

# LE PARADOXE DU RETARD DE L'INDUSTRIE SPATIALE DANS SES FORMES ORGANISATIONNELLES ET DANS L'USAGE DES TIC

RÉALITÉS MÉCONNUES

L'innovation est un des thèmes majeurs de notre époque. Et, telle les Lumières, elle ne pourrait que faire progresser l'activité humaine. Or, ce présumé est faux : l'inertie organisationnelle peut être un atout. L'industrie spatiale, dont l'objet paraît être d'innover, n'innove pas dans son organisation et rechigne à utiliser les TIC. Bien sûr, il faut nuancer. Les ingénieurs n'auront pas la même obsession de la stabilité organisationnelle et technologique, selon qu'il s'agit d'un satellite de télécommunication commandé par un client privé ou d'une mission scientifique commandée par l'Etat. Mais il n'en reste pas moins vrai que pour atteindre un optimum de fiabilité technologique, l'inertie de l'organisation peut représenter un véritable avantage concurrentiel.

PAR **Victor DOS SANTOS PAULINO**, UNIVERSITÉ DE NICE, SOPHIA ANTIPOLIS, DEMOS/GREDEG

**D**epuis son apparition, l'industrie spatiale est le parfait symbole d'une industrie de haute technologie. Cependant, malgré cette image flatteuse, les constructeurs de satellites et de sondes spatiales sont soumis à un paradoxe qui se manifeste par deux retards : les formes organisationnelles utilisées, comme les TIC mises en œuvre, sont souvent obsolètes. En terme de coordination de la conception, les maîtres d'œuvre n'exploitent pas totalement les principes de l'ingénierie concurrente ni le potentiel de R & D de leurs PME sous-traitantes. Techno-

logiquement, la situation est similaire : les firmes de l'industrie spatiale n'utilisent que faiblement les TIC de travail collaboratif, comparativement à l'industrie aéronautique. L'objectif de ce travail est d'explicitier cette situation en s'appuyant sur les propriétés organisationnelles des TIC et sur les particularités de l'industrie spatiale. Nous montrons, en effet, que ces deux retards sont corrélés, mais surtout qu'ils sont le résultat d'une inertie organisationnelle, qui doit être vue comme un atout pour la survie de l'entreprise spatiale.

Depuis son apparition après la Seconde Guerre mondiale, l'industrie spatiale symbolise idéalement l'image de l'industrie de haute technologie. Les constructeurs d'engins spatiaux doivent se maintenir continuellement à la pointe des avancées technologiques pour repousser les frontières de l'infaisable. La majorité de l'activité spatiale chez les maîtres d'œuvre (1) comme Boeing, Alcatel Alenia Space ou Astrium se résume ainsi à de la R & D. Ce constat masque néanmoins une situation qui soulève plusieurs interrogations. Les formes organisationnelles, mobilisées à la fois en interne et dans le cadre de relations inter-entreprises, ont faiblement évolué. De même, les firmes de l'industrie spatiale affichent un retrait dans l'utilisation des TIC (2) comparativement à d'autres industries, notamment l'aéronautique. C'est l'analyse rigoureuse de ce paradoxe qui constituera le sujet de cet article, l'objectif étant de proposer une justification et donc une cohérence de cette situation.

Dans cette étude, nous précisons d'abord notre méthode de recueil et d'exploitation des données qui serviront de base à notre argumentation. Nous présenterons ensuite la nature exacte des situations de stabilité organisationnelle et de retrait dans le recours aux TIC. Nous insisterons sur les aspects intra- et inter-organisationnels et sur ce que nous appellerons les TIC de travail collaboratif. Cela nous conduira à démontrer l'existence d'une interdépendance entre l'utilisation de ces TIC et les formes organisationnelles exploitées. Dans une dernière partie, nous interpréterons et justifierons les situations de stabilité affichées par l'industrie spatiale.

## MÉTHODOLOGIE

L'analyse du paradoxe organisationnel et technologique qui caractérise l'industrie spatiale se fera à l'aide de trois catégories d'informations: nous exploiterons la littérature théorique disponible, des rapports et travaux spécifiques à l'industrie aérospatiale et des observations de terrain.

Nos bases théoriques seront des articles évoquant l'inertie organisationnelle et l'utilisation des TIC [HANNAN et FREEMAN, 1984; JEANTET, TIGER, VINCK et TICHKIEWITCH, 1996].

Les documents spécifiques à l'industrie aérospatiale seront à la fois des travaux effectués par les ingénieurs de l'industrie spatiale [POTTECK, 1999] et des projets mis en œuvre dans l'industrie aéronautique. Nous

avons notamment utilisé le projet ENHANCE (3) pour effectuer une comparaison entre l'industrie aéronautique et l'industrie spatiale.

Les observations de terrain ont été faites entre 2003 et 2005, grâce à un stage effectué chez l'un des principaux maîtres d'œuvre européens dans la fabrication de satellites et de sondes spatiales (4). Nous avons eu l'opportunité de combiner entre eux trois modes de recueil d'information: d'abord l'observation de l'activité réalisée dans le service qui a été le cadre du stage, ensuite la participation à deux projets, enfin la conduite d'entretiens. La participation à la vie du service d'accueil nous a aidé à ouvrir de nouvelles pistes, qui se sont souvent avérées pertinentes dans l'avancée de cette étude. Nous avons ensuite participé à deux projets qui visaient la mise en œuvre de nouvelles organisations du travail combinée à l'utilisation de TIC. Les entretiens ont été, quant à eux, menés en majorité au sein de l'entreprise partenaire, dans le service chargé de l'affectation des personnels et dans d'autres services appartenant à plusieurs établissements. Afin d'obtenir une diversité de points de vue, nous avons aussi effectué deux entretiens chez des PME sous-traitantes. Pour cette étude, nous avons ainsi interrogé vingt-deux personnes, dans le cadre d'entretiens non-dirigés et semi-dirigés. Les personnes rencontrées sont en majorité des ingénieurs qui interviennent, soit dans des unités industrielles liées à la fabrication des satellites et des sondes, soit dans des unités non industrielles. Dans ces dernières, nous avons rencontré des ingénieurs appartenant à trois services: informatique, qualité et achats. En ce qui concerne les unités industrielles, nous avons interviewé des ingénieurs en fonction des phases de conception où ils interviennent, c'est-à-dire lors de la conception préliminaire et lors de l'intégration, de l'assemblage et des essais. Afin d'obtenir une autre vision de la conception spatiale, nous avons également interrogé des ingénieurs en fonction des projets auxquels ils participent: projets scientifiques visant à l'exploration spatiale, projets commerciaux (comme la fabrication de satellites de télécommunication), et projets recherchant la valorisation de satellites déjà placés sur orbite (services de géolocalisation, gestion des catastrophes).

