installés au Technocentre. Designers, architectes, bureau des méthodes, services produit, achats, process ou études évoluent au Technocentre et ont "sous la main" l'ensemble des équipes techniques, des matériels et des logiciels lors d'une revue de projet. Par contre, les fournisseurs qui se déplacent (en général un ou deux individus) ne peuvent pas compter sur toute l'infrastructure avec laquelle ils ont l'habitude de travailler. Pour résoudre cette difficulté, l'idée aujourd'hui est de développer un « plateau virtuel à distance », ainsi chaque fournisseur entouré de son équipe technique et de son matériel pourrait participer aux revues de projet numériques

¹ Le recours à la sous traitance ou co-traitance (C.Midler [1993]) est très fréquent dans l'industrie automobile. Il est estimé à 70% des éléments d'un véhicule (en valeur). Les fournisseurs des fournisseurs sont alors les fournisseurs de second rang.

sans y être physiquement présent. Grâce à des liaisons à haut débit (sécurisées !) la revue de projet pourrait se dérouler comme une visio-conférence.

- L'aide à la vente :

Le second développement de la réalité virtuelle à l'extérieur du Technocentre concerne le Marketing. A titre expérimental depuis le début de l'année 1999 la concession Renault Rive Gauche de Paris dispose d'un « outil d'aide à la vente »¹. Un grand écran, des lunettes polarisantes et un casque de réalité virtuelle permettent au client de "visiter" la voiture qu'il a choisi avec le vendeur (couleur, finition intérieure, options etc...). Par exemple "installé virtuellement" sur le siège du passager le client peut se retourner et juger de la sensation d'espace offert par l'habitacle. Il pourrait cependant se plaindre de l'absence de la sensation du toucher, mais cela fait aujourd'hui l'objet d'un programme de recherche « Touch and Feel ».

- Le projet « d'usine virtuelle » :

Le but ici est de « modéliser la performance industrielle »². La logique du développement intégré du produit et de son process conduit les acteurs du processus de conception à développer des maquettes virtuelles des usines qui seront chargées du montage des véhicules conçus. L'idée est de construire une chaîne de production virtuelle dont on pourrait observer le fonctionnement afin de déterminer d'éventuels goulets d'étranglement ou autres dysfonctionnements. Cela permettrait de pré-valider des investissements comme par exemple de nouvelles implantations au Japon suite aux récentes transactions avec le constructeur Nissan.

- La réalité virtuelle augmentée :

Cette expression désigne le couplage d'objets physiques (volants, sièges, pédales etc...) à un simulateur de conduite. Les travaux développés aujourd'hui dans ce domaine au Technocentre tendent vers le « prototype virtuel complet » avec lequel on pourrait « tourner une clé virtuelle et essayer le futur véhicule sur un parcours ». Le simulateur serait alors en mesure de reproduire des phénomènes tels que la tenue de route, le confort, l'insonorisation de l'habitacle, le freinage, l'éclairage etc....

3 Vers une ingénierie de l'innovation soutenue par les NTIC.

Notons en préambule de cette partie que nous ne souhaitons pas présenter les outils développés par Renault décrits aux points précédents, comme la solution universelle permettant de "gérer la complexité" du processus de conception d'un nouveau véhicule. Nous ne considérons pas la complexité comme un « mal absolu »³ contre lequel l'organisation devrait se mobiliser. Nous la considérons plutôt avec D. Genelot [1992] p.310, comme « stimulante », elle engage les individus à développer des "ruses", des "actions intelligentes", à être inventifs et réactifs. En d'autres termes puisqu'ils ne peuvent "gérer la complexité" sur laquelle ils n'ont que peu d'emprise, les individus

¹ Pour plus de détails sur cet outil de réalité virtuelle pour l'aide à la vente qui s'écarte quelque peu de notre propos sur la conception, se référer à "L'industrie automobile s'immerge dans la réalité virtuelle", Le Monde, 28 Janvier 1999.

² Source : entretien

³ « ...la complexité n'est pas ce mal absolu que pourchasse la belle rationalité française au nom de la clarté, de l'homogénéité et de l'universalisme. C'est au contraire la reconnaissance de la richesse et de la diversité des organisations de toutes tailles et de toutes natures. » J. Mélese [1979] cité par J.L. Le Moigne [1990b] p.170.

sont amenés à mettre au point des stratégies, à inventer et concevoir en permanence de nouveaux objets et actions, c'est à dire à gérer avec la complexité¹.

D'autre part, le programme d'Ingénierie Assistée par Ordinateur n'est pas selon nous une hypothétique "solution universelle ou optimale" aux problèmes engendrés par la complexité mais plutôt une réponse "intelligente" (c'est à dire imaginée, inventée et construite en fonction du projet, des contraintes, de l'environnement, du fonctionnement et des transformations de l'organisation) permettant de « faire avec » la complexité.

