L'enfance des constellations

Max-Henrik Blom, Nicolas Sennequier

▶ **To cite this version:**

Max-Henrik Blom, Nicolas Sennequier. L'enfance des constellations. Sciences de l'Homme et Société. 1999. hal-01909743

HAL Id: hal-01909743

https://minesparis-psl.hal.science/hal-01909743

Submitted on 31 Oct 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Mémoire de troisième année
présenté pour l'obtention du diplôme
d'Ingénieur des Mines

par

ÉCOLE NATIONALE
SUPÉRIEURE DES
MINES
BIBLIOTHÈQUE
IE 1 C398]

Max-Henrik Blom et Nicolas Sennequier

L'enfance des constellations

Ecole nationale supérieure des mines de Paris
Corps techniques de l'Etat
60, boulevard Saint-Michel
75272 Paris Cedex 06

Consultation
sur place

Août 1999

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES 3

RÉSUMÉ 5

ABSTRACT 6

REMERCIEMENTS 7

INTRODUCTION 9

I - Intérêt des satellites pour les télécommunications 9
II - Les bouleversements de l'industrie des satellites de télécommunication 10
III - Question posée 10

L'INDUSTRIE DES SATELLITES DE TÉLÉCOMMUNICATION 13

I - La chaîne de valeur 13
II - La construction de satellites 14
II.1. Les industriels 14
II.2. La concentration horizontale 16
III - L'opération de satellites 16
III.1. Les organisations internationales d'exploitation 17
III.2. Les opérateurs privés de satellites 20
III.3. Une activité à risque 21
III.4. Concentration horizontale 21
III.5. La création de nouveaux opérateurs 22
IV - L'intégration entre constructeurs et opérateurs 27

L'INTÉGRATION VERTICALE : POURQUOI ET POUR QUOI ? 29

I - L'intégration verticale aujourd'hui 29
I.1. L'organisation d'une chaîne de valeur 29
I.2. Déterminants de l'organisation d'une chaîne de valeur 33
I.3. Un exemple d'intégration verticale : l'industrie de la santé américaine 34
II - L'intégration verticale dans l'industrie des satellites de télécommunication 36
II.1. Une R&D qui passe du côté des constructeurs 37
II.2. Un marché changeant 38
II.3. Une mutation industrielle 40

ET DEMAIN ? 45

I - Un mouvement temporaire 45
II - La maturité des constellations 47

BIBLIOGRAPHIE 49

ANNEXE 1 : DONNÉES TECHNIQUES 51

I - Les types d'orbites et les constellations 51
II - L'infrastructure 52
II.1. La charge utile 53
II.2. La plateforme 53
II.3. Les stations terriennes 54

ANNEXE 2 : APPLICATIONS DES SATELLITES DE TÉLÉCOMMUNICATION 57

I - Téléphonie 57
I.1. Transport 57
I.2. Boucle locale 58
I.3. Téléphonie mobile par satellite 58
II - Télédiffusion 59
II.1. Applications professionnelles 60
II.2. Diffusion directe 61
III - Transmission de données 62
III.1. Les réseaux d'entreprise par VSAT 63
III.2. La radiomessagerie 64
III.3. Internet par satellite 64

ANNEXE 3 : ORGANISATIONS CONTACTÉES POUR CE TRAVAIL 67

ANNEXE 4 : QUELQUES ADRESSES UTILES SUR LA TOILE 69

I - Opérateurs de satellite 69
II - Constructeurs de satellite 69
III - Groupes spécialisés dans les satellites 70
IV - Informations générales sur les satellites 70

Résumé

Les satellites représentent une infrastructure fondamentale de télécommunication. Le domaine des satellites de télécommunication est l'objet de changements en profondeur pour ceux qui fabriquent ces satellites (les constructeurs) et ceux qui les exploitent (les opérateurs). Deux de ces changements sont la création de nouveaux opérateurs de grande taille et d'un type nouveau (les constellations) et l'intégration verticale entre les constructeurs et les opérateurs. Cette intégration verticale est d'autant plus intéressante qu'elle s'oppose en apparence au mouvement général de spécialisation des entreprises : nous nous sommes donc posé la question de sa durabilité. Nous avons en outre choisi d'examiner de plus près le cas particulier des constellations, qui ont pour la plupart été créées sous l'impulsion d'un constructeur de satellite.

Nous avons constaté que l'intégration verticale constructeurs-opérateurs se produit à l'initiative des constructeurs et s'inscrit dans le cadre plus large d'une reconfiguration de l'industrie. Outre les deux mouvements déjà décrits, cette reconfiguration inclut une concentration horizontale d'une part des constructeurs et d'autre part des opérateurs. Dans ce cadre élargi, nous avons pu analyser les raisons et les dangers de l'intégration verticale constructeurs-opérateurs. Nous concluons que si cette intégration semble continuer à court terme, elle devrait s'avérer éphémère et disparaître dans un délai variable selon les groupes concernés. Les constellations qui arriveront à maturité devraient vérifier cette évolution.

Abstract

The world of telecommunication satellites is as busy as ever. After focusing on the geostationary orbit for decades, its players have recently entered a new arena, as they launch dozens of satellites in low and medium earth orbits for their highly publicised "constellations". As it turns out, the launch of many of these new systems fits into a pattern of vertical integration, whereby satellite manufacturers take increasing stakes in satellite operators in a bid to enter this coveted activity.

This paper will assess the changes that have happened in this particular industry over the past few years, and take a closer look at the very special relationship that links satellite manufacturers to their customers. After an overview of the scenery as it stands today, we will strive to understand manufacturers' motivations in becoming satellite operators themselves, and give our opinion as to what lies beyond the current trend of vertical integration.

Remerciements

Ce travail de mémoire a été effectué en 1998-1999 en troisième année du cursus « Corps techniques de l'Etat » à l'Ecole nationale supérieure des mines de Paris. Le cadre de travail offert par l'Ecole nous a permis de réaliser ce mémoire dans de bonnes conditions.

D'abord, ce mémoire a été suivi sur le plan méthodologique par un « pilote », en la personne de Claire Paponneau. Claire a pris le temps de nous recevoir mensuellement afin de nous aider à faire surgir, décanter et mettre en forme les idées. Elle a également accepté de sortir de son rôle de pilote pour nous fournir quelques contacts. Sa contribution a été extrêmement précieuse à toutes les étapes de ce mémoire.

Une deuxième personne à laquelle ce mémoire doit énormément est Pascale Sourisse, notre interlocutrice au sein du « terrain » SkyBridge. Pascale a elle aussi pris sur son temps pour discuter nos idées et pour nous ouvrir son carnet d'adresses. Ce mémoire est grâce à elle devenu plus riche et plus vivant.

En troisième lieu, nous tenons à remercier les membres de la Commission des travaux personnels. Cette commission, qui suit les travaux de mémoire des ingénieurs-élèves, nous a fait part de ses critiques, le plus souvent contructives. Elle nous a en particulier obligés à parfaire la présentation de nos idées.

Enfin, un grand nombre de personnes impliquées de près ou de loin dans les satellites de télécommunication ont eu la gentillesse de répondre à nos questions. Ce sont leur réponses qui ont constitué le terreau dans lequel ce mémoire a puisé sa substance. Qu'elles soient remerciées pour leur disponibilité. L'annexe 3 donne la liste des organisations auxquelles ces contacts appartiennent.

Introduction

Nul ne peut ignorer l'importance des satellites de télécommunication dans le monde moderne. Utilisés à l'origine pour la téléphonie et l'acheminement de programmes télévisés, ils ont connu un renouveau dans les années 80 avec l'avènement de la télédiffusion directe, qui les a rendus enfin tangibles à l'utilisateur final à travers l'antenne parabolique à usage privé. Ils ont aussi une importance stratégique, voire psychologique, décisive, puisqu'ils ont longtemps servi de vitrine industrielle à leurs promoteurs, véhiculant ainsi une part de la fierté nationale.

Nous allons donc dans un premier temps détailler les raisons de l'importance des satellites de télécommunication. Dans un deuxième temps, nous esquisserons brièvement les bouleversements de l'industrie qui leur est associée. Enfin, nous présenterons la question que nous nous sommes posée.

I - Intérêt des satellites pour les télécommunications

Un satellite de télécommunication est fondamentalement un relais hertzien en orbite. En tant que relais hertzien, il constitue le point nodal de deux stations terriennes de télécommunications ou plus (jusqu'à plusieurs millions). En tant que satellite, il présente des avantages par rapport aux relais hertziens implantés à la surface terrestre. Un satellite (1) demande peu d'infrastructures terrestres par comparaison avec les autres systèmes de télécommunications, (2) fonctionne indépendamment de ces autres systèmes de télécommunications, et (3) est capable de relier uniformément un grand nombre de points, fixes ou mobiles, au sein d'une large zone de couverture (en particulier, sans considération de distance entre ces points). L'annexe 1 (page 51) présente les données techniques relatives aux satellites de télécommunication, qui permettront à un lecteur novice de comprendre toutes les notions utilisées dans ce document.

Ces avantages ont permis aux satellites de se confirmer rapidement comme infrastructure irremplaçable de télécommunications ; elles les rendent particulièrement appropriés à la diffusion point-à-multipoint, grâce entre autres à un coût marginal de service réduit à l'installation et à l'entretien de l'antenne de l'abonné. Les applications des satellites de télécommunication sont détaillées dans l'annexe 2 (page 57) .

II - Les bouleversements de l'industrie des satellites de télécommunication

Un vent nouveau souffle aujourd'hui sur l'industrie des satellites de télécommunication. Ce vent de changement se fait sentir en particulier sur ceux qui les fabriquent (les constructeurs) et ceux qui les exploitent (les opérateurs), et de quatre façons :

1. Concentration horizontale des constructeurs : le nombre de grands constructeurs de satellites de télécommunication se réduit, en conséquence d'un mouvement de fusions-acquisitions. En 1999, il n'y a plus que cinq grands constructeurs à l'échelle mondiale.

2. Concentration horizontale des opérateurs : la même tendance s'observe chez les opérateurs que chez les constructeurs de satellite. Simultanément, les opérateurs privés ont une importance croissante alors que les opérateurs historiques sont des organisations internationales.

3. Apparition de nouveaux opérateurs : un grand nombre de nouveaux systèmes de télécommunication par satellite est en création. Ces nouveaux systèmes incluent les « constellations », systèmes de grande taille et qui représentent donc un enjeu majeur.

4. Intégration verticale des constructeurs et des opérateurs : chacun des trois axes précédents participe à un quatrième phénomène, l'implication des constructeurs de satellite dans l'opération.

III - Question posée

Des quatre mouvements stratégiques qui animent l'industrie des satellites de télécommunication, nous avons décidé de nous intéresser au quatrième. En effet, l'opération de satellite n'est pas le métier des constructeurs : l'intégration verticale avec l'opération peut être interprétée comme une diversification des constructeurs. Ce mouvement contraste ainsi avec la tendance générale au recentrage des groupes industriels sur leur métier de base.

Nous nous sommes donc demandé si l'engagement des constructeurs de satellite dans l'opération est durable. Dans la mesure où cet engagement coïncide avec la création, en partie sous l'égide des constructeurs, de grands opérateurs, les constellations, nous nous attacherons plus spécialement au cas de l'engagement des constructeurs dans les constellations. Dans ce cas particulier, notre question peut être reformulée de façon imagée : les constructeurs de satellite resteront-ils engagés dans les constellations devenues adultes ? Il convient dès maintenant de remarquer que cette question subsidiaire ne nous amènera pas à aborder la question du succès commercial des constellations, et donc de leur viabilité.

La question de la pérennité de l'implication des constructeurs dans l'opération de satellite est importante pour au moins deux raisons. D'une part, comme nous l'avons vu plus haut, les satellites de télécommunication constituent par eux-mêmes un domaine remarquable. A ce titre, l'avenir d'acteurs essentiels de ce domaine (constructeurs, opérateurs) est intéressant. Ceci est également vrai pour les constellations, qui représentent des projets considérables pour le domaine.

D'autre part, cette question concerne un cas particulier de stratégie industrielle. Nous avons en effet remarqué que l'implication des constructeurs dans l'opération de satellite représente une diversification vers l'aval. Ceci est l'inverse d'un recentrage des constructeurs sur leur métier de base. Comprendre la durabilité de ce mouvement nous amènera à dépasser le strict cadre des satellites de télécommunication. Si ce mouvement doit être éphémère, il faut s'attacher à déterminer les causes de son apparition et de sa disparition. S'il doit être durable, il faut comprendre les particularités de l'industrie des satellites de télécommunication qui expliquent que les groupes puissent y évoluer à contre-courant, en échappant à la tendance générale au recentrage des groupes sur leur métier de base[1].

Dans un premier temps, nous nous plongerons dans l'industrie des satellites de télécommunication (« L'industrie des satellites de télécommunication », page 13). Nous décrirons les acteurs de cette industrie et leur évolution. Nous reviendrons plus en détail sur les bouleversements que vit cette industrie, et en particulier sur l'implication des constructeurs dans l'opération de satellite. Dans un deuxième temps, nous chercherons à comprendre les origines et les limites de cette implication (« L'intégration verticale : pourquoi et pour quoi ? », page 29). Dans ce but, nous nous interrogerons préalablement de manière générale sur les relations entre deux entreprises situées à deux niveaux consécutifs d'une chaîne de valeur. Nous pourrons alors discuter les caractéristiques de l'industrie des satellites de télécommunication susceptibles de nous éclairer sur la pérennité de l'engagement des constructeurs dans les opérateurs de satellite, et en particulier dans les constellations. Dans un troisième et dernier temps, nous émettrons un avis personnel sur la pérennité de l'engagement des constructeurs de satellite dans l'opération (« Et demain ? », page 45).

---

[1] On ne peut pas écarter une hypothèse : que le cas qui nous intéresse ici représente un signe avant-coureur de la fin de cette tendance générale. L'objet de ce mémoire n'étant pas une analyse des tendances de fond des stratégies industrielles, nous ne tenterons pas d'évaluer cette hypothèse.