Ces sources d'information seront mobilisées selon une pondération différente dans chaque section. Ainsi, dans la deuxième section, nous exploiterons avant tout les entretiens réalisés chez les ingénieurs travaillant dans des unités non industrielles et pour le projet ENHANCE. Nous utiliserons ensuite la littérature théorique pour apporter une interprétation préliminaire aux situations de stabilité organisationnelle et technolo-

(1) Les maîtres d'œuvre se définissent comme les firmes auxquelles le maître d'ouvrage ou le client a confié la réalisation du système satellite.

(2) TIC: Technologies de l'Information et de la Communication.

(3) ENHANCE (Enhanced AeroNautical Concurrent Engineering): ce projet, d'un montant de 38 millions d'euros, a débuté en 1999 pour

s'achever en 2002 et a concerné la majeure partie des acteurs de l'industrie aéronautique européenne. Grâce à l'utilisation de TIC, il visait à renforcer les liens entre les maîtres d'œuvre et les sous-traitants de premier, deuxième et troisième niveaux.

(4) Nous taillons le nom de cette société ainsi que celui de toutes celles que nous avons rencontrées, en raison des contraintes de confidentialité inhérentes aux firmes travaillant sur des projets militaires.

gique. Enfin, nous fournirons une interprétation plus nuancée des situations observées, en nous basant surtout sur les entretiens avec des ingénieurs intervenant dans les unités industrielles.

## STABILITÉ DES FORMES ORGANISATIONNELLES ET FAIBLE USAGE DES TIC

### Stabilité des formes organisationnelles

Lors de son apparition dans les années 1960, l'industrie spatiale européenne a adopté des formes organisationnelles en avance sur son temps. Comme le soulignent ALCOUFFE [2001], mais aussi BÈS *et al.* [1997], les firmes ont adopté certains principes de l'ingénierie concurrente (5) bien avant que ce terme ait été institutionnalisé. Au niveau externe, le constat reste le même: très tôt, les industriels du spatial ont mis en place un ensemble de relations inter-entreprises permettant de réduire leurs coûts. Cependant, depuis lors, les modes de coordination du spatial ont faiblement évolué, comparativement à d'autres industries, comme l'aéronautique.

Au niveau intra-entreprise, cette stabilité organisationnelle se manifeste par une adoption seulement partielle des principes d'ingénierie concurrente. Basée sur le « cycle de vie du produit », l'ingénierie concurrente permet de souligner deux aspects de la stabilité: d'une part, les phases de la conception spatiale sont rarement simultanées; d'autre part, les firmes n'admettent que de faibles flux d'information descendants. L'ingénierie concurrente propose, au contraire, la simultanéité des différentes phases du processus de production, afin de réduire les délais de mise sur le marché. Aujourd'hui, la construction de satellites s'organise de façon planifiée grâce à sept phases successives (6) [POTTECK, 1999] et, hormis un chevauchement partiel des phases de définition préliminaire (Phase B) et de définition détaillée (Phase C), au cours desquelles les industriels entament l'approvisionnement en constituants avant d'avoir finalisé la validation des solutions générales, le principe de simultanéité reste limité [POTTECK, 1999]. Ce processus de conception séquentiel se répercute sur les flux d'information qui circulent au sein des organisations. Les phases de conception sont hiérarchisées, les premières s'imposant aux suivantes. Concrètement, la prescription

[HATCHUEL, 1993] imposée par les phases en amont empêche les acteurs des phases en aval de participer réellement à la définition du contenu des tâches qu'ils devront exécuter. Il en résulte que les flux d'information sont majoritairement descendants, les flux ascendants se limitant aux demandes de modifications techniques d'une solution déjà arrêtée en amont. Cette prescription significative s'oppose à l'approche basée sur le cycle de vie du produit, approche défendue par l'ingénierie concurrente, et selon laquelle le point de vue de tous les métiers intervenant dans le cycle doit pouvoir être pris en compte. Au final, ce recours partiel aux principes de l'ingénierie concurrente peut donner, à certains égards, l'impression d'une « armée en marche ».

De la même manière que pour les relations intra-entreprise, les relations inter-entreprises du secteur spatial font également preuve de stabilité. Dès l'apparition de l'industrie spatiale, les maîtres d'œuvre ont su nouer une multitude de relations partenariales entre concurrents, afin de tirer parti des avantages inhérents aux logiques de co-conception. Cette tendance a d'ailleurs toujours été soutenue par des clauses particulières, incluses dans les appels d'offres des agences spatiales et des États (7). Par contre, en ce qui concerne les relations avec les PME, les maîtres d'œuvre n'ont pas construit de réelles logiques de co-conception [HAAS *et al.*, 2001]. Le responsable du bureau d'études d'un sous-traitant, que nous avons rencontré, nous a confirmé la réticence des maîtres d'œuvre à leur confier des tâches de R & D, à la différence de leurs autres donneurs d'ordres intervenant dans les industries aéronautique et automobile. Ce constat doit être mis en perspective avec ce qui est généralement pratiqué dans l'industrie aéronautique. Par exemple, lors du projet de l'Airbus A380, 30 % des frais de R & D ont été supportés par les PME partenaires [ENHANCE, 2002]. Dans l'industrie spatiale, les PME interviennent surtout dans les dernières phases de la conception; elles sont donc considérées comme de simples exécutants. Les activités de co-conception à haute teneur en valeur ajoutée n'existent que sur la base de relations entre les maîtres d'œuvre ou entre les maîtres d'œuvre et leurs clients (8). La coordination de la conception, telle qu'elle existe aujourd'hui – et plus particulièrement la logique de phases – induit des flux d'information descendants. Les PME ne peuvent donc pas intervenir dans les phases de définition préliminaire et de définition détaillée du satellite, même si elles disposent des compétences nécessaires. Ce constat permet d'établir un parallèle entre la stabilité des modes de coordination internes et celle des modes de

(5) Ce type de management se définit comme une « approche systémique qui intègre le développement simultané des produits et des processus associés [...]. Cette approche prend en considération [...] le cycle de vie du produit depuis sa conception jusqu'à son exploitation en incluant la qualité, les coûts, la planification et les besoins des utilisateurs » (ALOUANI, 1998).