Le développement qui suit s'attachera à présenter dans quelle mesure ce programme, mis au point par Renault, peut soutenir le processus complexe d'innovation dans l'industrie automobile. Pour cela, nous montrerons qu'il permet de gérer l'innovation non pas comme une activité planifiée et programmée mais plutôt comme un processus qui accorde une place centrale aux acteurs, à leurs compétences et à leurs représentations, et qui met en avant le rôle du système d'information dans l'organisation.

3.1 L'innovation est appréhendée comme un processus :

« On définit un processus par son exercice **et** son résultat » (J.L. Le Moigne [1990b] p.47)

L'innovation à longterm a été considérée par son résultat : le produit « fini », ses caractéristiques, la perception qu'en ont les consommateurs, sa place sur le marché, le mythe de l'innovation réussie. Mais avec la prolifération des travaux en Sciences de Gestion notamment sur les processus stratégiques (à partir des années quatre vingt) qui s'organise à partir d'une critique des modèles rationalistes et des conceptions mécanistes des organisations (Y. Giordano [1995]), l'attention des auteurs (et des dirigeants) semble ne plus se porter uniquement sur les résultats des actions stratégiques mais plutôt sur l'ensemble du processus. L'activité d'innovation en tant qu'activité stratégique de (et pour) l'organisation n'échappe pas à la vision "processuelle". Dès lors, de nombreux travaux, en Sciences Economiques, Sciences de Gestion ou Sociologie tendent à appréhender l'innovation comme un processus (S. Dubuisson et I. Kabla [1999]). Si l'on considère la notion de processus telle que la définissent Ph. Lorino et J.C. Tarondeau [1998] dans la perspective de l'innovation nous pouvons mettre en évidence les points suivants :

- Le processus d'innovation repose sur des activités (humaines) organisées.
- Il met en œuvre des ressources et des compétences (des inputs)
- Il est finalisé : son but est de produire un résultat (output) dont la valeur sera exploitée par l'entreprise auprès de ses clients.

Le fait de percevoir l'innovation dans une logique de processus permet de réunir et d'intégrer de nombreux aspects de l'innovation jusqu'alors laissés de côté dans les ouvrages de Management ou dans le discours des dirigeants : le temps, les activités humaines, les flux matériels et informationnels, la technologie, la Recherche et

¹ J.L. Le Moigne souligne dans la préface de l'ouvrage de D. Genlot, que celui ci invite le lecteur au Management dans la complexité, plutôt qu'au Management de la complexité, justement parce que « la complexité est précisément ce qui ne se gère pas ». L'expression anglo-saxonne « Dealing with complexity » garde tout le sens de la nuance « faire avec » la complexité.

Développement, ou le Marketing. L'innovation est dès lors « un processus qui a un début (...) un ordre et un sens (...) et une durée (...) » (S. Aï t el Hadj [1995]) et dont on prend en compte l'hétérogénéité.

Les NTIC facilitent le plus souvent cette approche "processuelle" de l'innovation. Ce point est particulièrement perceptible dans le cadre du programme d'IAO présenté précédemment : les revues de projet numériques permettent de situer le produit en cours de conception par rapport à sa finalité globale (quel véhicule souhaitons-nous concevoir ? Pour quel marché ?) mais aussi par rapport aux activités des différents métiers (le véhicule est "examiné virtuellement" selon divers points de vue : carrosserie, design, marketing, fabrication, sécurité, environnement etc...) ou encore par rapport au temps (comment le futur véhicule a-t-il évolué depuis la dernière revue de projet ? De quels délais dispose-t-on pour résoudre tel problème ?). L'innovation ne semble dès lors pas planifiée et programmée de manière rigide, elle relève plutôt d'une « stratégie tâtonnante » (au sens de M.J. Avenier [1997] p.20).

Outre la variété des "inputs", à partir des points mis en évidence avec Ph. Lorino et J.C. Tarondeau se dégage un autre élément central du caractère "processuel" de l'innovation, il s'agit de la prise en compte des activités des individus. Cette dimension occupe une place prépondérante dans le programme d'IAO, les acteurs, leurs compétences et représentations semblent être des éléments clés du processus

3.2 La place centrale des acteurs, de leurs compétences, et de leurs représentations

Nous avons établi précédemment avec J.C Moisson et B. Weil [1992] et C. Midler [1993] que l'organisation par projet nécessitait la mise en place de mécanismes incitatifs de la coordination, de la coopération et de la concertation. L'objet de ce point est de montrer que les NTIC peuvent (pour une part tout au moins) soutenir ces processus. Nous verrons les technologies de CAO, calcul, simulation et réalité virtuelle utilisées dans le cadre du programme d'IAO d'une part comme des outils d'aide à la représentation individuelle, et d'autre part comme des outils de construction collective de sens.