L'industrie des satellites de télécommunication

Cette première partie a pour ambition de donner au lecteur un bon aperçu de l'univers des satellites tel qu'il se présente aujourd'hui. Nous présenterons d'abord l'industrie sous la forme d'une chaîne de valeur à cinq maillons. Ensuite, dans le cadre de la question que nous nous sommes posée, nous nous pencherons plus en détail sur les deux premiers maillons de cette chaîne, la construction et l'opération, en insistant sur les mouvements qui se sont opérés, depuis le début des années 1980, au sein de chaque catégorie et entre elles.

I - La chaîne de valeur

L'industrie des satellites de télécommunications peut être organisée verticalement de façon relativement simple, avec cinq types d'acteurs : les constructeurs, les lanceurs, les opérateurs de satellites, les opérateurs de services et les éditeurs de contenu.

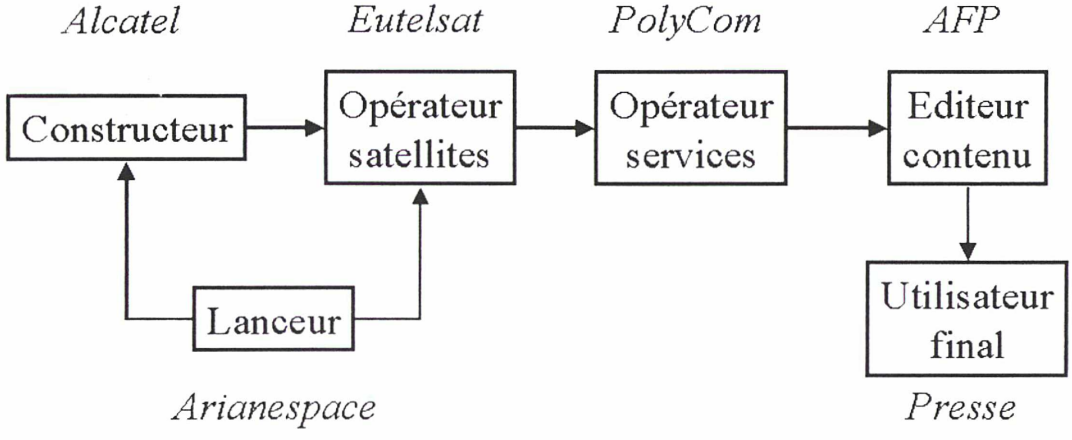


Figure 1 : l'organisation de l'industrie des satellites de télécommunication. Une flèche indique une relation client-fournisseur. Un exemple de chaque type d'acteur est indiqué en italique.

Les constructeurs de satellites de télécommunications fabriquent et vendent des satellites aux opérateurs de satellites. Les lanceurs interviennent ponctuellement pour placer le satellite en orbite[2]. Les opérateurs de satellites louent la capacité de leurs satellites aux opérateurs de services. Les opérateurs de services[3] utilisent cette capacité pour proposer des services de télécommunication aux éditeurs de contenu[4], qui sont les propriétaires de l'information à transmettre au client final. Nous allons nous intéresser ici à l'amont de cette chaîne de valeur : les constructeurs et les opérateurs de satellites.

II - La construction de satellites

La construction est le premier maillon de la chaîne. Elle a connu de grands bouleversements au cours des années 1990, de nombreux actifs ayant changé de mains. Nous décrirons donc les industriels tels qu'ils sont aujourd'hui, avant de détailler le mouvement de concentration qui s'est opéré.

II.1. Les industriels

La construction de satellites est une activité hautement spécialisée. Au niveau mondial, cinq groupes industriels dominent. Il s'agit, aux Etats-Unis, de Hughes, Loral et Lockheed Martin, et en France, de Matra Marconi Space et Alcatel. En marge de ce premier ensemble, on trouve deux constructeurs de moindre importance : Orbital Sciences Corporation et ISRO (Indian Space Research Organisation).

Le premier constructeur de satellites de télécommunications au monde est **Hughes Space and Communications**. Constitué en 1961, il est filiale du groupe Hughes Electronics, devenu à son tour filiale de General Motors en 1985. Hughes a fabriqué le premier satellite géostationnaire de télécommunications, Syncom, lancé en 1963. Il a construit les deux cinquièmes environ des satellites commerciaux de télécommunications en service aujourd'hui. Les deux tiers de son chiffre d'affaires (2,5 milliards de dollars en 1997) sont dus à des commandes de satellites commerciaux.

Sa gamme actuelle comprend le petit HS376 à 24 transpondeurs, le HS601 offrant jusqu'à 60 transpondeurs, et le HS702, introduit en 1995, dont la capacité s'élève à 94 transpondeurs opérationnels. Avec plus de 73

---

[2] Les satellites sont un secteur économique où l'emplacement - en l'occurence, du satellite - a beaucoup d'importance. Les lanceurs ont le rôle crucial de placer les satellites sur orbite, suite à un contrat conclu avec le constructeur ou l'opérateur du satellite. Les principaux lanceurs sont Delta, Arianespace, Proton, Soyouz (dont les capacités sont commercialisées par Starsem) et Zénit (qui souffre d'une mauvaise réputation en fiabilité).

[3] Par exemple : les bouquets numériques, PolyCom, MCN Sat.

[4] Par exemple : les chaînes de télévision, Paris Bourse SA, l'Agence France-Presse.

exemplaires commandés à la fin 1998, le HS601 est le satellite le plus vendu à ce jour. Il a été commandé notamment par la Société Européenne des Satellites-Astra, la marine américaine et l'opérateur de téléphonie mobile par satellite ICO.

Space Systems/Loral (SS/L) était autrefois une division du constructeur automobile Ford, appelée Ford Aerospace Corporation. Loral s'en est porté acquéreur en 1990 et lui a donné son nom actuel. Par ailleurs, Loral s'est sépara en 1996 de ses activités de défense (vendues à Lockheed Martin), parachevant ainsi sa spécialisation dans les télécommunications par satellite. A ce jour, SS/L a conçu, construit ou a en construction quelque 190 satellites, dont les deux tiers pour l'orbite géostationnaire. La société emploie 3100 personnes, a un chiffre d'affaires annuel d'environ 1,4 milliard de dollars, et a plus de 80 satellites en commande.

SS/L est le principal fournisseur d'Intelsat, auquel il a vendu 24 satellites en vingt ans. Parmi ses autres clients, on compte Globalstar, MCI/News Corp, PanAmSat, Loral Skynet et TCI.

Lockheed Martin Corporation est avant tout une entreprise de défense. Formée en 1995, elle résulte de la fusion de Lockheed Corporation et de Martin Marietta Corporation. Les origines du groupe remontent à l'aube de l'aéronautique. En 1909, l'aviateur Glenn Martin créa une compagnie autour de sa modeste affaire de construction et en fit un important fournisseur de cellules pour l'armée américaine. De leur côté, les frères Allan et Malcolm Loughhead furent les premiers à survoler la baie de San Francisco en 1913 ; ils formèrent la société Lockheed (plus lisible !) en 1932. L'implication de Lockheed Martin dans les satellites résulte de son rachat à General Electric de son activité de construction spatiale, GE Astrospace, en 1994.

Matra Marconi Space (MMS) est une filiale conjointe des groupes Lagardère (51%) et GEC-Marconi (49%). Une fusion avec ses filiales homologues de Finmeccanica (Alenia Spazio) et DASA est en cours. Le conseil de surveillance du nouvel ensemble – dont le nom devrait être Astrium – comportera deux membres désignés par MMS, deux par DASA et deux par Finmeccanica.

A la différence de ses concurrents, qui sont ou ont été fortement impliqués dans la fourniture de matériel militaire, **Alcatel** est avant tout un groupe de télécommunications. Fournisseur de charges utiles (voir annexe 1) depuis longtemps, il est devenu constructeur à part entière en 1998 avec l'achat de l'activité plateformes d'Aérospatiale. Son pôle spatial, Alcatel Space, intègre les activités spatiales d'Alcatel, d'Aérospatiale, de Thomson CSF et de Cegelec. Alcatel en possède 51%, les 49% restants appartenant à Thomson-CSF.

Orbital Sciences Corporation, fondé en 1982 aux Etats-Unis, s'est surtout spécialisé dans les petits satellites vendus au gouvernement américain. Il a récemment vendu son premier « gros » satellite géostationnaire, IndoStar-1, à l'opérateur indonésien PT MediaCitra Indostar. Quant à ISRO, il s'agit

d'une agence du Department of Space indien qui a pour but de mettre en orbite des satellites expérimentaux, à des fins scientifiques. Elle n'a donc pas d'activité commerciale.

II.2. La concentration horizontale

L'aboutissement à cinq grands constructeurs de satellite résulte de cessions d'actifs dans l'industrie. Ainsi, Lockheed Martin a acquis l'activité de construction de General Electric. Loral et Hughes se sont séparés de leurs activités de défense pour se spécialiser dans les télécommunications par satellite. Alcatel est devenu un constructeur complet grâce à l'acquisition des activités satellites d'Aerospatiale. Enfin, une fusion à trois est en cours entre MMS, Alenia Spazio et Dasa.

Ce vaste mouvement de concentration horizontale, démarré aux Etats-Unis, est sans doute largement attribuable à la volonté du Pentagone de voir émerger un nombre réduit de grands groupes de défense totalement intégrés. Par contrecoup, l'industrie de construction de satellites s'est elle-même consolidée, avec la sortie de certains acteurs tels General Electric (qui reste cependant dans l'opération de satellites, comme nous le verrons plus bas). En Europe, après une longue incertitude, on voit enfin émerger deux acteurs d'importance.

Il n'est pas impossible que la situation évolue encore. Selon certains, le maintien de deux constructeurs indépendants en Europe relèverait de la gageure. Dans cette optique, il faudrait envisager soit un rapprochement entre les deux « champions » européens, soit la fusion de l'un d'eux avec un concurrent américain. En tout état de cause, l'industrie a montré sa capacité à se restructurer rapidement ; l'avenir réserve peut-être encore quelques surprises.

III - L'opération de satellites

Les opérateurs de satellites possèdent et exploitent une flotte de satellites, dont ils commercialisent la capacité. Même si ces organisations n'ont généralement pas la propriété du secteur terrien, il s'agit d'une activité exigeant d'importants investissements initiaux et fortement capitalistique.

Le coût élevé des systèmes de télécommunications par satellites a eu pour conséquence que les premiers systèmes ont été mis en place dans le cadre d'organisations internationales : Intelsat, Inmarsat, Eutelsat et Arabsat. Ensuite, des systèmes nationaux ont été créés dans les années 1970, le plus souvent au sein des opérateurs nationaux de télécommunication. Les satellites Télécom 2, en France, sont un bon exemple d'un tel système. Enfin, à partir des années 1980, des opérateurs privés sont apparus. La privatisation d'opérateurs nationaux a alimenté ce mouvement, par privatisation soit directement de l'opérateur de satellites, soit (comme avec France Telecom) indirectement de l'opérateur de télécommunications. Ces

privatisations semblent devoir restreindre le nombre d'opérateurs nationaux de satellites. Parallèlement, de grands opérateurs privés de satellites se sont constitués, souvent par regroupements sous l'ombrelle de constructeurs de satellites ; les principaux sont PanAmSat, GE Americom et Loral aux Etats-Unis, et SES-Astra en Europe.

Nous allons d'abord passer en revue les organisations internationales d'exploitation de satellite. Puis nous examinerons les opérateurs privés.

III.1. Les organisations internationales d'exploitation

Les organisations internationales d'exploitation de satellites sont de nature soit véritablement mondiale (Intelsat et Inmarsat), soit régionale (Eutelsat et Arabsat). A la fin des années 1990, ces organisations internationales d'un type original concentrent une large part de l'opération de satellites. La première organisation mise en place, Intelsat, a prouvé son efficacité. Elle a donc servi de modèle aux deux autres, et en particulier à Eutelsat. Nous nous intéresserons ici à Intelsat, Inmarsat et Eutelsat.

Ces organisations se caractérisent par une structure originale, avec représentation à la fois des Etats et de sociétés commerciales. Elles s'apparentent ainsi à des coopératives, dont les propriétaires sont leurs signataires, c'est-à-dire l'organisation mandatée par chaque état membre pour y investir et travailler avec elle. La proportion du capital détenue par chaque signataire est établie en fonction de son utilisation relative du système. La structure commerciale de ces organisations se manifeste dans le retour de 15-20 % qu'elles garantissent ou paient à leurs signataires sur ce capital investi. La présence des Etats est garante de la finalité de service public de ces organisations.

III.1.A. Intelsat

Intelsat (*International Telecommunications Satellite Organization*) est une coopérative fournissant des services commerciaux de communication internationaux par satellite en vidéo, internet, données et voix dans plus de 200 pays et territoires. Elle est en 1999 le plus important exploitant de satellites au monde, avec une flotte de 19 satellites géostationnaires. Plus de 2000 stations terriennes accèdent aux satellites de l'organisation. Son chiffre d'affaires 1998, d'environ 900 millions d'euros, a été réalisé pour les trois quarts en trafic de voix et de données.

Intelsat fournit des services aux utilisateurs finaux par l'intermédiaire du signataire d'Intelsat ou d'une organisation autorisée. En effet, depuis 1993, un signataire ou, dans les pays non adhérents à Intelsat, l'organisation désignée par le gouvernement, peut autoriser d'autres organisations à accéder directement au segment spatial d'Intelsat. Intelsat a ainsi plus de 300 clients autorisés, et tous les pays, indépendamment de leur appartenance à Intelsat, peuvent utiliser ses services. Les utilisateurs d'Intelsat paient pour utiliser ses services en proportion du type, de la quantité et de la durée du service. Les stations terriennes accédant aux satellites d'Intelsat

appartiennent et sont exploitées par cet ensemble d'organisations signataires et non signataires. Intelsat définit les spécifications des stations afin d'assurer l'intégrité du système et la qualité du service.

Intelsat a été fondée de façon provisoire en 1964 par 11 pays, et définitive en 1971, comme une organisation internationale destinée à fournir des services publics de télécommunication. Elle réunit en 1999 143 pays membres. Quelques signataires à fin 1998 sont France Telecom (2,89 % du capital d'Intelsat) pour la France, Teleglobe Canada Inc. (2,05 %) pour le Canada, Swisscom AG (0,94 %) pour la Suisse et Belgacom (0,24 %) pour la Belgique. Sa structure originale, avec présence à la fois des Etats et de sociétés commerciales, résulte d'un compromis entre les Etats-Unis, désireux de cantonner l'organisation à l'exploitation et la commercialisation du système, et des Européens, qui souhaitaient prendre en compte la dimension de service public.