(6) Phase 0: analyse de la mission; Phase A: étude de faisabilité; Phase B: définition préliminaire; Phase C: définition détaillée; Phase D: fabrication et tests; Phase E: exploitation; Phase F: retrait de service.

(7) Principe du retour géographique, en vigueur à l'Agence spatiale européenne et principe de « symétrisation », qui contraint les firmes remportant les appels d'offres à partager la charge de travail avec les perdantes afin de ne pas les fragiliser.

(8) Les maîtres d'œuvre vendent généralement leurs produits à des clients institutionnels (agences spatiales ou armées) et à des opérateurs de satellites, qui ont les uns comme les autres assez de compétences dans les techniques spatiales pour être à même de participer activement au processus de co-conception.

coordination externes. Il semble que ce soit la relation de prescription, imposée par les flux d'information descendants, qui empêche les maîtres d'œuvre d'exploiter les compétences en R & D détenues par leurs sous-traitants PME.

### Faible usage des TIC

Du simple crayon jusqu'aux logiciels les plus complexes simulant le comportement physique de sous-ensembles, en passant par les documents papier, les firmes utilisent une multitude d'outils pour concevoir leurs produits. Ces outils constituent ce que JEANTET *et al.* [1996] ou BOUJUT *et al.* [2001] nomment des « objets intermédiaires » (9). Aujourd'hui, les TIC ont investi les objets intermédiaires exploités dans les activités de conception, à tel point que l'on parle désormais d'« outils de travail collaboratif » pour désigner ce nouvel ensemble. Or, les objets intermédiaires mobilisés pour la conception spatiale ne sont généralement pas à la pointe des avancées technologiques; en ce sens, le spatial fait un faible usage des outils de travail collaboratif. Selon un responsable informatique, l'industrie spatiale utilise peu ces trois grandes familles d'outils de travail collaboratif que sont les *workflows*, les applications de management des connaissances et les collecticiels (10). Le maître d'œuvre rencontré ne fait pas exception à cette tendance, puisqu'il dispose de quelques *workflows* mais de peu d'outils de management des connaissances et d'encore moins de collecticiels.

Les TIC de travail collaboratif employées dans la conception spatiale présentent souvent un retard technologique (d'au moins cinq ans) par rapport à celles utilisées dans l'aéronautique. Les projets de travail collaboratif achevés dans l'aéronautique sont un indicateur intéressant pour mesurer ce décalage. L'industrie aéronautique a mis en œuvre des projets comme ENHANCE, Sup@irWorld ou F7X (11); ces initiatives visent à interconnecter les avionneurs avec leurs sous-traitants de premier niveau et de niveaux inférieurs, grâce aux TIC de travail collaboratif. Ces projets ne se trouvent pas tous au même niveau d'avancement, mais ENHANCE s'est achevé en 2002, alors que l'industrie spatiale ne prépare pas de projet aussi ambitieux. Concernant des projets plus ponctuels, depuis

(9) Ils se définissent comme des « vecteurs de représentation, orientés par [...] un objectif issu d'un monde socio-technico-économique lié d'une façon ou d'une autre à celui de la réalisation de cet objectif »; en d'autres termes, les objets intermédiaires facilitent la coordination industrielle.

(10) Les *workflows* permettent une circulation automatisée des documents, en définissant les processus de circulation. Les outils de management des connaissances consistent, quant à eux, à informer et à partager les connaissances de la firme. Le but de cette deuxième famille est, d'une part, de proposer aux collaborateurs une identification des connaissances existant sur un thème donné afin d'éviter de devoir travailler deux fois sur les mêmes thèmes; d'autre part, ces outils permettent de disposer d'une cartographie des compétences présentes dans la firme. Enfin, les

2001, Airbus dispose d'outils de réalité virtuelle facilitant les processus d'assemblage et utilise la version 5 de l'application de conception assistée par ordinateur (CAO) CATIA (12) depuis 2002. L'industrie spatiale, en revanche, n'a pas d'outil de réalité virtuelle équivalent et le service informatique du maître d'œuvre rencontré ne prévoit pas le déploiement de la version 5 de CATIA avant 2008. Nous rencontrons une situation similaire dans l'utilisation des réseaux de télécommunication: ils débordent rarement vers les PME partenaires (13) et, quand c'est le cas, ils sont basés sur des échanges asynchrones d'informations faiblement variées en qualité. Pour le moment, le service informatique du maître d'œuvre envisage l'adoption d'outils plus sophistiqués (comme la visioconférence) simplement pour faciliter les échanges intra-sites.

### INTERDÉPENDANCE ENTRE LA STABILITÉ ORGANISATIONNELLE ET LE FAIBLE USAGE DES TIC

Notre objectif est à présent de démontrer que les situations de stabilité organisationnelle et de faible usage des TIC sont liées. Pour ce faire, nous insisterons sur l'impact organisationnel des TIC.

#### La dimension organisationnelle des TIC

Le cas d'ENHANCE nous fournit une preuve empirique de l'existence d'une interdépendance entre l'appropriation des formes organisationnelles et l'usage des TIC. Ce projet ambitieux a, dès son démarrage, poursuivi un double objectif: accroître la part des PME sous-traitantes dans l'effort de R & D et favoriser l'usage des TIC de travail collaboratif. En d'autres termes, pour les partenaires du projet, les TIC apparaissent être le moyen efficace pour adopter des formes organisationnelles plus efficaces, tant au niveau intra- qu'au niveau inter-entreprises. Les TIC de travail collaboratif ont, dans ce projet, modifié les frontières des firmes et elles ont permis d'optimiser l'exploitation des propres compétences des firmes, mais aussi de celles de leurs partenaires. C'est notamment grâce aux TIC de travail collaboratif véhiculées par ENHANCE que 30 % des

collecticiels offrent la possibilité de travailler à plusieurs sur une même application. Ils peuvent se subdiviser en deux: l'édition conjointe et le TCAO (Travail Coopératif Assisté par Ordinateur).

(11) Sup@irWorld et F7X sont, respectivement, des projets d'Airbus et de Dassault Aviation.

(12) L'application CATIA est le système de développement de produits le plus utilisé dans des industries comme l'aéronautique et l'automobile. Elle concerne notamment la conception de formes, la conception mécanique et la gestion de maquettes virtuelles.