- Le rôle modélisateur des NTIC

P. Valéry ¹ affirme que « nous ne raisonnons que sur des modèles ». Les techniques de simulation² et de réalité virtuelle permettent de construire des prototypes virtuels, de se représenter des phénomènes matériels et immatériels, de l'infiniment petit à l'infiniment grand en s'affranchissant des contraintes de temps, d'espace, ou d'échelle. A ce titre, elles aident les acteurs du processus de conception à se construire des représentations (des modèles) des phénomènes qu'ils étudient et ainsi à raisonner, à créer et à inventer. P. Senge [1991] p.338 explique que « les représentations sont l'outil privilégié pour l'adaptation. La simulation étant un outil de création » et il propose le concept de « micromonde » : tout comme l'enfant acquiert des éléments de géométrie ou de mécanique lorsqu'il joue avec des cubes, des billes ou des pyramides, ou s'informe sur

¹ Cité par J.L. Le Moigne [1990b] p.15.

² J.P. Grémy [1995] définit la simulation comme « l'expérimentation sur un modèle ». Elle consiste à « réaliser une reproduction artificielle du phénomène que l'on désire étudier, à observer le comportement de cette reproduction lorsque l'on fait varier les actions que l'on peut exercer sur celle-ci et à induire ce qui se passerait dans la réalité sous l'influence d'action analogue ».

les comportements en société dans des jeux de rôles, l'adulte s'exerce sur des murs d'escalade, des simulateurs de pilotage ou des chambres d'apesanteur.

Les NTIC fournissent un degré d'abstraction supplémentaire, celui des « computer based microworlds » (ibid p 313). L'apprentissage selon le schéma essai/erreur ne fonctionne que tant que le feed back est rapide et facile à expliquer. En situation complexe, le "retour" n'est pas toujours immédiat et on peut difficilement établir des relations de cause à effet. Par la simulation en réalité virtuelle (les « computer based microworlds »), les acteurs du processus de conception sont en mesure de construire et d'enrichir leurs représentations des phénomènes et de pratiquer de nombreux essais (tâtonnements) jusqu'à ce que les ajustements réalisés leur paraissent satisfaisants.

Les NTIC peuvent alors être perçues comme des outils de modélisation (au sens de la modélisation systémique), elles permettent de construire une représentation de l'objet (métaphore de la représentation théâtrale), le plus souvent une image de cet objet, mais aussi de représenter l'objet dans l'environnement virtuel (métaphore de la représentation diplomatique)¹ : « le modèle (structure) de l'objet n'a peut-être aucune correspondance avec sa réalité physiologique ou morphologique, mais il s'avère suffisamment représentatif de sa réalité comportementale (ou fonctionnelle), pour autoriser son interprétation par simulation. L'action sur l'environnement de l'objet sera ainsi singulièrement mieux éclairée quant à ses conséquences prévisibles » (Sénat [1997])². Par exemple chez Renault le recours aux techniques de réalité virtuelle permet aux ingénieurs de mieux se représenter les phénomènes d'écoulement des fluides dans le circuit de refroidissement d'une culasse. Seulement sept semaines ont été nécessaires pour numériser et calculer trois variantes de conduits de culasse puis réaliser des maquettes réelles destinées à étayer les essais d'aérodynamiques effectués par le calcul. Auparavant, sans le recours à la CAO, il fallait treize semaines pour concevoir et fabriquer une seule maquette aérodynamique (Renault [1998] p.24).

Enfin, il nous paraît important de souligner que les techniques décrites sont en quelque sorte la "mémoire des processus". Le prototype virtuel fait l'objet de sauvegardes tout au long de son développement. Cela permet de conserver une représentation du "chemin" parcouru mais aussi de revenir à une étape précédente si les modifications ultérieures ne s'avéraient pas satisfaisantes, alors que sur un prototype physique la plupart des modifications sont irréversibles.

Ce point s'attachait à montrer dans quelle mesure les NTIC pouvaient constituer un outil d'aide à la représentation des phénomènes dans les processus d'innovation, en quelque sorte une "version technologique" de la pensée de K. Marx (cité par J.L. Le Moigne [1990b] p.13) : « l'abeille confond par la structure de ses cellules de cire l'habileté de plus d'un architecte. Mais ce qui distingue dès l'abord, le plus mauvais architecte de l'abeille la plus experte, c'est qu'il a construit la cellule dans sa tête avant de la construire dans la ruche ».

La suite de notre propos tachera de montrer que le rôle modélisateur des NTIC intervient aussi au niveau collectif. La simulation en réalité virtuelle (ou simulation numérique) permet aux acteurs d'un projet de co-construire une représentation partagée

¹ J.L. Le Moigne [1977] nous expose l'extrême fécondité de la « bivalence étymologique » du concept de représentation : métaphore de la représentation théâtrale et de la représentation diplomatique.

² Rapport d'information n° 169, C. Huriet, Sénat, 1997.

qui servira de base aux échanges inter individuels et à la prise de décision collective. Nous traduisons cette idée par le propos de R. Teulier Bourguine [1997] : « ainsi, les simulations¹ jouent un rôle dans la conception, échafaudage de solutions possibles, investigations autour d'hypothèses et acceptation d'envisager de façon ouverte et sincère toutes les implications d'autres points de vue sur le projet global ».