III.1.B. Inmarsat

Inmarsat (*International Maritime Satellite Organization*) est une coopérative mondiale fournissant des services de télécommunications mobiles par satellites. Ses services sont principalement composés de téléphonie directe, télex, télécopie, courrier électronique, transmission de données et de positionnement pour les navires, les avions et le transport terrestre. Elle est aussi utilisée pour les communications d'urgence et pour des missions en zones isolées. La flotte d'Inmarsat comporte 8 satellites en service en 1998. Une quarantaine de stations terrestres relient le système aux réseaux de télécommunications terrestres ; ces stations sont la propriété d'opérateurs de télécommunication qui sont le plus souvent signataires d'Inmarsat. Enfin, plus de 90000 terminaux terrestres, qui assurent l'accès des utilisateurs finaux aux satellites d'Inmarsat (et qui sont généralement leur propriété), étaient en service en janvier 1998.

Inmarsat a été fondée par un accord intergouvernemental et un accord d'exploitation, signés en 1976, pour améliorer les communications mobiles maritimes et les services de sauvegarde de la vie humaine en mer. Elle a 84 pays membres. Dans sa mission d'administration et de gestion d'un système de satellites, Inmarsat a concilié un fonctionnement commercial (avec par exemple une tarification pour l'utilisateur de trois dollars et plus par minute dans les années 1990) et une finalité de service public.

III.1.C. Eutelsat

Eutelsat (*European Telecommunications Satellite Organization*) a pour mission d'exploiter des satellites pour les télécommunications fixes et mobiles en Europe. La flotte d'Eutelsat comporte 14 satellites au début 1999, plus 6 à mettre sur orbite. Le chiffre d'affaires de l'organisation est de 376 millions d'euros en 1997. Eutelsat a été créée en 1977 par 17 pays et dotée d'une organisation définitive en 1985. Elle compte 47 pays membres en 1999.

III.1.D. Vers le changement de statut des organisations internationales d'exploitation de satellites

En 1998, Intelsat, Inmarsat et Eutelsat ont adopté des décisions de principe de changement de leurs structures. Intelsat a transféré une partie de ses activités à une filiale de droit privé indépendante, New Skies Satellites N.V. Dans un premier temps, six satellites dédiés aux nouveaux services sont concernés. De son côté, Inmarsat s'est recréee en avril 1999 en société commerciale de droit privé avec pour objectif à terme une cotation en bourse. Enfin, Eutelsat se restructurera en société anonyme de droit français.

Ces décisions, inédites dans l'histoire des organisations intergouvernementales, sont d'abord des réponses de ces organisations au nouvel impératif de la concurrence. D'une part, ces organisations subissent déjà ces changements dans leur structure même. Ainsi, la majorité du capital d'Intelsat était dès le milieu des années 90 propriété d'organisations privées (du fait, entre autres, de la privatisation d'un large nombre de signataires). C'est à ce titre qu'il faut parler de changement de statut des organisations internationales d'exploitation plutôt que de privatisation. En parallèle, le nombre de clients d'Intelsat non signataires est en forte augmentation (de plus de 30 % pour 98). D'autre part, ces coopératives ne sont pas forcément capables de s'adapter aussi rapidement que désirable aux besoins du marché – il semble que les capacités d'Intelsat pour la transmission de données et de la voix aient crû plus vite que la demande. Enfin, la montée en puissance des opérateurs privés de satellites a réduit la légitimité de ces organisations.

Le compromis permettant de sauvergarder la mission de service public de ces organisations réside soit dans le maintien d'une partie de l'organisation dans un statut intergouvernemental, soit dans la création d'une structure intergouvernementale qui supervisera la nouvelle organisation privée. Intelsat a pour l'heure choisi la première solution. Pour Inmarsat, trois des quinze membres du conseil d'administration représenteront les pays en voie de développement. En outre, un petit secrétariat intergouvernemental sera créé simultanément à l'entité commerciale avec pour mission de vérifier qu'Inmarsat continue à remplir ses obligations de service public, y compris celles du système global de détresse et de sécurité maritime. Dans le cas d'Eutelsat, l'assemblée des parties, où siègent les gouvernements, sera représentée par une organisation intergouvernementale de petite taille qui aura un droit de regard sur la société anonyme. Celle-ci aura en outre quatre principes à respecter : le service public, la couverture de l'ensemble de l'Europe, la non-discrimination et le respect de la loi de la concurrence. Vu l'étroitesse de ses prérogatives, l'avenir même de ce « régulateur spécifique » paraît incertain.

III.2. Les opérateurs privés de satellites

Les principaux opérateurs commerciaux sont PanAmSat, GE Americom, Loral aux Etats-Unis et SES-Astra en Europe.

PanAmSat fut la première organisation privée à posséder un satellite de télécommunication international. Sa flotte fin 1998 était de 19 satellites géostationnaires. A cette date, PanAmSat était le premier fournisseur commercial de services par satellite, avec un chiffre d'affaires supérieur à 630 millions de dollars.

PanAmSat fut fondée en 1984 par René Anselmo comme une alternative commerciale au monopole public de capacité satellitaire internationale Intelsat. En 1997, elle fusionna avec la flotte privée Galaxy de Hughes Electronics. Hughes Electronics était présent dans l'opération satellitaire depuis le début des années 1980, ayant constitué sa flotte privée Galaxy par l'achat de satellites à sa propre division de construction ainsi que par croissance externe (à travers l'achat des satellites Westar de Western Union et ceux d'IBM). La société issue de cette fusion reprit le nom PanAmSat.

Le lecteur aura donc constaté que Hughes Electronics, non content d'être le premier constructeur de satellites au monde, en est devenu en 1997 le premier opérateur avec son acquisition de PanAmSat.

GE Americom (GE American Communications officiellement) est une filiale de GE Capital qui exploite une flotte de douze satellites sur l'Amérique du Nord. Il exploite aussi le satellite GE-1E en Europe et possède des parts de l'opérateur sud-américain Nahuelsat. Il compte renforcer sa présence en Amérique Latine et pénétrer le marché asiatique avec les satellites GE-4 et GE-1A respectivement, qui seront mis en service en 1999.

Le groupe **Loral** s'est constitué un pôle d'exploitation de satellites par achat de plusieurs opérateurs. En mars 1997, il acquit le système Telstar de l'opérateur téléphonique américain AT&T et le rebaptisa Loral SkyNet. En novembre 1997, la joint-venture de Loral et Telefonica Autrey acquit 75% de Satélites Mexicanos. Enfin, en 1998, Loral racheta Orion Network Systems, portant ainsi sa flotte à sept satellites opérationnels. Son chiffres d'affaires dans l'opération de satellites fut de 254 millions de dollars en 1998.

La **Société Européenne des Satellites** (SES), enfin, dont le siège est au Luxembourg, est l'opérateur du système de satellites Astra. Astra est le seul grand système qui, jusqu'en 1998, s'est construit exclusivement par croissance interne. Astra transmet des programmes de télévision et de radio ainsi que du contenu multimédia directement aux foyers européens. Sa flotte est de 8 satellites, dont 7 à la position orbitale 19,2° Est. En 1999, Astra diffuse plus de 400 chaînes TV et plus de 300 chaînes radio en mode numérique et analogique à plus de 73 millions de foyers dans toute l'Europe. Son chiffre d'affaires fut de 515 millions d'euros en 1998. Le 15

janvier 1999, SES acquit 34.13% d'AsiaSat, un opérateur asiatique dont les trois satellites couvrent le Moyen Orient, l'Asie et l'Océanie.

III.3. Une activité à risque

Comme les organisations internationales d'exploitation de satellites, les opérateurs privés qui réussissent dégagent une rentabilité considérable (plus de 25 % pour SES-Astra en 1998, par exemple). Ceci s'explique, pour une large part, par les risques qu'ils prennent en achetant leurs satellites longtemps avant leur mise en exploitation. Ces risques sont réels, l'histoire des satellites de télécommunication est jalonnée d'échecs (tels que SBS aux Etats-Unis et BSB au Royaume-Uni), dont les dépouilles constituent une partie de la flotte des opérateurs privés actuels. Partis de couvertures nationales ou régionales, les grands opérateurs privés affichent, au cours des années 1990, des ambitions de plus en plus mondiales, qu'ils réalisent par acquisition d'autres opérateurs ou lancement de nouveaux satellites.

III.4. Concentration horizontale

Comme nous l'avons noté ci-dessus, l'opération de satellites est une activité en voie de consolidation rapide, avec le rapprochement de certains grands acteurs du domaine. PanAmSat a fusionné avec Hughes-Galaxy ; Orion, AT&T SkyNet et SatMex font désormais partie du même groupe. Ces nouveaux ensembles manifestent, outre la volonté de grossir, l'intention de s'étendre géographiquement. Loral prend pied en Amérique Latine avec SatMex, de même que GE Americom avec NahuelSat. De son côté, la Société Européenne des Satellites s'étend vers l'Est via AsiaSat. Un mouvement de globalisation dans l'opération est clairement en marche.

Or, cette concentration, en somme assez classique, a la particularité de s'effectuer largement sous l'égide des grands constructeurs, mettant ainsi en lumière une véritable stratégie d'intégration verticale de la part de ces derniers. Hughes avait certes une flotte privée depuis le début des années 1980, mais son acquisition de PanAmSat signe son entrée en force dans l'opération satellitaire. Quant à Loral, parti de rien en 1996, il s'est constitué en trois ans une flotte de sept satellites opérationnels, flotte qui devrait être portée à dix fin 1999.

Lockheed Martin n'est pas en reste. En juin 1997, il a annoncé la création d'une coentreprise avec l'organisation Intersputnik en vue de servir l'Europe de l'Est, l'ex-URSS, l'Afrique et l'Asie du Sud. Et en septembre 1998, il a fait part de son intention de racheter Comsat, qui commercialise les services d'Intelsat aux Etats-Unis et en est le premier actionnaire, avec 18% du capital. Cela n'est pas dû au hasard : avec la restructuration prochaine d'Intelsat et la sortie probable de son capital de certains actionnaires historiques – les anciens monopoles publics de téléphonie étant désormais moins intéressés par la possession, même indirecte, d'infrastructures spatiales –, il n'est pas exclu que Lockheed Martin par-

vienne à terme à prendre une part significative du premier opérateur mondial de satellites.

Une véritable mutation industrielle est donc en cours. Mais elle va plus loin encore. En effet, à ces rachats d'opérateurs existants par les constructeurs s'ajoute la création d'une multitude de nouveaux opérateurs, dont les plus célèbres ne sont autres que les constellations.

III.5. La création de nouveaux opérateurs

Parallèlement aux mouvements de concentration qui l'agitent, l'industrie des satellites de télécommunication foisonne de projets de nouveaux systèmes. La plupart des projets que nous décrirons ci-dessous ont la particularité d'avoir été imaginés et développés par un fournisseur d'infrastructure spatiale (constructeur de satellites entiers ou au moins de charges utiles, dans le cas de Motorola avec Iridium). Ce schéma est nouveau, à l'opposé du schéma traditionnel où le constructeur se contentait de fournir un satellite bien défini à un opérateur existant. Ces nouveaux projets viendront logiquement prendre leur place dans notre réflexion sur l'intégration verticale.

Nous les passerons en revue en les groupant en deux catégories : d'abord les constellations, qui sont devenues célèbres depuis la mise en service d'Iridium ; ensuite les nouveaux projets géostationnaires qui, bien que moins médiatiques, n'en ont pas moins d'importance.

III.5.A. Les constellations en orbite basse ou moyenne

Après être restés longtemps cantonnés à l'orbite géostationnaire, les satellites de télécommunications vont se rapprocher de nous. Au lieu des 36 000 km qu'imposent les lois de la physique pour l'orbite géostationnaire, c'est à quelques centaines de kilomètres au-dessus de nos têtes que défilent désormais des nuées de satellites d'un type nouveau. Ces satellites s'inscrivent dans des systèmes au nom évocateur : les « constellations »[5]. La première d'entre elles, Iridium, ne doit pas être inconnue au lecteur, étant en service commercial depuis novembre 1998 et ayant préparé son lancement à grand renfort de publicité. Elle sera bientôt suivie de consœurs au patronyme non moins étonnant : Globalstar, SkyBridge, Teledesic...

---

[5] Formellement, une constellation est un ensemble de satellites identiques répartis dans plusieurs plans d'orbite. Dans beaucoup de constellations, les orbites ont la même altitude et les mouvements des satellites sont synchronisés de façon à ce que les trajectoires par rapport à la Terre se reproduisent à l'identique au bout d'une durée constante. Par extension, le terme « constellation » est souvent appliqué à des systèmes qui mettent en œuvre plusieurs types de satellites dont certains en orbite moyenne ou basse.

Ces projets sont remarquables à plusieurs titres. Premièrement, à cause des nouvelles technologies mises en œuvre (notamment la commutation intersatellite d'Iridium, mais aussi le transfert d'un appel d'un satellite qui passe la ligne d'horizon au suivant). Deuxièmement, lors de la conception et de l'industrialisation, avec l'introduction de la fabrication en série de satellites. Troisièmement, au niveau du lancement : ces constellations exigent de mettre en orbite un grand nombre de satellites (de 12 pour ICO à 288 pour Teledesic) en un temps aussi court que possible, car ces satellites ont une durée de vie limitée (5 ans pour Iridium, 7,5 ans pour Globalstar). Or l'ouverture du service ne peut avoir lieu qu'avec un nombre significatif de satellites en orbite. La perte par Globalstar de douze satellites, soit un quart de la constellation, lors de l'explosion du lanceur Zénit en septembre1998 a ainsi représenté un retard considérable. Quatrièmement, au niveau des utilisateurs potentiels, dont les besoins restent largement hypothétiques : ces constellations visent en effet un marché complètement nouveau.

Les constellations les plus importantes, au nombre de cinq, se répartissent en deux catégories : Iridium, Globalstar et ICO pour la téléphonie mobile par satellite, et SkyBridge et Teledesic pour les services interactifs à large bande tels que l'accès à Internet[6]. Iridium est entré en service en novembre 1998, les autres devraient suivre au rythme approximatif d'une entrée en service par an.