(13) Chez un maître d'œuvre européen majeur, il n'y a pas plus de trois ou quatre PME connectées par site de production.

frais de R & D de l'Airbus A380 ont été supportés par les PME sous-traitantes et que les maîtres d'œuvre de l'aéronautique ont pu étendre les relations de co-conception à ces mêmes PME. Les TIC sont donc de puissants outils de coordination qui favorisent le développement de nouvelles formes organisationnelles. En effet, sans ces outils, les relations de co-conception existant entre les PME et les maîtres d'œuvre se limiteraient pour l'essentiel à une sous-traitance in situ. Par leur action, les TIC de travail collaboratif facilitent l'externalisation des activités de R & D. À l'inverse du cas ENHANCE, chez le maître d'œuvre spatial rencontré, le service informatique se refuse à installer sur le réseau interne les outils de travail collaboratif réclamés par les ingénieurs intervenant lors de la phase de définition détaillée (phase C) (14). Ces derniers sont donc dans l'impossibilité de bâtir de réelles logiques collaboratives ou de co-conception avec leurs PME partenaires.

Outre cette illustration empirique, la dimension organisationnelle des TIC de travail collaboratif est également soulignée théoriquement par un certain nombre d'auteurs. GUILHON [1993] indique qu'il existe des technologies possédant de fortes propriétés organisationnelles, qu'il nomme les « TIC d'organisation ». De notre point de vue, cette catégorie de TIC correspond à ce que nous avons appelé les TIC de travail collaboratif. Ces deux appellations différentes font référence à des technologies qui, en plus d'agir sur les coûts de production, ont une influence sur la coordination des tâches. NELSON *et al.* [2002], (et plus généralement le courant évolutionniste) poussent ce raisonnement encore plus loin, lorsqu'ils évoquent une corrélation entre l'appropriation technologique et l'évolution des formes organisationnelles. Il existe, selon eux, une « co-évolution » entre le choix des technologies par la firme et les formes organisationnelles exploitées. La technologie influence les modes de coordination existants, de la même manière que les modes de coordination influent sur les choix technologiques. En se référant aux travaux de CHANDLER, NELSON *et al.* [2002] expliquent la manière dont le développement des chemins de fer a coïncidé avec celui de nouvelles formes de coordination. Les chemins de fer ont contribué à l'apparition de la production de masse et du capitalisme moderne qui, en retour, ont renforcé l'importance du rail dans ces nouvelles logiques économiques.

#### Les propriétés organisationnelles des TIC de travail collaboratif

Ces remarques empiriques et théoriques soulignent l'interdépendance entre la stabilité organisationnelle et le

(14) Le principal argument évoqué par la direction du service information pour justifier sa position est la baisse du niveau de sécurité du réseau. L'ouverture de nouveaux ports informatiques nécessaires aux outils de travail collaboratif en accroît, en effet, la vulnérabilité.

retrait dans l'usage des TIC de travail collaboratif. Pour approfondir notre argumentation, nous proposons de caractériser plus finement les propriétés organisationnelles de ces TIC, en nous appuyant sur les travaux de JEANTET *et al.* [1996], et sur ceux de CLARK *et al.* [1990]. Puisqu'il englobe les TIC de travail collaboratif, le concept « d'objet intermédiaire » [JEANTET *et al.*, 1996] sera notre point de départ. Nous retenons leur notion de « forme », c'est-à-dire le fait que les objets peuvent être fermés ou ouverts : ils sont dits « fermés » lorsqu'ils contraignent totalement les acteurs à se conformer à l'interprétation ou à la représentation du monde véhiculée par ces objets ; inversement, les objets sont dits « ouverts » lorsqu'ils laissent aux acteurs une liberté d'interprétation. Nous incorporons la notion de « forme » aux travaux de CLARK *et al.* [1990]. Ces auteurs supposent qu'il existe deux types d'innovation, qui agissent différemment sur les liens d'un réseau. Il existe, d'une part, les innovations modulaires, qui laissent inchangées les relations du réseau et, d'autre part, les innovations architecturales, qui modifient les relations du réseau. Si nous supposons que les TIC ont la propriété fondamentale de densifier – légèrement ou en profondeur – les liens de réseaux composés d'agents économiques, nous obtenons alors la typologie suivante :

– Nous nommerons *TIC de travail collaboratif modulaires* les TIC qui renforcent les relations existantes (action modulaire) et réduisent le champ des possibles (objet fermé) dans les processus auxquels elles sont appliquées ;

– Inversement, nous appellerons *TIC de travail collaboratif architecturales* celles qui créent de nouveaux liens entre les agents économiques (action architecturale) et, ce faisant, élargissent le champ des possibles (objet ouvert).

Cette typologie des TIC une fois établie, nous pouvons revenir sur l'interdépendance entre la stabilité organisationnelle et l'usage des TIC. Les *workflows* constituent un exemple parfait de TIC de travail collaboratif modulaire : en automatisant les processus de circulation des connaissances aux niveaux intra- et inter-entreprises, ils renforcent les liens existants, tout en réduisant les marges de manœuvre des individus. En outre, ils peuvent avoir une action (soit légère, soit profonde) sur les liens des réseaux. Les collecticiels, quant à eux, sont plutôt des TIC de travail collaboratif architecturales et, à l'inverse des *workflows*, ils ont majoritairement une action profonde sur les liens. Enfin, les outils de management des connaissances sont des TIC de travail collaboratif à la fois modulaires et architecturales : en fonction de leurs caractéristiques techniques, ils modifient (ou non) les relations du réseau. Par ailleurs, leur impact sur la forme organisationnelle est toujours léger (15).

(15) Un annuaire des compétences permet de renforcer les relations entre les firmes et d'en créer de nouvelles. Toutefois, cet annuaire n'a que de faibles implications sur la façon dont ces relations sont coordonnées.

## COMMENT INTERPRÉTER CES DEUX SITUATIONS DE STABILITÉ ?

Nous savons désormais qu'il existe une interdépendance entre la stabilité organisationnelle et la stabilité technologique. La question qui doit maintenant être abordée est celle de l'interprétation : quel point de vue adopter face à la stabilité organisationnelle et technologique observée dans l'industrie spatiale ?

Notre analyse tâchera de montrer qu'on ne peut apporter une réponse unique à cette question. En effet, les situations de stabilité observées s'interprètent en fonction du type d'*output* à réaliser. Aussi, nous insisterons d'abord sur la nature de ces *outputs*, afin de mettre en avant l'avantage concurrentiel des firmes spatiales. Nous proposerons ensuite une première interprétation, que nous préciserons par la suite.