- NTIC et « communication au sens fort » dans les processus de conception : Y. Giordano [1997] p.139 souligne que la notion de communication est très souvent assimilée à une connexion entre acteurs afin de transporter/transmettre des signaux. Elle nous rappelle que J.G. March [1981] a suggéré que l'information n'était pas seulement un « signal » mais qu'elle possède une valeur symbolique pour ceux qui l'utilisent/la produisent. Ce qu'elle présente comme la « communication au sens fort » enrichit le schéma instrumental de C. Shannon (Emetteur/Canal/Récepteur) de la notion de co-construction de sens. En d'autres termes, la communication au sens fort n'est plus seulement une transmission d'information entre deux points par l'intermédiaire d'un canal, elle fait appel aux processus cognitifs des individus. Nous voulons montrer ici que les outils de l'Ingénierie Assistée par Ordinateur soutiennent une communication au sens fort dans le cadre du processus de conception des nouveaux véhicules.

Nous avons décrit précédemment le fonctionnement des revues de projet numériques. Les différents métiers confrontent alors leurs travaux.

Le premier point que nous souhaitons mettre en évidence est presque trivial. Il repose sur l'idée selon laquelle l'image à une forte influence sur notre capacité de représentation. H.A. Simon [1997] reprend cette idée avec l'expression « une image vaut (parfois) 10.000 mots ». Les techniques de réalité virtuelle permettent, entre autres, de visualiser les phénomènes. Le procédé permet aux différents acteurs d'un même projet de présenter, d'expliquer, et de rendre plus accessibles leurs représentations individuelles par l'image. Ce processus est d'autant facilité que les images projetées sur le "viewer" sont en trois dimensions, dynamiques (l'objet peut être retourné, déplacé, examiné sous tous ses angles) et à l'échelle un par rapport à la taille réelle du véhicule. Ainsi les uns après les autres, les métiers peuvent présenter leurs travaux et les problèmes qu'ils se posent, aux autres dans un "format" beaucoup plus accessible que celui du jargon technique propre à chaque métier.

Le second point rejoint les notions « d'apprentissages croisés » et de « prescriptions réciproques » développés par A. Hatchuel [1996]. Les apprentissages croisés « permettent de dépasser la vision classique qui conçoit la coopération comme un ensemble d'actions tournées vers des objectifs communs » et « permettent à chaque acteur de construire ses propres objectifs tout en interagissant avec son partenaire, interaction qui signifie pour nous influence mutuelle des apprentissages » (p.106). C'est ce mécanisme qui est à l'œuvre selon nous dans la Salle de Visualisation Virtuelle. Le bureau des méthodes (fabrication) et le dessinateur de la planche de bord peuvent par exemple s'entendre sur la forme définitive de cet élément, sur ses points de fixation et sur la façon dont les outils d'assemblage vont pouvoir pénétrer dans la caisse. De la confrontation des points de vues, en images sur le "viewer", chacun des partenaires se fixera de nouveaux objectifs de travail (déplacer les points de fixation du tableau de bord ou modifier les outils d'assemblage) selon le mécanisme des prescriptions

¹ Nous utilisons le terme « simulation » au sens de la représentation de l'évolution des phénomènes à l'aide de l'outil informatique, R. Teulier Bourguine l'utilise dans le cadre des processus cognitifs.

réciroques. En d'autres termes « chacun d'entre eux va indiquer à l'autre les prescriptions qu'il peut respecter pour que leurs interventions soient compatibles et aboutissent à telle ou telle performance d'ensemble . [...] Chacun d'entre eux s'efforce de produire les connaissances qui lui permettent d'atteindre ses propres objectifs tout en respectant les prescriptions de l'autre ».

Si l'on considère ce processus dans le cadre des Sciences de Gestion nous pouvons attribuer aux NTIC une fonction d'aide à la conception collective. Nous pouvons ainsi voir les images produites par les technologies de réalité virtuelle comme des « objets intermédiaires » (A. Jeantet et al. [1996], R. Teulier Bourguine [1997], F. Adreit et P. Vidal [1997]). Dans cette perspective l'objet est le « traducteur instantané » (G. de Terssac [1996]) des représentations des individus. Les NTIC facilitent alors la « synchronisation cognitive » (F. Darses et P. Falzon [1996]) entre les acteurs du processus de conception en construisant un « référentiel opératif commun » (ibid). En d'autres termes, les acteurs construisent leurs propres « modèles mentaux » (P. Johnson-Laird [1990]) à partir des « modèles exprimés » par les autres acteurs¹, par l'intermédiaire du "viewer".