- **Iridium** a été créée par Motorola. Le mythe veut que l'origine d'Iridium remonte à l'indignation, en 1985, de l'épouse d'un cadre supérieur de Motorola, en séjour dans les Antilles, confrontée à l'impossibilité d'appeler les Etats-Unis avec son téléphone cellulaire... Iridium tire son nom de l'élément chimique dont le noyau est entouré de 77 électrons. La constellation a en fait été réduite de 77 à 66 satellites (plus 6 satellites de rechange en orbite) à 780 km d'altitude et répartis en 6 plans orbitaux. Les plans orbitaux étant quasiment polaires (inclinaison de 86,4°), la constellation illumine l'ensemble du globe, pôles compris. La constellation d'Iridium présente une autre particularité : elle constitue un véritable réseau spatial. En effet, les signaux sont transmis d'un satellite à l'autre.

  Cette commutation intersatellite a quatre conséquences. Premièrement, un satellite n'a pas besoin d'être en contact permanent avec une station terrienne : la constellation ne nécessite qu'un nombre restreint de stations terriennes (11 étaient en service au début 1999). Deuxièmement, cette organisation assure une desserte vraiment globale, puisque

---

[6] Nous n'étudierons pas deux constellations en service depuis plusieurs années :

- le système GPS, qui dépend du *US Department of Defense*, et donc qui échappe à notre réflexion ;
- Orbcomm, qui a bel et bien été lancée par un constructeur de satellites, Orbital Sciences Corporation, mais dont la mise en service est difficile.

l'ensemble du globe est illuminé à tout instant, et à l'abri de dégâts dans une station terrienne particulière. Cette faible vulnérabilité d'Iridium aux catastrophes naturelles le rend particulièrement précieux pour les secours. Troisièmement, elle permet de faire redescendre un appel vers la station terrienne la plus proche de sa destination (voire le combiné d'un autre abonné Iridium), et donc d'économiser tout ou partie des coûts d'acheminement par le réseau terrestre. Une quatrième conséquence, négative celle-ci, est que la panne de plusieurs satellites adjacents mettrait en péril le fonctionnement de l'ensemble de la constellation.

Les caractéristiques de la constellation, associées au prix élevé du service, soulignent la volonté d'Iridium d'assurer une desserte globale pour une clientèle effectuant surtout des appels internationaux. En pratique, cette clientèle représente surtout (1) les hommes d'affaires qui voyagent dans des zones mal desservies par le cellulaire terrestre et (2) les sites industriels isolés tels que les forages pétroliers. La viabilité d'une constellation sur ce marché reste à démontrer. Les premiers mois d'Iridium LLC ont été très difficiles et ont vu le départ du PDG et du directeur financier peu avant l'annonce des résultats trimestriels de mars 1999. Iridium a fortement baissé ses prix en juin 1999, jusqu'à 67 %, afin probablement de se susciter une clientèle. Enfin, la société s'est placée le 13 août 1999 sous la protection du chapitre 11 de la loi américaine sur les faillites, dans l'espoir de restructurer sa dette.

Motorola possède aujourd'hui 18,8% d'Iridium, et envisagerait de réduire sa participation à 15% à terme. Cela supposerait, bien sûr, que le projet démontre sa capacité à engendrer les revenus attendus. Les marchés financiers n'en semblent guère convaincus puisque l'action, émise à 22 $ à l'été 1997 et ayant dépassé 60 $ un an plus tard, est descendue à 3,1 $ le 13 août 1999.

- **Globalstar** devrait entrer en service fin 1999. Cette constellation de 48 satellites (plus 8 satellites de rechange en orbite) répartis en 8 plans orbitaux à 1414 km d'altitude a été mise en place par Space Systems/Loral et Alcatel. Globalstar représente un moins grand risque technologique qu'Iridium, en particulier par le choix de satellites transparents (dits « bent-pipe » : voir annexe 2, page 57).

  Contrairement à Iridium, Globalstar vise principalement le marché des appels locaux et nationaux plutôt qu'une vraie couverture mondiale. Ce système peut donc être qualifié de multirégional plutôt que de mondial. D'une part, l'inclinaison des plans orbitaux de 52° limitera la couverture aux latitudes comprises entre -70° et +70°. D'autre part, un satellite devra être en liaison avec une station terrienne pour desservir la zone qu'il survolera. Chaque station terrienne desservira une zone allant jusqu'à 3000 km de diamètre (avec un total envisagé de 50 à 100 stations terriennes à terme). Une conséquence est que les océans, en particulier, ne seront pas couverts par le système. Par ailleurs, Globalstar vise explicitement le service de la boucle locale, par exemple grâce à des ca-

bines téléphoniques installées dans les zones hors infrastructure terrestre.

- **ICO** (dont le sigle signifie Intermediate Circular Orbit) a été lancée par Inmarsat sous le nom de Project 21, puis Inmarsat-P avant d'être créée comme compagnie indépendante. ICO devrait entrer en service en 2000. L'utilisation d'une orbite intermédiaire (10390 km d'altitude) permet une desserte globale avec un faible nombre de satellites (dix satellites plus deux de rechange en orbite, répartis en deux plans orbitaux inclinés de 45°) et seulement 12 stations terriennes. Cette orbite intermédiaire donne en outre l'avantage d'une visibilité des satellites plus longue (116 min), ce qui diminue la fréquence de transfert des communications d'un satellite à un autre. ICO a un positionnement commercial intermédiaire entre Iridium et Globalstar. Son arrivée tardive sur le marché risque de lui être préjudiciable.

  Ce projet se distingue des deux précédents par le fait qu'il a été lancé par un opérateur, Inmarsat, et non par un constructeur. En ce sens, il respecte la logique traditionnelle. Le constructeur, Hughes, a certes été appelé au capital à hauteur de 10%, mais c'était explicitement en vue de décrocher le contrat de fourniture des satellites. On peut voir cette participation comme une forme de crédit fournisseur. Avec les augmentations successives de capital, la participation de Hughes est désormais passée sous la barre des 5%.

- **SkyBridge** est né chez Alcatel sous le nom de Sativod (*Satellite Interactive Video on Demand*). C'est un système de boucle locale à large bande qui devrait entrer en service fin 2001. Les débits prévus sont de 2 Mbit/s pour le lien montant et de 20 Mbit/s pour le lien descendant pour les utilisateurs résidentiels, et un multiple de ces chiffres pour les utilisateurs professionnels. SkyBridge vise la desserte des zones à faible densité de population où l'installation d'infrastructures terrestres à haut débit jusqu'aux utilisateurs finaux serait trop coûteuse. Les débits annoncés par SkyBridge laissent ainsi espérer le désenclavement de zones isolées et un accès de tous à des services tels que la connection internet à haut débit et la visioconférence. SkyBridge vise aussi des liaisons d'infrastructure et des services à bande étroite pour des communication voix, données et images. Ces services à bande étroite, ainsi que les possibilités de transfert de voix sur IP, soulèvent d'ailleurs la question de la concurrence entre SkyBridge et Globalstar pour la boucle locale en téléphonie fixe. SkyBridge vise 15 à 20 millions d'utilisateurs dans le monde d'ici 2010.

  Le système SkyBridge présente de fortes similarités avec celui de Globalstar ; qu'Alcatel Space et Loral Space & Communications soient les principaux promoteurs de SkyBridge n'y est probablement pas étranger. La constellation comprendra 80 satellites à 1469 km d'altitude et répartis en vingt plans orbitaux. Chaque satellite couvrira une zone de 6000 km de diamètre et pourra produire jusqu'à 45 faisceaux (un faisceau desservant une cellule circulaire de 700 km de diamètre). SkyBridge présente la particularité intéressante d'utiliser la bande Ku, ce

qui lui impose des mesures de protection des réseaux géostationnaires. Ce problème a été résolu en faisant cesser les transmissions entre un satellite SkyBridge et une cellule dès que, vu de la cellule, ce satellite se trouve à moins de 10° de l'arc géostationnaire. Comme pour Globalstar, les satellites seront transparents : ils connecteront l'utilisateur à la station terrienne la plus proche. Les stations terriennes, qui effectueront le traitement du signal et qui seront connectées au réseau terrestre existant par un commutateur ATM, desserviront donc chacune une cellule (soit une zone de 700 km de diamètre).

- **Teledesic** est certainement le système satellitaire le plus ambitieux de tous ceux en développement à la fin des années 1990. Il inclut la mise en place d'un « internet spatial », avec création d'une architecture centrale par commutation intersatellite. Ce projet est encore dans une phase amont. Ainsi, le nombre de satellites prévu dans le système était initialement de 880 ; il est tombé à 288 en 1998 et début 1999 les estimations officieuses donnaient plutôt 150. Le coût anticipé pour cette constellation était à la même époque dans la fourchette 9-11 milliards d'euros. Les similarités de Teledesic et Iridium concordent avec le fait que Motorola, promoteur d'Iridium, a rejoint Teledesic en 1998.

  Le travail sur Teledesic a été temporairement suspendu en mai 1999, suite aux difficultés d'Iridium. Motorola a expliqué qu'il voulait concentrer tous ses efforts sur la réussite d'Iridium, mais il n'est pas difficile d'imaginer que le constructeur américain ait pu être refroidi par les déboires de sa première constellation. L'avenir de Teledesic reste donc très incertain.

III.5.B. Les nouveaux opérateurs géostationnaires

Aux constellations s'ajoute un grand nombre de projets par satellites géostationnaires, dont les applications sont proches des précédentes.

Les projets de téléphonie par satellite géostationnaire ont connu un intérêt renouvelé grâce aux progrès accomplis sur les antennes déployables de grande envergure, qui permettent désormais l'utilisation d'un combiné de taille comparable à celle d'un téléphone GSM. Deux projets sont à l'étude : Thuraya et EAST.

Thuraya est né de la volonté d'opérateurs téléphoniques du Moyen Orient de lancer un système de téléphonie mobile par satellite. Dans un premier temps, le système comportera un satellite couvrant l'Europe, le Nord de l'Afrique et le Moyen Orient. Hughes Space and Communications fournira les deux satellites commandés à ce jour, ainsi que les combinés téléphoniques. Le système devrait entrer en service en septembre 2000.

EAST (Everyone's Access to Satellite Telecommunications) est un projet analogue initié par Matra Marconi Space. Les combinés seront mis au point par Ericsson. Le satellite doit être lancé en 2001, pour une mise en service courant 2002.

Des projets d'Internet par satellite géostationnaire sont aussi en cours de développement. Il est intéressant de noter que chaque constructeur a développé son propre projet : SpaceWay pour Hughes, Cyberstar pour Loral, Astrolink pour Lockheed Martin, Europe*Star pour Alcatel, WEST (Wideband European Satellite Telecommunications System) pour MMS...

Le lecteur l'aura compris, l'industrie foisonne de nouveaux projets, dont la plupart ont vu le jour chez un constructeur. Tous n'iront peut-être pas jusqu'au lancement commercial, mais ils mettent clairement en évidence la volonté des constructeurs d'exploiter eux-mêmes des satellites que, jusqu'ici, ils se contentaient fournir à leurs clients opérateurs.

IV - L'intégration entre constructeurs et opérateurs

L'intégration verticale est donc une question centrale dans la stratégie actuelle des constructeurs. Tous l'ont entamée, à des degrés certes divers – la « lettre d'intention »[7] d'un MMS envers Teledesic, pour un montant de 200 millions de dollars[8], n'ayant rien à voir avec le milliard de dollars que Motorola a investi dans Iridium.

En pratique, un constructeur peut prendre pied dans l'opération de trois façons différentes :

1. Soit acheter un opérateur existant (par exemple, Loral avec Orion, Skynet et SatMex). Les mises de fonds sont extrêmement importantes. Ainsi, la valeur d'Eutelsat, une fois celle-ci restructurée en société anonyme, est estimée à 3-4 milliards d'euros – un gros morceau pour un acheteur potentiel.

2. Soit lancer un projet tel que Globalstar (pour Loral). Ces lancements sont onéreux et un constructeur ne peut en financer beaucoup. Outre les projets en cours de mise en service, la constitution par Hughes de sa flotte privée Galaxy, dans les années 1980, entre dans ce cadre.

3. Soit prendre une tranche du capital d'un opérateur pour obtenir un contrat de fourniture d'équipement. On peut citer le cas, par exemple, de Lockheed Martin dans Iridium (1,1% du capital) ou de Hughes dans ICO (10% initialement, dilués depuis).

---

[7] Les « effets d'annonce » ont une grande importance dans l'industrie des satellites. Il est, en effet, indispensable pour un promoteur de pouvoir présenter aux banquiers ou éventuels investisseurs un « tour de table » imposant, en vue d'asseoir la crédibilité de son projet. L'arrivée de chaque nouvel industriel est donc saluée par de grandes déclarations à la presse, alors que l'engagement réel est parfois minime. Tout cela vise à créer une dynamique qui permettra au projet d'accumuler suffisamment de « carburant » financier avant son lancement définitif.

[8] Source : http://www.noticias.com/noticias/1998/9810/n9810017.htm

La première méthode présente l'avantage d'être rapide et relativement peu risquée, puisque le constructeur s'offre un opérateur dont il connaît les revenus et la structure financière. La deuxième, au contraire, est un saut dans l'inconnu : non seulement le constructeur se lance dans un métier qui n'est pas le sien, mais il s'attaque souvent à un marché que personne n'a exploré jusque-là. C'est typiquement le cas des constellations. La troisième méthode, enfin, est plus anecdotique : elle s'apparente plutôt à du crédit fournisseur, et ne saurait à notre sens constituer un véritable élément d'intégration verticale.

Cette première partie avait pour ambition de donner au lecteur un bon aperçu de l'industrie spatiale aujourd'hui, en mettant l'accent sur l'intégration verticale qui se fait jour. Dans notre deuxième partie, nous tenterons de comprendre les raisons de cette intégration, les risques associés, et les perspectives d'évolution de l'industrie, particulièrement pour les constellations.

L'intégration verticale : pourquoi et pour quoi ?

Nous avons décrit l'industrie des satellites de télécommunication et les mouvements qui l'animent au cours des années 1980 et 1990. Le mouvement qui nous intéresse en particulier est l'intégration verticale entre les constructeurs et les opérateurs de satellites.