### L'avantage concurrentiel des firmes spatiales

Les contraintes propres à l'industrie spatiale conduisent les firmes à baser leur avantage concurrentiel, avant tout, sur la maîtrise de la fiabilité. L'environnement dans lequel les engins spatiaux évoluent est très différent de l'environnement terrestre. Dans l'espace, sur Vénus, sur Mars ou sur Titan, les engins spatiaux expérimentent à chaque fois des conditions spécifiques qui n'ont rien de comparable avec l'environnement protecteur de la Terre. À cela s'ajoute le fait que les ingénieurs ne connaissent qu'approximativement les propriétés de ces mondes (16). Les industriels sont donc dans l'impossibilité de simuler précisément l'environnement opérationnel des *outputs*, tout comme ils sont incapables de tester tous les sous-ensembles des satellites et des sondes (17). Ce constat se traduit par une forte incertitude quant à la fiabilité effective du produit réalisé. Les maîtres d'œuvre font également face à un coût de l'échec très important. Le coût d'une mission spatiale demeure trop élevé pour que les industriels puissent subir une série d'échecs sans s'exposer à un risque de faillite (18). La combinaison de ces éléments confère à la fiabilité une place centrale dans les programmes spatiaux. Pour survivre, les industriels doivent s'appropriier et surtout maintenir des formes organisationnelles qui garantissent de hauts niveaux de fiabilité.

(16) Lors des premiers lancements de satellites, les industriels ignoraient que, dans l'espace, le rayonnement solaire pouvait les déprogrammer. De nos jours, lorsqu'ils déposent une sonde sur Titan, ils ne connaissent qu'approximativement les propriétés de ce satellite naturel.

(17) Par exemple, les maîtres d'œuvre ne disposent pas d'installations permettant de tester le comportement de certains constituants de la propulsion ou de l'alimentation électrique des satellites. Or, d'après le service qualité, 60 % des pannes de satellites en orbite sont dues aux sous-ensembles non complètement testables au sol.

En s'appuyant sur les travaux de HANNAN *et al.* [1984], il apparaît que cette nécessité constitue l'une des principales sources de ce qu'ils nomment « l'inertie structurelle » (19). Selon eux, l'obtention de hauts niveaux de fiabilité résulte de la mise en place de formes organisationnelles adéquates, et leur maintien passe par le respect rigoureux des choix organisationnels effectués. HANNAN *et al.* [1984] indiquent que les principaux moyens dont disposent les organisations pour accroître la probabilité de reproduire des règles organisationnelles consistent, d'une part à créer des routines et, d'autre part, à institutionnaliser les processus. Les routines sont la source de la continuité des comportements dans les organisations. Néanmoins, lorsqu'elles ne sont pas régulièrement activées, elles sont rapidement oubliées par les individus. Aussi doivent-elles être régulièrement activées pour perdurer dans les firmes et garantir de hauts niveaux de fiabilité. Le deuxième moyen disponible consiste à institutionnaliser les processus. En officialisant les règles de coordination tacites, les firmes facilitent la reproductibilité et la stabilité des processus dans le temps. Ces deux moyens favorisent le maintien de la fiabilité, mais ils contribuent, en contrepartie, à développer une forte inertie structurelle.

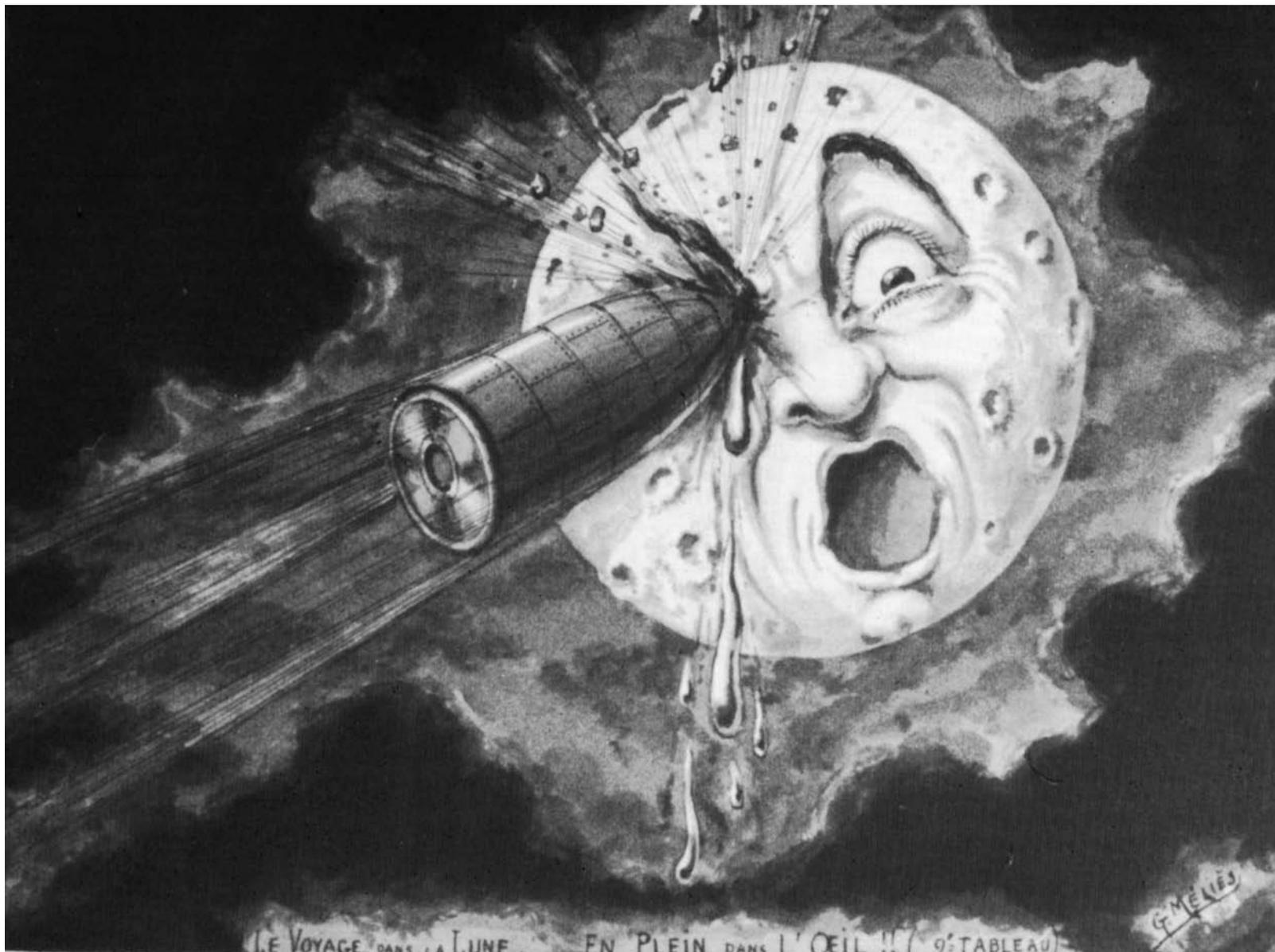
### L'interprétation générale des stabilités organisationnelle et technologique