Le processus de co-conception tel que nous venons de le traduire, aboutit à notre sens à un "compromis satisficing" (cf. § 2.1). Si l'on considère le processus de conception comme complexe (cf première partie) et si l'on se réfère aux travaux de H.A. Simon [1982] sur la résolution de problèmes, les décisions prises dans ce cadre par les acteurs ne sont pas des solutions optimales. Elles seront plutôt qualifiées de "satisficing" dans la mesure où elles sont "satisfaisantes" au regard de l'ensemble des critères introduits par les différents acteurs y compris leurs "capacités cognitives limitées" et contraintes de temps (contraintes majeures dans les processus de conception). Comme nous l'avons souligné, ce processus de conception ne tend pas vers une hypothétique optimisation, il construit ses propres solutions "satisficing" par un processus de reformulation continue, ce que H.A. Simon [1987] désigne par un « process of forming, finding and solving problems ».

3.3 La mise en évidence du rôle dominant des systèmes d'information dans l'organisation

Ainsi que nous l'avons exposé, la conception d'un nouveau véhicule est organisée chez Renault comme un projet concourant qui tend à intégrer un nombre croissant de partenaires et de compétences : par exemple la conception proprement dite s'étend de plus en plus aux procédés de fabrication et aux modes d'organisation. La concurrence intègre dès lors la conception du produit, celle de son process de fabrication et maintenant celle de l'organisation destinée à mettre au point ce produit (travaux sur « l'usine virtuelle » §2.5). L'élargissement des compétences engagées dans le processus de conception suppose une coordination et une communication accrues. L'objet de ce point est d'une part de montrer dans quelle mesure les nouvelles technologies utilisées dans le cadre du programme d'IAO mettent en avant le rôle du Système d'Information dans la conception de produits ou procédés innovants et d'autre part de tirer des enseignements à l'intention des chercheurs et praticiens du Management concernés par la conception de tels systèmes.

¹ Selon F. Adreit et P. Vidal [1997], le modèle exprimé est la forme matérialisée du modèle mental. Les modèles exprimés peuvent être utilisés comme support de communication dans les activités de conception.

Le SI joue un rôle prépondérant dans le processus de co-construction de connaissance décrit au point précédent. Son influence tend à s'étendre dans le cadre du programme d'IAO de Renault. Précisons avant toute chose que le système d'information d'une organisation ne se réduit pas à son système informatique. La définition que donne R. Reix [1998] p.75 traduit la portée de cette notion dans l'organisation : « un système d'information est un ensemble organisé de ressources : matériel, logiciel, personnel, données, procédures permettant d'acquérir, de traiter, stocker, communiquer des informations (sous forme de données, textes, images, sons etc...) dans des organisations ». Ainsi, les systèmes d'information sont avant tout des « systèmes humains » (F. Rowe et R. Marciniak [1997]), dont la conception est étroitement liée à celle de l'organisation (R. Reix ibid p.89). Dans le cadre de notre propos nous souhaitons établir que le système d'information agit sur le processus de conception des nouveaux véhicules tout en étant influencé par lui. Notre approche des systèmes d'information pour l'organisation intègre largement ces deux points de vues et les prolonge dans une certaine mesure. Afin de rendre compte de cette démarche qui ne réduit pas le système d'information à un ensemble de composants matériels mais qui prend en compte les aspects humains (comportements, apprentissages, processus cognitifs, rivalités), mais aussi qui s'inscrit dans un projet, en fonction d'un environnement et d'actions dans le temps, nous proposons le concept de Système d'Information d'Aide à la Conception Collective (SIACC) qui se fonde à la fois sur les approches théoriques exposées ici et sur les recherches menées sur le programme d'IAO mis en œuvre chez Renault.

Le SIACC est selon nous, un système intelligent (au sens de J.A. Bartoli) dans la mesure où il est conçu dans une organisation « considérée comme un système complexe de processus cognitifs et de processus techniques en interaction avec d'autres systèmes complexes » ([1996] p.97). Son orientation principale n'est pas l'échange (quantitatif) d'information mais plutôt la « compréhension » (intelligence) des situations et la résolution de problèmes. Le propos de H.A. Simon [1997] précise cette idée : « aujourd'hui l'enjeu des organisations et des systèmes d'information n'est pas de rendre plus d'information disponible, mais de maintenir la ressource rare qu'est l'attention humaine de façon à la consacrer à l'information importante et pertinente pour les décisions à prendre »¹. En d'autres termes, l'hypothèse de rationalité humaine limitée conduit à affirmer que le revers des NTIC et des SI est trop souvent de submerger les individus d'une information difficilement exploitable. Pour répondre à la « double limite dans le temps et dans l'espace à l'exercice de l'attention » S. Amabile [1997] propose de constituer des réseaux d'attention inter et intra organisationnels afin de démultiplier les capacités d'attention de l'organisation, il illustre cette proposition par le Système d'Information de Soutien de l'Attention des mutuelles d'assurances Niortaises (MAIF, MACIF, MAAF...).