Dans un premier temps, nous présenterons l'intégration verticale au sens large : définition, intérêts et inconvénients, tendances actuelles. Dans un deuxième temps, nous analyserons le cas qui nous intéresse ici : l'industrie des satellites aujourd'hui.

I - L'intégration verticale aujourd'hui

Nous allons prendre ici du recul pour tenter de mieux comprendre les enjeux de l'intégration verticale, sans prétendre réaliser une monographie exhaustive sur l'organisation d'une chaîne de valeur. Pour cela, nous décrirons d'abord les organisations possibles pour une chaîne de valeur. Ensuite, nous détaillerons des déterminants de cette organisation. Enfin, nous chercherons dans un exemple (distinct de l'industrie des satellites) un éclairage différent sur cette question.

I.1. L'organisation d'une chaîne de valeur

Après un bref retour sur les définitions d'une chaîne de valeur et de l'intégration verticale, nous introduirons une nouvelle notion : la coordination horizontale. Puis nous utiliserons les notions d'intégration et de coordination verticales pour décrire les interactions possibles entre deux entreprises situées à deux niveaux successifs d'une chaîne de valeur.

I.1.A. Qu'est-ce qu'une chaîne de valeur ?

Une chaîne de valeur est l'ensemble des activités successives participant à la production d'un bien ou d'un service. Dans le cas d'activités industrielles, on peut faire commencer une chaîne de valeur avec la production de matières premières ou de produits intermédiaires et l'arrêter au marketing et à la distribution des biens au consommateur final. Nous appellerons

« niveau » une activité particulière au sein de la chaîne. Le découpage en niveaux d'une chaîne de valeur est nécessairement arbitraire et dépend généralement de la finesse de description recherchée. Par exemple, ce que les groupes pétrolier intégrés appellent leur activité « aval » est en fait constitué de deux métiers différents : le raffinage et la distribution.

I.1.B. Qu'est-ce que l'intégration verticale ?

Selon le Petit Robert, l'intégration verticale est « l'action d'adjoindre à l'activité propre d'une entreprise les activités qui s'y rattachent dans le cycle de la fabrication des produits ». Par extension, l'expression « intégration verticale » est souvent employée pour désigner l'état qui résulte de cette adjonction, c'est à dire la propriété par une même entreprise d'activités à plusieurs niveaux successifs d'une chaîne de valeur. Nous appellerons « intégration verticale » indifféremment le phénomène dynamique et son résultat.

L'intégration verticale peut être considérée comme une forme de diversification. Le contraire de l'intégration verticale est la spécialisation verticale, qui caractérise le retrait d'une entreprise d'un ou plusieurs niveaux de la chaîne de valeur. Comme pour l'intégration verticale, nous utiliserons le même terme pour l'état résultant de l'action de spécialisation verticale. L'idée de la division du travail d'Adam Smith peut être considérée comme le premier énoncé de l'intérêt de la spécialisation verticale ; bien qu'elle ait été formulée dans le cas de travailleurs appartenant à une même manufacture, cette idée est généralisable à des entreprises au sein d'une même chaîne de valeur.

L'intégration verticale ne doit pas être confondue avec l'intégration horizontale, qui représente le regroupement d'entreprises au sein d'un même niveau de la chaîne de valeur. Ce processus est également appelé « concentration horizontale ».

I.1.C. Une deuxième dimension : la coordination verticale

Les relations entre des activités d'une même chaîne de valeur ne se réduisent pas à leur appartenance éventuelle à une même entreprise, c'est à dire à la dimension intégration verticale/spécialisation verticale. En effet, nous avons vu qu'une chaîne de valeur est constituée d'entreprises qui, d'un niveau de la chaîne au suivant, ont des relations client/fournisseur. Par définition d'une chaîne de valeur, la transaction est ainsi le mode premier d'interaction entre ces entreprises. Or la transaction peut s'effectuer de différentes manières.

Une deuxième dimension pour la description d'une chaîne de valeur est donc la coordination verticale, qui représente la nature de l'interaction

client/fournisseur elle-même[9]. La coordination verticale minimale est représentée par une pure organisation de marché. A l'autre extrême, la coordination verticale peut aller jusqu'à la transparence du lien et l'harmonisation des moyens entre le client et le fournisseur.

La coordination verticale inclut un paramètre intéressant : l'organisation des flux de produits. Deux entreprises peuvent former une relation client/fournisseur exclusive. La relation est moins étroite, et la dépendance moins forte, lorsque l'entreprise amont commercialise une partie de sa production à des tiers ou que l'entreprise aval s'approvisionne auprès de tiers.

I.1.D. Les modes d'organisation d'une chaîne de valeur

Lorsque les deux dimensions d'intégration et de coordination sont prises en compte, les liens entre deux niveaux d'une chaîne de valeur peuvent être décrits dans un plan :

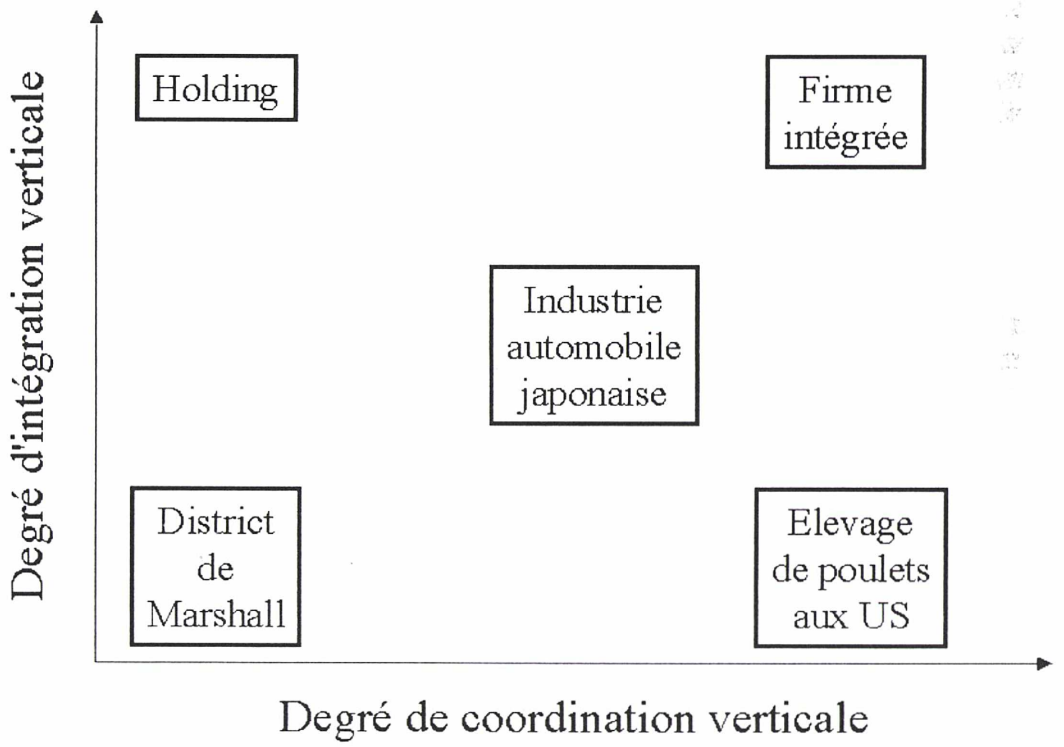


Figure 2 : modes d'organisation d'une chaîne de valeur en fonction de l'intégration et de la coordination verticales (schéma inspiré de [9]).

---

[9] Robertson, Paul L., Langlois, Richard N. (1994), Innovation, Networks, and Vertical Integration, *Research Policy*

Ces liens peuvent prendre quatre formes extrêmes :

- Une organisation à faible coordination et faible intégration est celle du district de Marshall[10]. Un exemple de tel district est l'industrie du coton du Lancashire à la fin du 19ème siècle. Les caractéristiques du district de Marshall qui nous intéressent ici sont (1) une forte spécialisation verticale des PME qui le constituent et (2) des échanges entre ces PME régis par le marché.

- Un deuxième extrême est celui de la holding. Une holding peut en effet intégrer plusieurs niveaux d'une chaîne de valeur sans qu'il y ait coordination entre ces niveaux.

- Le troisième extrême correspond à une forte coordination sans intégration. L'industrie américaine du poulet fournit un bon exemple d'industrie profondément coordonnée[11]. Les éleveurs, qui transforment le poussin en poulet adulte, constituent des entreprises à la propriété indépendante des industriels, qui tranforment le poulet adulte en poulet prêt à consommer. Eleveurs et industriels sont liés par des contrats généralement triannuels qui établissent entre eux une relation étroite : l'industriel fournit à l'éleveur les poussins, l'alimentation, un soutien scientifique et technique et s'occupe du transport des animaux.

- Le cas extrême d'intégration et de coordination poussées est celui de la firme intégrée. Les étapes de la production sont sous propriété commune et fonctionnent en coordination. L'industrie automobile a longtemps fourni un exemple d'une telle organisation : ainsi, Renault a fabriqué lui-même les sièges de ses véhicules. On peut ici parler d'intégration complète.

Naturellement, intégration et coordination varient continûment d'un extrême à l'autre. La relation entre deux entreprises d'une même chaîne de valeur peut donc être située entre les quatre extrêmes que nous avons décrits. Ainsi, un cas intermédiaire est celui des réseaux de sous-traitants utilisés par les constructeurs automobiles japonais jusqu'aux années 1990. Chaque constructeur est lié à ses sous-traitants par des contrats à long terme fondés sur la confiance et l'échange d'information. En outre, le constructeur possède généralement une part du capital du sous-traitant. Ce lien capitalistique intéresse le constructeur à la réussite de ses sous-traitants et renforce le réseau.

Nous venons de voir que la relation entre deux entreprises d'une même chaîne de valeur peut adopter des caractéristiques variables. Il est intéressant d'essayer de comprendre les facteurs explicatifs de la nature de cette

---

[10] Marshall, Alfred (1961) Principles of Economics, 9th (variorum) ed. London : Macmillan

[11] Aust, Patricia (1997) An Institutional Analysis of Vertical Coordination versus Vertical Integration: The Case of the US Broiler Industry, *Michigan State University, Staff Paper 97-24*

relation, c'est à dire les déterminants de l'organisation d'une chaîne de valeur.

I.2. Déterminants de l'organisation d'une chaîne de valeur

Deux déterminants de l'organisation d'une chaîne de valeur que nous avons pu cerner (sans prétendre à l'exhaustivité) sont les coûts de transaction et l'innovation.

I.2.A. Coûts de transaction

Les coûts de transaction constituent un déterminant puissant de l'intégration verticale. Dans de nombreux cas, le degré d'intégration verticale résulte d'un équilibre entre, d'une part, les coûts de transaction entre entreprises spécialisées et, d'autre part, les avantages de la spécialisation.

Une certaine mesure d'organisation verticale (coordination ou intégration) est favorisée en cas d'actifs spécifiques, et ce d'autant plus que les entreprises évoluent sous incertitude. Ainsi, l'industrie du poulet mentionnée plus haut se caractérise par des capacités de production spécifiques, à la fois pour l'éleveur et pour l'industriel. Eleveur comme industriel ont donc intérêt à assurer la continuité de la production. L'industriel a en outre besoin d'une qualité constante de la part de l'éleveur, par exemple en taille d'animal. Ces contraintes ont mené à la coordination verticale par contrat. Un intérêt pour l'entreprise aval (ici, l'industriel) de ne pas s'intégrer avec l'entreprise amont (l'éleveur) est qu'elle n'a pas à assumer les pertes de l'entreprise amont si l'évolution du marché rend obsolète les équipements de celle-ci.

Les coûts d'information contribuent également aux coûts de transaction. Deux exemples de ces coûts sont d'une part les coûts de négociation avant la transaction, et d'autre part le suivi de la qualité des produits ou des services fournis. La coordination verticale, telle qu'une procédure d'agrément de fournisseur, peut diminuer ces coûts.

I.2.B. Innovation

L'introduction et l'adoption d'innovations dépendent de l'organisation de la chaîne de valeur[9]. Lorsque l'innovation ne concerne qu'une seule étape de la chaîne, alors une entreprise spécialisée peut être la mieux à même d'en tirer parti. Inversement, une entreprise spécialisée devrait être davantage capable d'isoler et de résoudre les problèmes pertinents à son niveau. De plus, la spécialisation suppose un plus grand nombre d'acteurs. Elle peut ainsi favoriser la diversité des idées et le rythme d'innovation.

En revanche, lorsque l'innovation intéresse directement plusieurs étapes de la chaîne de valeur, deux autres phénomènes au moins jouent. Premièrement, des problèmes d'appropriation se manifestent lorsque l'innovation

est susceptible de profiter à d'autres qu'à son auteur. L'intégration peut alors signifier l'appartenance de l'auteur et du bénéficiaire à la même organisation et donc faciliter l'adoption de l'innovation.

L'absence d'intégration et de coordination verticales peut représenter un frein d'une deuxième façon dans le cas d'une innovation de large portée, voire systémique. Cette absence peut en effet rendre plus difficile l'apparition de l'innovation ainsi que l'appréciation par les entreprises concernées de son importance ou, à l'inverse, des conséquences négatives qu'elle pourrait avoir pour d'autres étapes de la chaîne de valeur. La coordination verticale, plus que l'intégration verticale, est nécessaire pour assurer la diffusion d'information et éviter que l'innovation ne soit perdue. La combinaison des deux est néamoins parfois nécessaire : des entreprises innovantes peuvent ainsi être contraintes à un processus d'intégration vers l'amont ou l'aval parce qu'elles ne trouvent pas de spécialistes capables d'apprécier le potentiel de l'innovation. Les spécialistes existants peuvent par exemple ne pas croire dans la faisabilité technique de l'innovation ou dans son potentiel commercial[12]. Ainsi, lorsqu'elle développait la chaîne d'assemblage, Ford fut obligée de produire des prototypes pour nombre de nouvelles machines dédiées faute d'avoir réussi à convaincre les fabricants de machine-outils que ces machines étaient fabricables selon les spécifications requises[13].

Les innovations systémiques peuvent ainsi être favorisées par la coordination et/ou l'intégration verticale. Cependant, des organisations intégrées verticalement peuvent se montrer réfractaires au changement et constituer un frein à ces innovations. L'apparition du PC s'est ainsi faite sous l'impulsion de petites entreprises qui avaient sollicité, sans succès, les grands groupes informatiques.