Dans l'industrie spatiale, le principe est que les formes organisationnelles validées lors des programmes réussis soient maintenues afin de garantir de hauts niveaux de fiabilité. C'est pourquoi les relations de prescription [HATCHUEL, 1993] adoptées dans les années 1960 par les maîtres d'œuvre ne peuvent évoluer que très lentement.

Au niveau intra-entreprise, l'exploitation seulement partielle des principes d'ingénierie concurrente a été maintenue, pour faciliter la réactivation des routines validées lors des programmes spatiaux réussis. La conception spatiale doit continuer de s'organiser sur le principe de phases successives, dans lequel les premières s'imposent aux suivantes et où les flux d'information restent largement descendants. Cette inertie organisationnelle, bien que garante du maintien des avantages concurrentiels, freine fortement l'adoption des règles de management fondées sur le cycle de vie du produit. Au niveau inter-entreprises, les relations consistant à exclure les PME des

(18) Après l'échec du premier lancement d'Ariane 5, les responsables d'Arianespace étaient extrêmement réservés sur la poursuite de l'aventure Ariane, dans le cas où le deuxième lancement se serait à nouveau soldé par un échec.

(19) L'inertie doit être vue dans une perspective dynamique où les formes organisationnelles évoluent de façon lente, le terme 'structurelle' faisant ici référence au caractère collectif, non-individuel, de ce type d'inertie.



G. MÉLIÈS © ADAGP Banque d'images 2006

L'environnement dans lequel les engins spatiaux évoluent est très différent de l'environnement terrestre (*Voyage dans la Lune*, Georges Méliès, 1902).

processus de conception ne doivent évoluer que très lentement. Dès lors qu'il a été institutionnalisé que les PME n'interviendraient pas dans les premières phases de conception et qu'elles seraient assimilées à de simples exécutants, il serait risqué de remettre cette situation en cause. Aujourd'hui, dans le spatial, l'externalisation de la R & D est freinée moins tant par un manque de compétences de la part des PME que par le besoin impératif de maintenir la fiabilité. Cela confirme le point de vue (déjà évoqué précédemment) du responsable du bureau d'études d'un sous-traitant; son donneur d'ordre spatial lui confiait moins de tâches de R & D que ses autres donneurs d'ordre.

Outre la stabilité des formes organisationnelles, les atouts de l'inertie nous permettent également de comprendre les causes du faible usage des TIC de travail collaboratif. Le cas du projet ENHANCE, tout comme les travaux théoriques de NELSON *et*

*al.* [2002], nous ont permis de montrer que les choix organisationnels et technologiques étaient fortement interdépendants. La tendance à maintenir les formes organisationnelles validées réduit d'autant l'incitation à adopter des TIC de travail collaboratif. Le faible usage des outils de travail collaboratif peut aussi être justifié par leurs propriétés: le besoin de maintenir de hauts niveaux de fiabilité conduit les firmes à adopter celles des TIC qui ont le moins d'incidence sur les formes organisationnelles. On comprend ainsi mieux pourquoi les collecticiels sont quasiment absents chez le maître d'œuvre rencontré à l'occasion de cette étude. Conformément aux propriétés énoncées précédemment, l'édition conjointe et le TCAO (20),

(20) Rappelons que TCAO signifie Travail Coopératif Assisté par Ordinateur.

modifient les relations des réseaux (action architecturale) et ont majoritairement une action profonde sur les liens. Ces deux caractéristiques freinent le maître d'œuvre, qui ne veut pas encourir le risque d'engendrer un processus causal qui fragiliserait les routines existantes et réduirait par là même la fiabilité de ses produits. Le maître d'œuvre rencontré est plutôt enclin à adopter des *workflows* et des outils de management des connaissances à action modulaire et légère sur les liens des réseaux. En facilitant la reproduction des formes organisationnelles, les TIC de travail collaboratif modulaires à action légère renforcent l'inertie des firmes, et constituent, de ce fait, un atout dans l'industrie spatiale. Malgré cela, l'usage de ces TIC reste modéré; le maître d'œuvre ne les emploie pas dans les activités qui constituent le cœur du métier spatial. Cette réticence s'explique par le fait qu'une action sur le cœur de métier ferait courir le risque de renforcer les liens, non pas tels qu'ils existent réellement, mais bien plutôt tels que la hiérarchie les appréhende. Au final, les besoins de fiabilité légitiment le faible usage des outils de communication puissants, et renforcent les outils plus traditionnels, comme le téléphone ou le fax.

#### L'interprétation différenciée des stabilités organisationnelle et technologique

L'analyse de HANNAN *et al.* [1984] conduit à légitimer les situations de stabilités organisationnelle et technologique observées dans l'industrie spatiale. Ces auteurs proposent un cadre général pour comprendre les choix effectués par les acteurs d'une industrie confrontée à des niveaux d'incertitude et à des coûts d'échec particulièrement élevés. Cependant, l'exploitation que nous avons faite de ce cadre général ne permet pas de saisir de façon suffisamment précise les situations de stabilité. En effet, il existe une diversité de points de vue à ce sujet. Le débat porte par exemple sur la question des prises de marges de sécurité ou sur celle de l'utilisation de composants électroniques destinés au grand public. Dans ces deux cas, la problématique à laquelle sont confrontés les ingénieurs est celle de savoir si la réduction des marges de sécurité ou l'utilisation de composants électroniques grand