Le SIACC tel que nous l'avons présenté dans le cadre de la conception de véhicules chez Renault nous paraît établi conformément à cette logique : de récents développements en témoignent :

- Le système SIGNE et l'application GDG :

Véritables outils de co-construction et de partage de l'information SIGNE et GDG réunissent les nomenclatures des véhicules et des organes mécaniques que fabrique

¹ Traduction de l'auteur.

Renault ainsi que les différentes normes imposées, les cahiers des charges et les plans, numérisation 3D et historique de chaque pièce. GDG (Gestion de Données Géométriques) stocke tous les fichiers CAO, plans et maquettes numériques des pièces ainsi que les simulations de leurs process de fabrication. Ainsi, lorsqu'un dessinateur modifie la géométrie d'une pièce, il copie le nouveau fichier dans GDG. Les images correspondantes de SIGNE sont automatiquement actualisées. Tous les acteurs concernés qui ont accès au système, notamment l'ingénieur effectuant des calculs à partir de la numérisation 3D, le concepteur du process ou les dessinateurs des pièces connexes, disposent du fichier à jour dans GDG. Le système renforce le décloisonnement entre les métiers, il permet à chacun de travailler sur le même "objet", il évite des situations courantes par le passé où le "Bureau des Méthodes" pouvait travailler sur le processus de fabrication d'un élément sans savoir que le "Bureau d'Etudes" venait d'en modifier la géométrie.

- L'application LUP (Liste de Problèmes Unique) :

Ce système a été conçu pour consigner l'ensemble des problèmes (et solutions) proposés par chacun des acteurs du projet. L'objectif est alors de s'assurer de la prise en charge du problème par une équipe (on évite ainsi qu'un problème ne soit pris en considération par personne, chacun pensant qu'il est du ressort d'un autre). Inversement cela permet d'éviter trop de redondance, par exemple que deux équipes travaillent sur le même sujet sans le savoir. La version LUP2 s'enrichit d'une fonction documentaire, à chaque problème ou solution l'utilisateur peut joindre des pièces explicatives : fichiers de mesure, textes, plans, schémas, photos, etc.... Ces informations pourront être exploitées par d'autres acteurs du projet mais aussi dans le cadre de projets futurs.

- La co-conception à distance : CANET et Renault-UTA :

Le projet CANET (Collaborative Automotive Network) constituait en 1998 les premiers pas « du plateau virtuel » : les ingénieurs de Renault et de Siemens situés à Rueil, Lardy, Toulouse et Valladolid (Espagne) commencent alors à travailler ensemble à distance sur les mêmes images numériques (CAO sur les stations de travail) tout en visualisant leurs interlocuteurs (communications visiophoniques sur PC). Le nouveau plateau virtuel Renault-UTA constitue un progrès dans le sens où il permet d'employer des stations de travail intégrant toutes les fonctions du processus d'échange.

Les différents utilisateurs peuvent alors travailler en même temps sur une maquette numérique au rendu réaliste (pas seulement en 3D sous forme filaire). Le plateau virtuel à distance permettrait à terme de mener des revues de projet numériques sans que les différents acteurs aient à se déplacer (fournisseurs notamment). Cependant, ce processus se heurte encore à plusieurs difficultés : outre les vitesses de transfert de données (images, sons, texte) encore insuffisantes se posent les problèmes d'interopérabilité et d'équipement. L'interopérabilité d'un système d'information est définie par Ph. Baumard et J.A. Benvenuti [1998] p.20 comme « sa capacité à opérer simultanément avec d'autres systèmes hétérogènes dans la poursuite d'un objectif commun ». Les logiciels de CAO et de gestion de données techniques ne sont pas utilisables sur n'importe quel ordinateur, ni vraiment compatibles entre elles, par exemple récupérer avec un logiciel de CAO le fichier d'une pièce conçue avec un autre outil ne va pas sans difficulté. Enfin, le problème de l'équipement est aisément compréhensible si l'on se place du point de vue du fournisseur : l'acquisition de tels systèmes reste encore très coûteuse, il est compréhensible que beaucoup soient encore

réticents. Le problème n'est que plus flagrant au niveau des fournisseurs de second rang, la plupart du temps des PME de taille modeste.

Ce que nous avons défini comme le SIACC de Renault se place selon nous dans la perspective Simonienne de la décision. Il n'est pas conçu dans le seul but d'une collecte et d'une mémorisation massives de l'information sur lesquelles seraient établies l'ensemble des décisions. L'activité de conception reste une activité cognitive assurée par l'intelligence humaine. L'homme reste en mesure de « décider de l'information » qu'il va construire et transformer pour prendre sa décision. En d'autres termes, le système d'information ne permet pas seulement de s'informer pour décider, mais également de décider de s'informer (J.L. Le Moigne [1979]).