I.3. Un exemple d'intégration verticale : l'industrie de la santé américaine

Avant de revenir à l'industrie des satellites de télécommunication, nous allons nous pencher sur un cas d'évolution d'une chaîne de valeur : celle de l'industrie de la santé aux Etats-Unis. Un exemple hors de l'industrie qui nous intéresse rendra possible des comparaisons. De telles comparaisons nous donneront une chance de distinguer les facteurs généraux des contingences et particularités de l'industrie des satellites de télécommunication.

La prestation de soins et l'assurance maladie sont deux niveaux consécutifs du système de santé américain où le secteur privé occupe aux Etats-Unis une place importante. Ces deux niveaux ont connu au cours des vingt

---

[12] Silver, Morris (1984), Enterprise and the Scope of the Firm, London : Martin Robertson

[13] Langlois, Richard N., Robertson, Paul L. (1989) Explaining Vertical Integration: Lessons from the American Automobile Industry, Journal of Economic History, 49, 361-375

dernières années un mouvement d'intégration puis de spécialisation verticales[14].

Dans les années 1980, de nombreux groupes impliqués dans l'un des deux métiers sont entrés dans l'autre métier. La logique sous-jacente à la création de ces systèmes de soins intégrés verticalement était d'une part pour l'assureur de mieux contrôler les pratiques de soins des médecins et les capacités des hopitaux, et d'autre part de réduire les coûts de transaction.

Ce mouvement s'est inversé dans les années 1990 : les groupes intégrés verticalement se sont spécialisés, souvent par cession de l'une des deux activités. Quatre causes principales de cette spécialisation verticale ont été identifiées.

- Des innovations dans les contrats entre assureurs et prestataires de soins ont permis aux premiers de mieux contrôler les services fournis par les seconds.

- Un groupe intégré est généralement réticent à envoyer ses assurés dans les centres de soins d'un de ses concurrents, c'est-à-dire à se fournir chez le prestataire de soins interne d'un concurrent. Chaque groupe intégré doit donc disposer exactement de la capacité de soins nécessaire là où se trouvent ses assurés. Une sur- ou sous-capacité locale entraîne des coûts excessifs ou le mécontentement des assurés concernés.

- La prestation de soins a évolué par concentration horizontale et apparition de nouveaux prestataires de soins spécialisés. Cette évolution a rendu les groupes intégrés relativement moins performants dans la prestation de soins, qui n'est pas le métier principal de ces groupes.

- Une surcapacité d'infrastructure de soins a donné aux assureurs un avantage dans les négociations avec les prestataires de soins. Bien que probablement conjoncturelle, cette cause incite les assureurs à sortir de la prestation de soins.

Quelle évolution attendre pour cette industrie ? Certains acteurs semblent expérimenter avec un système d'alliances à long terme, où les clients d'un assureur peuvent utiliser l'ensemble des centres d'un prestataire de soins. Si ce mouvement devait se confirmer, l'industrie s'orienterait vers une coordination verticale, plutôt qu'une intégration, entre prestataires de soins et assureurs.

---

[14] http://www.strategy-business.com/strategy/97304/page1.html

II - L'intégration verticale dans l'industrie des satellites de télécommunication

Après avoir présenté l'intégration verticale de manière générale, voyons ce qu'il en est de l'industrie des satellites de télécommunication. Il convient avant tout de souligner que le mouvement des constructeurs vers l'aval est un véritable changement de métier. A titre d'exemple, le rachat d'un fournisseur par un constructeur automobile représente, certes, une extension du métier de ce dernier, mais ce n'est pas un saut dans l'inconnu. Or, le métier d'opérateur de satellite est radicalement différent de celui de constructeur.

D'une part, ces deux activités appréhendent le temps de façon très différente. Entre la signature d'un contrat de construction et la livraison physique d'un satellite s'écoulent douze à vingt-quatre mois. En revanche, un opérateur qui se dote d'un satellite géostationnaire pourra espérer l'exploiter pour dix à quinze ans. L'activité d'opération représente donc un pari sur l'avenir.

D'autre part, le nombre et la nature des clients des constructeurs et des opérateurs n'ont rien à voir. Un constructeur de satellites a aujourd'hui pour clients quelques dizaines d'opérateurs au maximum. Un opérateur, au contraire, peut avoir plusieurs centaines de clients, de nature très diverse : opérateurs téléphoniques, bouquets numériques, fournisseurs de services « clés-en-mains » pour les réseaux d'entreprise... Même en lançant un service très ciblé, tel que la téléphonie par satellite, un constructeur devra passer par un grand nombre de revendeurs locaux, dont la qualité conditionnera la réussite du système.

Enfin, l'opération de satellites est une activité qui nécessite de suivre de très près le marché des utilisateurs finaux. Même si SES Astra ne connaît pas directement les clients des bouquets numériques qui transitent par ses satellites, il ne peut se dispenser d'effectuer des études poussées sur leur évolution en masse. Un constructeur, a contrario, peut se contenter d'exécuter les commandes de ses clients opérateurs, sans regarder de trop près les utilisateurs finaux. Le passage de la construction à l'opération ne va donc pas de soi.

Cette analyse sera divisée en trois sous-parties. En premier lieu, nous observerons que les constructeurs de satellites ont joué un rôle croissant dans la R&D au cours des années 1990, ce qui les a incités à se lancer dans l'opération. En second lieu, nous verrons comment le changement du marché des satellites de télécommunication, en particulier la diminution des débouchés gouvernementaux et militaires, a obligé les constructeurs à devenir leurs propres clients. Enfin, nous constaterons que le domaine des satellites de télécommunication connaît depuis quelques années une véritable mutation industrielle, mutation qui donne sans doute quelques indications sur l'avenir de l'industrie.

II.1. Une R&D qui passe du côté des constructeurs

Pour bien comprendre le mouvement des constructeurs vers l'opération de satellites, il est important de se rendre compte du fait que ce sont eux qui, aujourd'hui, font l'essentiel de la recherche en matière de télécommunications par satellites. Il n'en a pas toujours été ainsi. Pendant longtemps, les opérateurs téléphoniques avaient leurs propres centres de recherche, ce qui en faisait de véritables experts du domaine.

Or, depuis quelques années, une concurrence accrue sur leur cœur de métier semble avoir amené les anciens monopoles de téléphonie à se désintéresser peu à peu de la possession d'infrastructure spatiale. Pour assurer leur survie, les constructeurs de satellites ont donc été amenés à s'engager de plus en plus fortement dans la recherche et la prospective. Leurs équipes techniques se sont étoffées et ont été complétées par de véritables équipes de marketing. En joignant leurs compétences, ces deux populations ont permis aux constructeurs de devenir concepteurs de systèmes complets, dont ils identifient la clientèle et mettent au point les plans d'affaires. Dès lors, il est naturel qu'ils souhaitent tirer tout le bénéfice de ces nouveaux systèmes en les exploitant eux-mêmes (au-delà du fait que le caractère très novateur de certains systèmes oblige implicitement les constructeurs à en financer une part, comme nous le verrons plus bas).

A cet élément s'ajoute une particularité des satellites : ils ne peuvent être réparés une fois en orbite. Ceci signifie que la fiabilité des systèmes est un paramètre essentiel pour un opérateur de satellite. A ce niveau, une nouvelle technologie représente un risque : les opérateurs de satellites semblent, depuis longtemps, assez réticents à valider les nouvelles technologies proposées par les constructeurs. Autrefois, les Etats jouaient souvent le rôle de cobayes pour l'innovation à travers leurs programmes civils ou militaires ; c'est désormais de moins en moins le cas. Dans le cas particulier des constellations, la timidité des opérateurs face aux avancées technologiques est d'autant plus forte que ces avancées représentent souvent un saut dans l'inconnu. Ainsi les commutations intersatellitaires d'Iridium auraient-elles probablement donné des sueurs froides à plus d'un opérateur existant ! Même dans le cas de satellites géostationnaires plus classiques, cette crainte demeure : Hughes n'a pu vendre sa nouvelle plateforme 702 qu'après l'avoir validée au sein de sa flotte captive PanAmSat.

On rejoint ici assez naturellement ce qui a été dit plus haut sur intégration verticale et innovation (voir page 33). Dès lors que les technologies et les marchés évoluent rapidement, il peut être intéressant pour un constructeur et un opérateur de se rapprocher afin de partager leurs visions de l'avenir – avec l'espoir de prendre le pas sur leurs concurrents respectifs. La fusion Hughes-PanAmSat peut être vue comme l'application de cette théorie.

Le retrait progressif de certains opérateurs de satellites de la R&D spatiale, associée à leur timidité devant l'innovation technologique, est donc un élément central pour comprendre l'entrée des constructeurs dans l'opération de satellites. Cela pose, au fond, la question de la confiance dans les produits de haute technologie. Quand l'évolution technique prend

de vitesse les opérateurs, les constructeurs sont amenés, parfois malgré eux, à partager le risque de la mise sur le marché de leurs produits. Nous avons souligné en note 7 (page 27) l'importance des « effets d'annonce » ; la présence d'industriels réputés dans le capital des nouveaux systèmes est le gage de leur engagement durable, ce qui est de nature à rassurer tant les clients prospectifs que d'éventuels investisseurs.

II.2. Un marché changeant

II.2.A. Une incitation à l'intégration…

Un deuxième élément fort important est la nature changeante du marché des satellites de télécommunication. Alors que les Etats avaient joué un rôle décisif dans le déploiement des premiers satellites de télécommunication – c'était, à l'instar de l'arme nucléaire, un élément de l'indépendance nationale –, la fin de la guerre froide a changé la donne. Les télécommunications par satellite ont progressivement perdu de leur importance stratégique (même si les militaires conservent, bien sûr, leurs satellites), et les marchés institutionnels ont connu un recul qui a frappé les constructeurs de plein fouet.

Ces constructeurs ont donc compris qu'ils avaient tout intérêt à remplir leurs carnets de commande en devenant leurs propres clients. Toutes les constellations répondent à ce schéma, à l'exception notable d'ICO qui, comme nous l'avons vu, fut lancée par un opérateur. A titre d'anecdote, le "mythe fondateur" d'Iridium, selon lequel le mécontentement d'une abonnée du cellulaire aurait fait germer chez son mari, cadre de Motorola, l'idée révolutionnaire d'une constellation téléphonique mondiale, ne doit pas faire oublier que le lancement de la constellation visait avant tout à tirer les bénéfices d'années de recherche au profit du *Department of Defence* qui avaient pris fin en même temps que la guerre froide.

A cet élément s'ajoute l'attrait pour les constructeurs d'une clientèle captive, avec laquelle les relations seront plus aisées qu'avec les clients traditionnels. En effet, les actifs des constructeurs de satellite sont fortement spécifiques : l'outil de production de satellites ne peut être aisément utilisé à d'autre fins. Il est donc essentiel pour un constructeur de s'assurer un rythme d'activité aussi constant que possible. Il en résulte qu'une certaine coordination verticale avec ses clients est souhaitable (voir page 33). Dès lors que l'on possède un opérateur dont on connaît le rythme d'acquisition de satellites, il est possible de lisser à l'avance la charge de travail et de gérer au mieux les flux dans les ateliers. On bénéficie par ailleurs de l'effet série, qui permet de répartir les coûts de recherche et développement sur un nombre plus important de satellites. Ceci est particulièrement vrai avec les constellations à basse altitude, qui comptent toutes plus de cinquante satellites. A cela s'ajoute le fait que la durée de vie des satellites à basse altitude - de 5 à 8 ans - est bien plus faible que celle des satellites géostationnaires (15 ans ou plus), ce qui assure un remplacement rapide de la flotte. Dans ces conditions, on comprend aisément que les constructeurs

aient tout intérêt à avoir des liens solides avec ces clients d'un genre nouveau.

Un troisième élément de nature à inciter les constructeurs à entrer dans l'opération est le simple fait qu'il n'existe pas encore d'opérateur privé véritablement mondial. Or les constellations, par exemple, sont par essence des systèmes mondiaux. Faute de clients adaptés, les constructeurs sont automatiquement amenés à assurer eux-mêmes l'exploitation de ces systèmes. Les carences des opérateurs existants seraient donc à mettre en cause.

Outre l'intérêt des constructeurs, pris individuellement, à posséder un opérateur de satellites, il est important de comprendre que l'intégration des constructeurs et des opérateurs est un phénomène coopératif. C'est-à-dire que le phénomène s'auto-amplifie, pour deux raisons : la nécessité pour les constructeurs de gérer au mieux les flux dans les ateliers et le nombre réduit de clients. Du fait de l'étroitesse du marché des constructeurs (quelques opérateurs de satellites), un début d'intégration verticale provoque la disparition de clients au profit exclusif de constructeurs donnés. En 1998, la moitié des satellites vendus l'ont ainsi été à des flottes captives. Ceci provoque chez les constructeurs laissés-pour-compte la nécessité vitale de s'assurer eux-mêmes des débouchés. Ils entrent donc à leur tour dans la course à l'intégration verticale, car celui qui bouge le plus vite a l'avantage du choix et du prix. La parade à ce mouvement est, chez les constructeurs laissés de côté, l'établissement de liens durables avec des opérateurs (qui relèvent alors plutôt d'une coordination verticale), par exemple par entrée dans le capital d'opérateurs existants ou par création d'opérateurs. Plus généralement, la création d'opérateurs de satellites privés (liés à des constructeurs ou non) a été soutenue dans les années 1990, grâce à l'ouverture de nouveaux marchés provoquée par la libéralisation et l'avènement de nouvelles technologies. Cette prolifération de clients pour les constructeurs rend moins vitale l'intégration vers l'aval.

On retrouve ici un élément qui n'est pas spécifique à l'industrie des satellites. A partir du moment où un constructeur se lance dans l'opération de satellites, les autres se sentent dans l'obligation d'en faire autant, de peur de rater le coche. Cela est d'autant plus vrai que Hughes, qui a initié le mouvement, est le « premier de la classe », ce qui en fait un concurrent respecté. D'ailleurs, une mauvaise décision dans l'absolu peut devenir une bonne décision dès lors que tout le monde la prend, le pire étant de réagir quand il est trop tard. Dans cet ordre d'idées, Aerospatiale doit avoir quelques regrets : à une époque où aucun constructeur ne s'était lancé massivement dans l'opération, elle s'était vu proposer 25% de l'opérateur européen SES et avait dédaigné l'offre.