public permet de réduire les coûts de production, sans réduire la fiabilité de l'*output*. Dans l'industrie spatiale, il semble exister une tendance à la surestimation des marges de sécurité, qui débouche sur un accroissement des coûts de production. POTTECK [1999, p. 257] indique par exemple que si, pour transmettre un signal, les ingénieurs savent qu'il faut utiliser une antenne de 55 cm de diamètre, ils en concevront une de 60 cm afin de se prémunir contre les propriétés émergentes (21). En ce qui concerne les composants électroniques, les firmes s'interrogent sur l'intérêt de réduire l'utilisation des composants durcis de type MIL et HIREL (22) au profit de composants grand public moins fiables, mais bien moins chers (23). Ces deux exemples nous incitent à exploiter plus finement l'analyse de HANNAN *et al.* [1984] afin de proposer une interprétation différenciée des situations de stabilité observées. Jusqu'à présent nous avons supposé que les firmes de l'industrie spatiale réalisaient un seul et même type d'*output*, caractérisé par des niveaux élevés d'incertitude et de coût d'échec. Cette hypothèse est trop réductrice.

Les entretiens menés auprès des ingénieurs travaillant dans les unités industrielles nous ont permis de préciser notre analyse. Tout d'abord, classer les *outputs* spatiaux selon leur niveau d'incertitude et selon leur coût d'échec permet d'obtenir une typologie constituée de trois groupes. Ensuite, il apparaît que les ingénieurs intervenant dans chacun de ces groupes d'*outputs* ont une interprétation différente des situations de stabilité organisationnelle et technologique. Le premier groupe d'*outputs* présente les niveaux les plus élevés d'incertitude et de coût d'échec. Ce sont les *outputs* qui « volent » et qui sont utilisés dans des programmes faisant l'objet d'un *business plan*. On y trouve par exemple les satellites de télécommunication commandés par les clients privés et les fusées utilisées pour les lancer. Le haut niveau d'incertitude provient du fait que ce sont des *outputs* qui volent. Le coût de l'échec élevé résulte du fait que les *outputs* sont mobilisés dans des programmes faisant l'objet d'un *business plan* (24). Le *business plan* accolé à ces programmes rend les échecs difficiles à supporter. L'échec d'une mission ne fragilise pas simplement le producteur de l'*output* défectueux; il déstabilise tous les acteurs impliqués dans le programme (25). L'échec d'un programme spatial de télécommunication peut, par

(21) Propriété émergente: propriété du produit qui n'avait pas été anticipée.

(22) MIL: norme militaire répondant aux besoins des environnements militaires les plus contraignants. HIREL: norme spatiale, encore plus rigoureuse que la norme MIL.

(23) Selon le document RNC-CNES-Q-60-513 du Centre National d'Etudes Spatiales, les composants commerciaux sont de deux à cent fois moins chers que les composants MIL et HIREL.

(24) Dans l'industrie spatiale, les programmes faisant l'objet d'un *business plan* sont en majorité des programmes de télécommunication et d'observation de la Terre.

(25) Ce sont surtout les strates successives de clients qui souffrent des échecs: l'opérateur de satellite, qui a commandé le satellite; le fournisseur de contenu, qui loue la bande passante, et le client final, qui achète les contenus.

exemple, retarder de plusieurs années le déploiement des solutions commerciales satellitaires (26). Les clients vont donc demander à ce que le responsable de l'échec les dédommage du retard de livraison. Au regard de ce constat, il est clair que les ingénieurs réalisant ces *outputs* vont estimer indispensables et bénéfiques les situations de stabilité organisationnelle et technologique. Par exemple, en phase d'assemblage, il est jugé nécessaire d'établir un traçage maximal qui puisse prouver que chaque pièce a été montée conformément à la procédure idoine. Les *outputs* volants, et donc utilisés, dans un programme possédant un *business plan* doivent afficher des niveaux de fiabilité maximum. Conformément à l'analyse de HANNAN *et al.* [1984], il convient de présenter une inertie maximale pour atteindre les niveaux de fiabilité requis. Les ingénieurs intervenant sur ce premier groupe d'*outputs* s'opposent donc, à juste titre, à la plupart des changements organisationnels ainsi qu'à l'utilisation de TIC de travail collaboratif présentant une action architecturale forte.

Le deuxième groupe d'*outputs* se caractérise par des niveaux supérieurs d'incertitude, mais avec un coût d'échec plus faible en comparaison avec le premier groupe. Ce sont des *outputs* qui volent, mais qui ne sont pas utilisés dans des programmes faisant l'objet de *business plans*. On trouve ici, par exemple, les sondes spatiales et les fusées utilisées pour les lancer. Ces *outputs* résultent de commandes passées par les États ou les agences spatiales, ce qui réduit les impératifs imposés par les *business plans*. Ils sont utilisés lors de missions scientifiques ou de démonstrations pour lesquelles il n'y a pas de réels critères de rentabilité. Dès lors, même si l'incertitude est plus forte pour ces programmes que pour les programmes de télécommunications, l'atténuation des critères de rentabilité permet de réduire les impératifs de fiabilité. De fait, l'introduction de technologies innovantes, dans le cas des missions scientifiques, ne s'oppose pas à la mobilisation de procédures de conception moins rigides. Les ingénieurs intervenant sur ces *outputs* acceptent de mettre en place de nouvelles formes organisationnelles et ils utilisent les TIC de travail collaboratif correspondant à leur spécialité. Ils tentent par exemple de coordonner les premières phases de conception grâce à la Concurrent Design Facility. Cette innovation organisationnelle et technologique est constituée de puissants outils de travail collaboratif architecturaux, mobilisés dans une perspective d'ingénierie concurrente. Ces ingénieurs interprètent ainsi les situations de stabilité organisationnelle et technologique avec un regard plus critique. Même s'ils admettent que la stabilité est garante de la fiabilité,

ils reconnaissent que, dans certains cas, la stabilité peut être préjudiciable à l'entreprise. En effet, elle empêche parfois de bénéficier d'innovations organisationnelles et technologiques qui amélioreraient les performances, sans pour autant réduire la fiabilité des *outputs*.