CONCLUSION

De nombreux ouvrages récents en Sciences de Gestion expriment les apports des NTIC à l'organisation en termes d'accès à l'information par tous les acteurs de l'entreprise. ces textes reposent sur l'idée selon laquelle plus la quantité d'information à laquelle les individus ont accès est importante, "meilleures" seront les décisions prises. Nous ne nions pas ici l'importance de la circulation d'information (une communication au sens "faible"), cependant nous souhaitons compléter ce point de vue avec H.A. Simon [1997] selon qui ce n'est pas l'information qui est la ressource rare mais plutôt le temps et l'attention humaines. L'exemple de l'Internet nous donne une illustration de la trop grande quantité d'information procurée par les NTIC par rapport à nos capacités de traitement. Ainsi, nous avons montré ici que le rôle des NTIC pouvait aller au delà de l'échange d'information (Internet, Datawarehouse, Intranet, Groupware...) pour établir une véritable co-construction de connaissance par une interaction entre les individus. Le cas de la Salle de Visualisation Virtuelle illustre selon nous l'idée selon laquelle le rôle des NTIC dans le processus de conception est celui de l'intermédiation (F. Adreit et P. Vidal [1997]). Les images projetées sur l'écran aident d'une part les individus à se construire des représentations des phénomènes sur lesquels ils travaillent et d'autre part à communiquer leurs représentations aux autres acteurs. Lorsque le concepteur du tableau de bord du véhicule montre avec des images de synthèse animées avec quelles difficultés celui-ci va se placer dans l'habitacle, il aide les autres acteurs à se construire une représentation de son problème.

Le cas de la réalité virtuelle chez Renault nous permet d'illustrer un second apport des NTIC au processus de conception : le "viewer" permet d'adapter une attitude procédurale vis à vis de la conception. H.A. Simon [1987] nous explique que l'on ne peut à aucun moment avoir en tête l'ensemble des critères à prendre en compte pour la conception d'un objet complexe. Ainsi devons nous pas à pas (re)formuler nos problèmes, les résoudre pour en aborder d'autres et peut-être revenir à ceux que l'on avait posés initialement. Devant l'écran de la SVV, les acteurs construisent ensemble des solutions qui vont engendrer de nouveaux problèmes, ce processus se renouvellera tout au long de l'avancement du projet. La puissance de calcul de la machine et ses capacités de mémorisation permettent de briser la sequentialité de la conception : un individu peut proposer une solution qui sera rapidement traduite en images, si cette solution confrontée à l'avis des autres ne s'avère pas satisfaisante, un retour en arrière instantané est possible. Dans le cas d'une maquette physique toute modification était quasiment irréversible. Ainsi, si elle se trouve dans une "impasse" l'équipe projet peut

repartir à tout moment de n'importe quelle sauvegarde précédente. Cette "sécurité" permet de tester un plus grand nombre d'hypothèses. Cette richesse combinatoire est au cœur de la créativité, de la nouveauté et par là même de la conception (H.A. Simon [1987]).