II.2.B. ...mais non sans risques

Bien que très attrayante dans le contexte actuel, l'intégration verticale n'est pas pour autant dénuée de risques. Le premier coule de source : en devenant opérateurs, les constructeurs de satellites se mettent subitement en

concurrence avec leurs clients traditionnels. On retrouve ici un des problèmes de l'intégration verticale dans l'industrie de la santé américaine (page 34), où un groupe intégré hésite à se fournir en prestations de soins chez un concurrent. Un opérateur de satellite n'acceptera pas nécessairement de s'approvisionner chez l'un de ses concurrents, ne serait-ce que parce que les opérateurs communiquent en général à leurs fournisseurs un ensemble de données techniques et commerciales qu'ils ne souhaitent pas particulièrement voir tomber entre les mains de leurs concurrents. Le constructeur Hughes en sait quelque chose : après son rachat de l'opérateur américain PanAmSat, il a été purement et simplement rayé de la liste des fournisseurs potentiels d'Intelsat, concurrent de ce dernier. Cela montre que les plans d'affaires des opérateurs de satellites sont jalousement gardés, et qu'un constructeur ne peut se mettre impunément en concurrence avec l'un de ses clients.

Le deuxième risque, spécifique à l'industrie celui-là, est lié à l'opération satellitaire. La construction de satellites est un métier dont le risque commercial est constitué principalement de la R&D éventuellement effectuée à perte, en cas d'absence de débouchés. Il en va tout autrement de l'opération satellitaire : non seulement les opérateurs avancent des sommes considérables, mais ils prennent un risque commercial conséquent en commandant leurs satellites plusieurs années avant leur mise en service. C'est précisément cette différence qui justifie leur rémunération ultérieure. L'opération de satellites représente donc un véritable bouleversement pour les constructeurs : leur besoin en fonds de roulement, de négatif, devient largement positif, et ils n'ont de certitude d'être payés qu'avec la réussite commerciale de leurs satellites en orbite. Cela fait d'ailleurs dire à certains opérateurs que leur métier est une affaire de spécialistes, et que les constructeurs devenus apprentis opérateurs vont au devant de grandes surprises.

Nous venons de voir en quoi les changements survenus sur le marché des satellites de télécommunication ont amené les constructeurs à entrer dans l'opération. Nous avons constaté, aussi, que cette intégration n'était pas dépourvue de risques. Dans ce qui suit, nous verrons que lesdits constructeurs ne se sont pas contentés de subir les évolutions en cours, et que l'industrie spatiale dans son ensemble est en pleine mutation.

II.3. Une mutation industrielle

Si l'évolution du marché a joué un grand rôle dans le mouvement des constructeurs vers l'opération de satellites, il ne faudrait pas négliger le fait qu'une véritable mutation industrielle est en cours, à l'initiative même des constructeurs.

II.3.A. Une rentabilité à retrouver

Pour comprendre cette mutation, il faut d'abord se pencher sur la rentabilité de la construction de satellites de télécommunication civils par rapport

à l'opération de ces derniers. La marge opérationnelle[15] de Hughes Space and Communication était de 12% en 1997, tandis que celle l'opérateur européen SES/Astra était de 80% sur la même période. La comparaison de leurs retours sur fonds propres est tout aussi éloquente : celui de SES était de 26% en 1997, tandis que Hughes Electronics (qui possède pourtant l'opérateur PanAmSat) se contentait de 9,5%.[16]

Une fois ce constat fait, il suffit de le replacer dans le contexte historique de l'après-guerre froide. La baisse de commandes militaires a provoqué chez certains constructeurs la vente de leur division de défense, par exemple en 1996 pour Loral ou 1997 pour Hughes. Ayant quitté cette activité, sans doute nettement plus rentable que la construction de satellites de télécommunication civils, ces groupes se sont retrouvés avec une activité centrale assez peu rémunératrice, mais avec des sommes très importantes à investir (la vente de sa division défense a rapporté plus de 9 milliards de dollars à Hughes). Dès lors, pour satisfaire leurs actionnaires, les groupes concernés ont dû naturellement souhaiter remplacer ces divisions par des activités également rentables. Ils ont donc opéré presque simultanément une création ou une extension majeure, par croissance interne et externe, de leur activité d'opération de satellites[17].

II.3.B. Une intégration complexe

Ce mouvement d'intégration, dans lequel les constructeurs se sont lancés à marche forcée depuis le milieu des années 1990, notamment à travers les constellations, ne va pourtant pas de soi. Nous avons déjà souligné plus haut à quel point les activités de construction et d'opération était différentes, tant par leur profil de risque que par leur profil financier. Mais ce sont aussi des activités dont les acteurs, dans un tandem client/fournisseur, peuvent avoir des objectifs contradictoires. Les sources de conflits potentiels au sein d'un groupe intégré sont en effet nombreuses : la division construction de satellites pourra avoir tendance à opter pour l'équipement le plus sophistiqué, donc le plus cher, tandis que la division opération souhaitera se doter d'un matériel éprouvé et qui corresponde exactement à ses besoins techniques et commerciaux. On peut, par exemple, se demander si Motorola n'a pas été trop ambitieux dans sa conception du système Iridium, compromettant la viabilité économique de l'opérateur. Seule une direction forte, au niveau du groupe, peut assurer la cohésion d'un tel ensemble.

---

[15] Il s'agit ici de ce que les Anglo-saxons appellent l'*EBITDA margin*, c'est-à-dire le rapport entre l'excédent brut d'exploitation et le chiffre d'affaires.

[16] Pour ce qui est des retours sur fonds propres d'un « pur » constructeur comme Space Systems/Loral (dont les comptes sont consolidés dans ceux de Loral Space and Communications), on les estime généralement à 2 ou 3%.

[17] On est néanmoins amené à s'interroger sur la nécessité pour ces groupes d'effectuer ce remplacement, au lieu de se spécialiser dans un métier unique. Une cause pourrait être la maintien à tout prix, pour des raisons d'ego de dirigeants, de la taille de ces groupes.

Cette intégration verticale est d'autant plus remarquable que les grands mouvements industriels semblent aujourd'hui aller en sens contraire. La tendance de fond actuelle est au recentrage des groupes sur leur métier de base ; la scission des groupes de chimie-pharmacie en fournit un excellent exemple. Dans un domaine plus proche des satellites de télécommunications, AT&T s'est concentrée sur le métier d'opérateur téléphonique en se séparant de ses activités de construction (par exemple Lucent et AT&T Submarine Systems Inc.) au milieu des années 1990. Néanmoins, certaines industries traversent des phases d'intégration et de spécialisation, qui s'apparentent parfois à des modes. Nous avons vu le cas de l'industrie de la santé aux Etats-Unis (page 34). Ou encore, les achats dans les années 1980 de studios d'Hollywood par des fabricants d'électronique japonais. Ces achats étaient théoriquement motivés par le besoin pour ces fabricants que les consommateurs se voient proposer un contenu suffisamment intéressant pour être disposés à acquérir l'équipement électronique nécessaire. Achats qui se sont d'ailleurs soldés par des échecs[18].

II.3.C. L'évolution des métiers

L'intégration constructeur-opérateur dépendra enfin de l'évolution des métiers respectifs de constructeur et d'opérateur. Ceux-ci se sont profondément transformés au cours de la dernière décennie. Depuis le début des années 1990, un nombre croissant de contrats de fourniture de satellites stipule que le satellite sera livré "en orbite" ("In Orbit Delivery", ou IOD), ce qui rend le constructeur *de facto* responsable du lancement. On peut citer le cas de DirecTV 1-R (vendu il est vrai d'une filiale de Hughes à une autre). Certains contrats vont même plus loin : le constructeur fournit l'ensemble du système, clé en mains. Ce qui fut une grande première avec Turksat en 1989[19] est aujourd'hui devenu assez courant. On peut en citer deux exemples :

- le système WorldSpace, dont tous les segments (y compris les prototypes de récepteur radio et les stations de radiodiffusion) sont fournis par Alcatel.

- la constellation Iridium, fournie prête à fonctionner à Iridium LLC par Motorola.

Dans le cas d'Iridium, le partenariat avec le fournisseur se prolonge au-delà du lancement du service : un contrat d'entretien a été signé entre Iridium et Motorola, aux termes duquel Motorola doit garantir le fonctionnement de la constellation.

---

[18] The Economist, Sony in Hollywood : the nightmare continues, 26 septembre 1996

[19] F. Fraikin et A. Roger, Revue des télécommunications d'Alcatel, 1997, p 108-114

Ces contrats montrent un changement de rôle pour le constructeur et pour l'opérateur. Le premier prend en charge l'intégralité de l'aspect technique du système et les risques associés. Le second n'est ainsi plus responsable que de la commercialisation. Cette répartition des tâches et des risques permet à chacun de se spécialiser dans son domaine ; elle constitue une forme de coordination verticale telle que nous l'avons vue page 30. Une prise partielle de capital de l'opérateur par le constructeur pourrait être une garantie supplémentaire pour le premier que le second est bien intéressé à sa réussite. Elle permet aussi au constructeur de prélever une partie des bénéfices de l'opérateur.

Les liens entre constructeurs et opérateurs sont donc plus forts que jamais. A un symposium organisé par Satel Conseil en septembre 1998, Ricardo dos Bastos, Senior Vice President, Orbital Sciences Corporation, constatait :

> *« Ce qui était autrefois un simple contrat dans lequel un client passait commande d'un satellite pour un prix et dans un délai donnés, se transforme en une situation où le constructeur partage les soucis du client dans la mise sur le marché de son produit. Nous partageons les pressions et les soucis des obstacles réglementaires, de l'obtention des licences,(...) nous partageons la préoccupation de la recherche de financements (...) et de l'obtention des soutiens indispensables à la mise en œuvre d'activités entrepreneuriales. »* [20]

On voit bien que, hormis toute considération de liens capitalistiques, constructeurs et opérateurs travaillent désormais de façon particulièrement coordonnée. Le rachat des seconds par les premiers pourrait, d'une certaine façon, être vu comme l'aboutissement de ce rapprochement inexorable ; pourtant, bien des industries, quoique très coordonnées, ont su rester non intégrées (comme l'industrie du poulet aux Etats-Unis ; voir page 31).

Donald Cramer, President, Hughes Space and Communications, observait au cours du même colloque :

> *« Aujourd'hui, les constructeurs constatent une demande croissante pour du crédit fournisseur comme partie intégrante des contrats. Le crédit fournisseur se présente sous plusieurs formes. Dans certains cas, cela veut dire accepter de s'endetter au cours de la construction de systèmes spatiaux. Dans d'autres, cela prend la forme d'un investissement direct. Si Hughes est disposé à soutenir ses clients dans la recherche de solutions de financement, je dois dire que les constructeurs de satellites ne sont pas des banques (...). »* [20]

L'intégration verticale est-elle donc inéluctable ? Cette dernière remarque semble indiquer que non, puisque l'orateur dénonce la dépendance excessive des opérateurs vis-à-vis des constructeurs. Même si ce type de dis-

---

[20] http://www.satelconseil.com/Sixth/symposium/CDR_S.htm

cours peut sembler curieux de la part de Hughes – constructeur qui a lancé la course à l'intégration – il est emblématique d'une certaine ambiguïté des constructeurs vis-à-vis d'une situation qu'ils ont eux-mêmes largement contribué à créer.

Nous donnerons en conclusion notre point de vue sur l'avenir de l'intégration dans l'industrie des satellites de télécommunication. Les groupes étant avant tout le fruit de leur histoire, nous les passerons en revue individuellement pour tenter d'entrevoir leur avenir. Et, pour terminer, nous porterons un jugement sur l'avenir des constellations, qui ont donné son titre à ce mémoire et sont aujourd'hui au centre de toutes les attentions.

Et demain ?

Dans ce travail, nous nous sommes intéressés à l'intégration verticale entre les constructeurs et les opérateurs de satellite. Nous nous sommes posé la question de la pérennité de cette intégration, et en particulier dans le cas des constellations. Après une description des acteurs concernés et de leurs intéractions, nous avons tenté de comprendre les tenants et les aboutissants de cette intégration verticale. A quelles conclusions cette analyse nous mène-t-elle ?

Prévoir l'évolution d'une industrie est un exercice périlleux pour au moins deux raisons. D'une part, il s'agit de peser les tendances contradictoires décrites ci-dessus. D'autre part, les éventuelles tendances oubliées sont susceptibles de « se venger » et d'agir de façon décisive dans un sens imprévu. Nous souhaitons donc que la conclusion livrée ici soit lue comme une spéculation qui n'engage que les auteurs.

Nous nous prononcerons successivement sur le cas général de la durabilité de l'intégration entre constructeurs et opérateurs de satellite, puis sur le cas des constellations.

I - Un mouvement temporaire

A court terme, le mouvement d'intégration ne semble pas fléchir. Ainsi, Lockheed Martin a ainsi annoncé deux intentions : d'une part, d'acheter Comsat, ce qui signifierait une entrée remarquée dans le capital d'Intelsat et d'Inmarsat, et d'autre part, de créer Astrolink, système de transmission de données à large bande par satellite. Et de fait, la constitution d'un groupe qui intègre les différents métiers des télécommunications par satellite semble payante : Hughes parie sur cette stratégie depuis les années 1980 et se porte bien.

L'analyse de l'intégration verticale constructeurs-opérateurs que nous avons faite dans les pages qui précèdent nous rend sceptiques sur la pérennité de cette intégration. Les avantages perçus par les constructeurs en termes de débouchés et d'augmentation de la rentabilité jouent principalement à court terme. La différence des métiers et des risques qui leur sont inhérents, l'historique général de l'industrie et surtout l'évolution des activités qui se dessine nous paraissent constituer des tendances de fond

auxquelles peu de groupes échapperont. Nous allons ici organiser ces groupes en trois catégories :

- Hughes et Loral se sont véritablement spécialisés dans les télécommunications par satellite.

- Lockheed Martin et Alcatel semblent également s'intéresser à l'opération de satellite pour elle-même. Il ne s'agit néanmoins que d'ajouter ce métier à leur palette existante d'activités, qui contrairement à celle de Hughes et de Loral n'est pas centrée sur les télécommunications par satellite.