Le dernier groupe d'*outputs* réalisés présente de faibles niveaux d'incertitude et de coût d'échec. Ce sont les *outputs* qui ne volent pas et qui sont à la frontière entre l'industrie spatiale et d'autres industries, comme celles des télécommunications ou des logiciels. Les ingénieurs interviennent ici sur des *outputs* qui ont pour vocation de faire naître les futurs marchés de l'industrie spatiale. On peut citer, par exemple : l'exploitation du potentiel de géolocalisation offert par Galileo ; la gestion des catastrophes par satellite et la diffusion de nouveaux contenus. Dans ce cas, les ingénieurs interprètent les situations de stabilité comme relativement préjudiciables pour l'avenir de leur entreprise et ils les assimilent à un facteur de retard. Ils s'opposent au point de vue selon lequel l'adoption de nouvelles formes organisationnelles et de nouvelles TIC de travail collaboratif réduirait la fiabilité des *outputs*. Ils affirment, au contraire, que l'industrie spatiale, paralysée par des contraintes de fiabilité surévaluées, rencontre parfois des difficultés à saisir des opportunités de marché. Ce sont ces ingénieurs qui sont le plus enclins à utiliser les formes organisationnelles et les TIC de travail collaboratif déjà exploitées par l'aéronautique. Ils se heurtent néanmoins à une certaine inertie lorsqu'ils veulent combler ce qu'ils interprètent comme un retard technologique et organisationnel. En effet, les ingénieurs interrogés se voient refuser l'utilisation de formes organisationnelles fondées sur des groupes-projets transversaux ; de même, la direction des systèmes informatiques les empêche d'exploiter davantage d'outils de travail collaboratif. Pour surmonter ces entraves, les ingénieurs cherchent à augmenter leur indépendance vis-à-vis des unités non-industrielles. Ils peuvent, par exemple, mettre en place une organisation du travail fondée plus significativement sur l'ingénierie concurrente et se doter de réseaux de télécommunication autonomes afin d'utiliser des logiciels non autorisés sur le réseau informatique interne à l'entreprise.

## CONCLUSION

Depuis sa création, l'industrie spatiale symbolise parfaitement l'image que nous nous faisons d'une industrie de haute technologie. Paradoxalement, les firmes de ce secteur présentent une stabilité à la fois organisationnelle et technologique. D'un point de vue organisationnel, les maîtres d'œuvre n'exploitent complète-

(26) La principale application des télécommunications par satellite est aujourd'hui la diffusion d'émissions de télévision.

ment ni les principes de l'ingénierie concourante ni le potentiel de R & D de leurs PME sous-traitantes; d'un point de vue technologique, les firmes du spatial n'utilisent que faiblement les TIC de travail collaboratif. Notre analyse, à la fois empirique et théorique, nous a conduit à montrer qu'il existe une interdépendance entre ces deux situations de stabilité. Nous avons ensuite apporté trois interprétations différenciées de cette stabilité, en fonction des niveaux d'incertitude et de coût d'échec qui entourent les produits réalisés. Les ingénieurs confrontés aux niveaux d'incertitude et de coût d'échec les plus élevés assimilent la stabilité à une source de fiabilité et de performance. À l'inverse, ceux qui sont confrontés à de faibles niveaux d'incertitude et de coût d'échec affirment que la stabilité est néfaste pour le développement de nouveaux produits. Finalement, les critères d'évaluation étant dépendants des contraintes de l'environnement, nos résultats soulignent que les notions d'inertie et de changement ne sont en elles-mêmes porteuses d'aucune influence potentielle sur les performances. Partant, l'industrie spatiale contribue à remettre en cause le présupposé qui voudrait que l'innovation soit profitable dans tous les cas de figure à l'activité humaine.

#### BIBLIOGRAPHIE

- ALCOUFFE, C., *Formes de coopération interentreprises: l'organisation de la R & D dans l'aéronautique et le spatial*, Document de travail, LIRHE, 1996.
- ALOUANI, Z., *Organiser l'ingénierie concourante dans l'entreprise: contribution méthodologique; application aux processus de conception dans l'industrie automobile*, Thèse de doctorat, UNSA – RODIGE, 1998.
- BANDECCHI, M., ESCORIAL OLMOS, D., *Grid for concurrent/collaborative engineering in space*, ESRIN, GRID & e-Collaboration for the Space Community Workshop, Netherlands, 2005.
- BÈS, M-P., & ALCOUFFE, C., *Standardisation et évaluation des activités de conception dans le secteur aérospatial*, Document de travail, LIRHE, 1997.
- BOUJUT, J-F., & JEANTET, A., *Développement de processus coopératifs en conception de produits et évolution des outils de l'ingénieur; Management de l'innovation, management de la connaissance*, DUMEZ, H., (Eds), Paris, L'Harmattan, 2001.
- Centre National d'Etudes Spatiales, *Commercial components – General Handbook*, RNC-CNES-Q-60-513, 2003.
- CLARK, K., & HENDERSON, R., « Architectural Innovation: The Reconfiguration of Existing Product Technologies and the Failure of the Established Firms », *Administrative Science Quarterly*, 35, 9-30, 1990.
- ENHANCE – ECN, *Multi-site collaborative: State of the art and best practices*, COSITE, Ref. 3.1/ECN/T/99 001-1.1, 1999.
- ENHANCE – CASA, *Common multisite collaborative work requirements*, COSITE D3.1/2, Ref. 3.1/CASA/T/99001 – 1.1, 1999.
- ENHANCE, *ENHANCE consortium*, 2002.
- HANNAN, M., & FREEMAN, J., « Structural Inertia and Organizational Change », *American Sociological Review*, vol. 49, n° 2, 149-164, 1984.
- GUILHON, B., *Les Dimensions actuelles du phénomène technologique*, Paris, L'Harmattan, coll. Logiques économiques, 1993.
- HAAS, J., LARRE, F., & OURTAU, M., *R & D dans le secteur aéronautique et spatial: tensions liées à un contexte nouveau*, Document de travail, LIRHE, 2001.
- HATCHUEL, A., *Coopération et conception collective, Variété et crises des rapports de prescription*, *Coopération et conception*, DE TERSSAC, G., & FRIEDBERG, E., (Eds), Editions Octares, 101-121, 1996.
- JEANTET, A., TIGER, H., VINCK, D., & TICHKIEWITCH, S., *La coordination par les objets dans les équipes intégrées de conception de produit*, *Coopération et conception*, DE TERSSAC, G. et FRIEDBERG, E. (Eds), Editions Octares, 88-100, 1996.
- NELSON, R., & NELSON, K., « Technology, institutions and innovation systems », *Research Policy*, 31, 265-272, 2002.
- POTTECK, S., *La Conception de systèmes spatiaux: Système, Paysage, Mouvements* (Tome 1), Éditions du Shemectif, 1999.