Références

- Adreit F. et Vidal P., "Les modèles en conception : objets d'intermédiation, in Trousse B. et Zreik K. (coord.), *Les objets en conception*, Europa Production, 1998.
- Aït El Hadj S., "Management de l'innovation technologique", *Encyclopédie de Gestion, Economica*, 1995.
- Amabile S., *Contribution à l'ingénierie de l'organisation de la veille stratégique à l'attention organisationnelle, une illustration : le réseau d'attention des mutuelles Niortaises*, Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III, 1997.
- Avenier M.J.(coord.), *La stratégie "chemin faisant"*, Economica, 1997.
- Bartoli J.A., "Vers une méthodologie de conception des systèmes d'information organisationnels intelligents" in Bartoli J.-A. et Le Moigne J.L. (dir.), *Organisation Intelligente et Système d'Information Stratégique*, Paris, Economica, 1996.
- Bartoli J.-A. et Le Moigne J.L., 'Qualitative Reasoning And Complex Symbol Processing, *Mathematics and computers in simulation*, vol 36, 1994, p.129-136.
- Baumard Ph. et Benvenuti J.A., *Compétitivité et systèmes d'information*, Interéditions, 1998.
- Darses F. et Falzon P., "La conception collective : une approche de l'ergonomie cognitive", in Terssac G. de et Friedberg E. (dir.), *Coopération et conception*, Octares Editions, 1996.
- Davidow H. et Malone M., *The Virtual Corporation*, Harper Business, 1993.
- Drucker P. *Managing for the future : the 1990's and beyond* New York Dutton 1992
- Foray D., "Innovation, connaissance et information : un rapide tour d'horizon", version préliminaire préparée pour le Séminaire "Economie de l'Information" du Commissariat Général du Plan, 10 Octobre 1995.
- Ford H., *Ma vie, mon œuvre*, Fayard, 1924.
- Genlot D. *Manager dans la complexité : Réflexions à l'usage des dirigeants* INSEP 1993.
- Giordano Y., "Management stratégique et changement organisationnel : quelles représentations ?", in Rainelli M., Gaffard J.L. et Asquin A., *Les nouvelles formes organisationnelles*, Economica, 1995.
- Giordano Y., 'L'action stratégique en milieu complexe : quelle communication ? in Avenier M.J.(coord.), *La stratégie "chemin faisant"*, Economica, 1997 pp. 137-164.
- Grémy J.P., 'simulation', *Encyclopaedia Universalis*, 21-30 c, 1995.
- Handy C. 'Trust and the virtual organisation' *Harvard Business Review* may-june 1995.
- Hatchuel A., "Coopération et conception collective. Variété et crises des rapports de prescription", in Terssac G. de et Friedberg E. (dir.), *Coopération et conception*, Octares Editions, 1996.
- Imai M., *Kaisen*, Mc Graw Hill, Cambridge Mass., 1986.
- Jeantet A., Tiger H., Vinck D. et Tichkiewitch S., "La coordination par les objets dans les équipes intégrées de conception de produit", in Terssac G. de et Friedberg E. (dir.), *Coopération et conception*, Octares Editions, 1996.
- Johnson Laird P., *Mental Models*, Cambridge University Press, 1990.
- Kabla I. et Dubuisson S., "Innovations et compétences Compte rendu d'une réflexion collective", in Foray D. et Mairesse J., *Innovations et performances approches interdisciplinaires*, Editions de l'Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales, 1999.
- Lorino Ph. et Tarondeau J.C., "De la stratégie aux processus stratégiques", *Revue Française de Gestion*, Janvier-Février 1998.
- Le Monde, "L'industrie automobile s'immerge dans la réalité virtuelle", 28 Janvier 1999.
- Le Moigne J.L. 'La théorie du système général-théorie de la modélisation', 1977, 4° éd. PUF 1994.
- Le Moigne J.L., "Informé la décision ou décider de l'information", *Economies et Sociétés*, n°1, 1979.
- Le Moigne J.L., "Comprendre la conception", Colloque de Cérisy-Arguments pour une méthode"- Autour d'Edgar Morin", Seuil, 1990a, pp214-228.
- Le Moigne, J.L., *La modélisation des systèmes complexes*, Paris, Dunod, 1990b.
- March J.G., "Information in Organizations as Signal and Symbol", *Administrative Science Quarterly*, 26, 1981.
- March J.G. et Simon H.A., *Organizations*, New York, Wiley, 1958, Trad.fr : *Les Organisations*, Paris, Dunod, 1987.
- Midler C., *L'auto qui n'existait pas - Management de projet et transformations de l'entreprise*, Paris, Inter-éditions, 1993.
- Moison J.C. et B. Weil, "L'invention d'une voiture: un exercice de relations sociales" I et II, *Gérer et comprendre*, n°28 et 29, Septembre et Décembre 1992.
- Polanyi M., *The tacit dimension*, Doubleday Anchor, 1967.

- Reix R., *Systèmes d'information et management des organisations*, Vuibert, 2^e édition, 1998.
- Renault, "Des véhicules de plus en plus virtuels", Dossier "Cap sur la simulation", *Recherche et Développement*, n°10, Octobre 1998.
- Marciniak R. et Rowe F., *Systèmes d'information, dynamique et organisation*, Economica, 1997.
- Mélèse J., *Approches systémiques des organisations*, Editions d'organisation, 1979.
- Piaget J., *La naissance de l'intelligence chez l'enfant*, Delachaux et Niestlé, 1977.
- Sénat, 'Images de synthèse et monde virtuel technique et enjeux de société', Office Parlementaire des Choix Scientifiques et Technologiques, Huriet C., Rapport d'information n°169, 1997.
- Senge P. '*The fifth discipline*', Currency Doubleday, 1990. Traduction française '*La cinquième discipline*' First 1991
- Simon H.A. '*Models of bounded rationality*' 1982 MIT Press (chap.VIII)
- Simon H.A., 'Problem Forming, Problem Finding, and Problem Solving in Design', First International Congress on Planning and Design Theory, Boston, 1987.
- Simon H.A., *The Sciences of the Artificial*, Cambridge, M.I.T. Press, 1969, 1981 ; trad. française, *Science des Systèmes, Sciences de l'Artificiel*, Paris, Dunod, 1991.
- Simon H.A., "The future of information systems", *Annals of Operations Research* 71, 1997.
- Takeuchi H. et Nonaka I., "The New Product Development Game", *Harvard Business Review*, Jan.-feb. 1985.
- Terressac G. de, "Le travail en conception : de quoi parle t-on ?", in Terressac G. de et Friedberg E. (dir.), *Coopération et conception*, Octares Editions, 1996.
- Teulier Bougine R., "Les représentations : médiations de l'action stratégique", in Avenier M.J.(coord.), *La stratégie "chemin faisant"*, Economica, 1997.
- Wacheux F., *Méthodes qualitatives et recherche en Gestion*, Economica, 1996.