- Enfin, Matra Marconi Space et Motorola semblent s'intéresser au capital des opérateurs de satellite principalement pour le débouché que ceux-ci représentent pour leurs ateliers. Un tel parti-pris d'opportunisme évite à Matra Marconi Space et Motorola d'avoir à justifier sérieusement devant leurs actionnaires l'entrée dans un nouveau métier. Il ne les protège cependant pas des risques inhérents à ce métier.

Nous envisageons deux types d'issue à l'intégration verticale. La première possibilité est la cession du pôle d'opération de satellite, dans son ensemble ou par blocs. Cette cession se produira à la première opportunité, c'est-à-dire d'autant plus vite que l'activité atteindra le seuil de rentabilité tôt, lorsque ce pôle aura été conçu dès le départ comme un outil commercial et non comme une nouvelle activité (cas de Matra Marconi Space et de Motorola). Ce pôle sera également vendu lorsqu'il ne représente qu'un métier marginal de grands groupes (cas de Lockheed Martin et d'Alcatel) ; dans ce second cas, la cession sera accélérée si ce pôle rencontre des difficultés. Une telle cession serait également envisageable pour Loral si ses difficultés ne disparaissent pas rapidement ; elle serait alors assimilable à la sanction d'une diversification ratée.

La seconde issue possible est la réussite de l'intégration dans le cas de Hughes et de Loral (si ce groupe se remet de ses problèmes actuels). Cette réussite mènerait à la constitution d'un pôle opération très rentable. Une cession de l'activité de construction serait alors envisageable. Elle constituerait la dernière étape de la transformation d'un groupe par « déformation continue », transformation dont BSN-Danone a donné un exemple en évoluant de verrier dans les années 1960 en un pur groupe d'agro-alimentaire dans les années 1990. Ces groupes auraient ainsi catalysé la réorganisation des opérateurs de satellite en grands groupes à ambitions globales. De plus, la cession du pôle construction que nous prédisons s'effectuerait probablement au profit d'un autre groupe du domaine, ce qui contribuerait alors aussi au mouvement de concentration horizontale dans la construction de satellite. Même temporaire, l'intégration aurait alors accompagné une double transition industrielle : la concentration horizontale de l'opération et de la construction de satellite.

Dans tous les cas, la nature même des métiers de constructeur et d'opérateur de satellite aura changé, comme nous l'avons indiqué page 42. Les deux activités sont de plus en plus imbriquées. Le constructeur se

transforme en fournisseur complet de l'opérateur : satellite, mais aussi lancement, entretien, stations terriennes de contrôle, secteur terrien, voire financement...

II - La maturité des constellations

Nous avons vu que les constellations représentent un cas particulier parmi les opérateurs de satellite étudiés ici, pour deux raisons : elles ont pour la plupart été créées par les constructeurs eux-mêmes, et elles représentent un risque important. Deviendront-elles indépendantes une fois adultes ?

Le premier scénario pour l'avenir d'une constellation est une crise d'adolescence sérieuse – ces systèmes défrichent en effet des techniques et des marchés nouveaux. Les difficultés d'Iridium rendent malheureusement réaliste un tel scénario. L'échec d'une constellation représenterait un coup grave pour son promoteur, qui en perdrait probablement le contrôle.

Considérons maintenant le cas d'une constellation qui se développe de façon satisfaisante. Le second scénario serait l'inclusion de la constellation dans le pôle d'opération de satellite du groupe qui l'a créée. Telle est la stratégie annoncée par Loral et Alcatel concernant respectivement Globalstar et SkyBridge. Nous avons exprimé ci-dessus nos doutes sur une telle stratégie à long terme. Le troisième et dernier scénario, selon nous le plus probable, représenterait le retrait à terme du ou des constructeurs-promoteurs. Le cas d'ICO suggère de fait qu'un opérateur, même naissant, peut porter de façon crédible une constellation, en se reposant sur ses fournisseurs pour le système.

Bibliographie

Sur les aspects réglementaires des télécommunication spatiales :

- Que sais-je *Le droit de l'espace* n° 883

Sur les aspects techniques des systèmes de télécommunications par satellite :

- B. Elbert, *Introduction to Satellite Communication*, Boston, Artech House (1999)
- M. Richharia, *Satellite Communications Systems, Second Edition*, New york, McGraw-Hill (1999)
- G. Maral et M. Bousquet, *Satellite Communication Systems, Third Edition (Systems, Techniques and Technology)*, Chichester, Wiley (1998)
- D. Marty, *L'astronautique et les techniques spatiales*, PUF, collection Que sais-je ? n°3135 (1996)
- Ouvrage collectif par des ingénieurs du CNES et du CNET, *Télécommunications Spatiales*, Masson (1982)

Sur les applications des satellites de télécommunication :

- R. Bekkers et J. Smits, *Mobile Telecommunications: Standards, Regulation, and Applications*, Boston, Artech House (1999)
- S. Ohmori, H. Wanaka, S. Kawase, *Mobile Satellite Communications*, Boston, Artech House (1998)
- B. Elbert, *The Satellite Communication Applications Handbook*, Boston, Artech House (1997)
- R. Besson, *Réception TV par satellites*, Paris, Dunod (1996)

Annexe 1 :
Données techniques

L'intérêt des satellites de télécommunication est de relier entre eux deux points de la surface terrestre. Ils se trouvent ainsi au confluent du domaine spatial et du monde des télécommunications, et se caractérisent donc par une forte technicité. Nous allons examiner cette technicité selon deux angles : les types d'orbites et l'infrastructure des systèmes de télécommunication par satellite.

I - Les types d'orbites et les constellations

Parce qu'il se trouve en orbite autour de la Terre, un satellite de télécommunication est soumis dans son mouvement aux lois de la mécanique céleste. Les caractéristiques de ce mouvement, associées à celles de l'environnement spatial et de la propagation des ondes, font que certaines orbites ont plus d'intérêt que d'autres : orbites que nous détaillerons ici.

Les systèmes de télécommunications par satellites peuvent se classer selon l'altitude des satellites mis en jeu : les satellites géostationnaires (dits parfois *GEO*, pour *Geostationary Earth Orbit*), les satellites en orbite médiane (dits *MEO* pour *Medium Earth Orbit* ou *ICO* pour *Intermediate Circular Orbit*) et les satellites en orbite basse (dits *LEO* pour *Low Earth Orbit*). L'altitude du satellite confère certaines caractéristiques au système de télécommunications.

Deux contraintes physiques principales orientent le choix d'une orbite : la traînée atmosphérique et les ceintures de Van Allen. Si l'altitude minimale pour une satellisation est 80 km, l'atmosphère est trop dense en-dessous de 700 km d'altitude pour permettre le maintien à poste d'un satellite pendant une durée raisonnable, par suite de l'épuisement rapide des réserves de propulsion. Ainsi, la faiblesse relative de la durée de vie prévue des satellites Iridium de première génération (5 ans) est-elle due essentiellement à leur basse altitude (780 km). Les ceintures de Van Allen sont constituées par des particules chargées du vent solaire piégées par le champ magnétique terrestre. Il est imprudent de placer un satellite dans les altitudes de plus forte intensité de ces ceintures, qui sont 1500-5000 km pour la ceinture de Van Allen basse et 15000-20000 km pour la ceinture de Van Allen haute. Les trois bandes d'altitudes recommandées pour les satellites

sont donc 700 à 1500 km en LEO, 5000 à 15000 km en MEO et au-delà de 20000 km (ce qui comprend les orbites géosynchrones et GEO).

Bien que leur mise en orbite soit la plus difficile à cause de l'altitude à atteindre, les satellites GEO sont les premiers à avoir été utilisés pour les télécommunications, et dominent encore largement. En effet, l'antenne terrestre n'a pas besoin de bouger pour suivre le satellite. Un tel système est particulièrement adapté pour des réseaux de grande taille à bas coût, par exemple la diffusion directe ou les réseaux VSAT d'entreprise. Les satellites LEO et MEO ont pour intérêt principal par rapport aux satellites GEO un bond plus court. Ce raccourcissement du délai de transfert d'information rend plus confortable une conversation téléphonique et surtout facilite la compatibilité du transfert d'information avec les protocoles qui mettent en œuvre des accusés de réception tels que le protocole internet (IP). En outre, une altitude plus faible réduit aussi les pertes de puissance. Ceci facilite l'utilisation de terminaux portables et de satellites plus légers. Cependant, contrairement à un satellite géostationnaire qui est fixe par rapport à la terre et qui permet donc d'illuminer une zone choisie, la position d'un satellite MEO ou LEO varie par rapport à la Terre. Il faut donc plusieurs de ces satellites défilants pour couvrir une zone donnée. En général, il s'agit d'un ensemble de satellites identiques répartis dans plusieurs plans d'orbite, ensemble que l'on appelle une constellation.

La conséquence naturelle de la nécessité de créer une constellation pour exploiter les orbites médianes et basses est l'extension de la couverture à une large partie du globe, au minimum de -70° à +70° de latitude. Ceci représentant les principales zones peuplées, on peut parler alors de couverture globale. De telles constellations impliquent typiquement, pour des satellites LEO, au moins une cinquantaine de satellites.

II - L'infrastructure

L'infrastructure physique d'un système de télécommunications par satellite est fondamentalement constituée de trois éléments : le satellite, la station terrienne de télécommunication (qui transmet les signaux entre le réseau terrestre et le satellite) et la station terrienne de contrôle (qui assure le fonctionnement du satellite). Classiquement, le satellite est regroupé avec la station terrienne de contrôle dans le *secteur spatial*. Les stations terriennes de télécommunication constituent le *secteur terrien*. Le satellite peut à son tour être décomposé en deux parties aux fonctions analogues à celles des deux types de stations terriennes : la charge utile relaie les signaux radioélectriques ; la plateforme permet le fonctionnement de la charge utile. Le secteur terrien est ainsi en communication exclusive avec la charge utile, alors que la station de contrôle communique en plus avec la plateforme. Nous examinerons dans un premier et un deuxième temps les deux parties du satellite : la charge utile et la plateforme. Dans un troisième et dernier temps, nous considérerons les stations terriennes.

II.1. La charge utile

La fonction d'un satellite de télécommunication est de recevoir le signal montant, de l'amplifier et de transmettre le signal descendant vers la Terre. Ceci est la tâche de la charge utile, qui peut donc être considérée comme la raison pour laquelle le satellite a été mis en orbite. La plupart des satellites agissent comme un miroir ou un « tuyau coudé » (« bent pipe ») : ils renvoyent fidèlement vers la Terre l'information reçue. Il sont ainsi transparents pour l'information véhiculée. Nous nous intéresserons ici à ce type de satellite. La charge utile présente trois éléments principaux : les antennes de réception qui captent le signal montant, les répéteurs qui traitent ce signal et les antennes d'émission qui émettent le signal descendant.

Une antenne est un système passif qui transforme un signal électrique en onde électromagnétique et vice-versa. Les types d'antennes utilisées sur les satellites sont l'antenne réseau, l'antenne à réflecteur et l'antennes à lentille.

Le signal capté par l'antenne de réception du satellite est considérablement affaibli par rapport à la puissance émise par la station terrienne. Comme son nom l'indique, le répéteur a pour rôle l'amplification du signal avant sa réémission par le satellite, afin que ce signal soit reçu correctement par la station terrienne de réception en dépit d'un affaiblissement similaire à celui du signal montant. Les caractéristiques principales d'un répéteur sont donc un gain en entrée élevé, une faible température de bruit en entrée, ainsi qu'une puissance en sortie élevée.

II.2. La plateforme

La plateforme est le véhicule qui assure le bon fonctionnement de la charge utile, c'est à dire qui satisfait les exigences de celle-ci dans l'environnement spatial.

- Les antennes terrestres sont directionnelles : le satellite doit donc être correctement positionné par rapport à la Terre, grâce au *contrôle de position*. C'est à dire que les coordonnées de son centre de masse dans un référentiel terrestre doivent être proches de valeurs spécifiées ; dans le cas d'un satellite géostationnaire vers lequel pointent des antennes fixes, l'inclinaison ne doit généralement pas dépasser 0,1°.

- Inversement, les antennes du satellite sont également directionnelles, ce qui signifie que l'orientation du satellite autour de son centre de masse (que l'on appelle son attitude) doit également être correcte. Un *contrôle d'attitude* est donc nécessaire.

- Les modifications de la position ou de l'attitude du satellite peuvent être réalisées grâce à la *propulsion*.

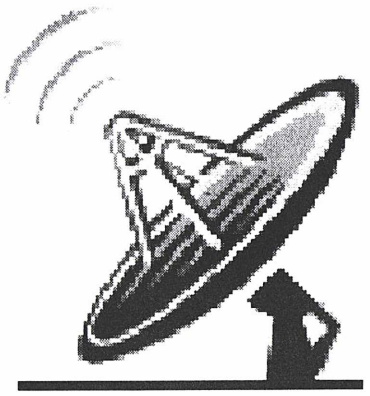
- Les répéteurs ont besoin d'énergie pour fonctionner, énergie fournie par l'*alimentation électrique*.

- Les relations du satellite avec la station terrienne de contrôle relèvent de trois fonctions : la poursuite, la télémesure et la télécommande, qui sont généralement regroupées en un seul sous-ensemble: *poursuite, télémesure, télécommande* (PTT).

- La plateforme assure la *structure du satellite*, c'est-à-dire le support mécanique et l'alignement des sous-parties du satellite, et le *contrôle thermique*.

II.3. Les stations terriennes

Les stations terriennes ont pour fonction de communiquer avec le satellite. Elles sont de deux sortes.



D'une part les stations terriennes de télécommunication, regroupées dans le secteur terrien, assurent une fonction analogue à celle de la charge utile. Les terminaux du secteur terrien ne diffèrent pas fondamentalement de leurs équivalents utilisés dans les télécommunications terrestres. Ils sont d'importance variable : dans les années 1960, le diamètre des antennes paraboliques a atteint 32 m ; les antennes pour la réception individuelle utilisées à partir des années 1990 mesurent quelques dizaines de centimètres de diamètre. De nouveaux systèmes, tels que ceux de téléphonie mobile par satellite, mettent en œuvre des terminaux d'utilisateur semblable à un téléphone cellulaire et pesant moins de 500 g ; hormis une antenne plus encombrante, ces terminaux portables sont similaires à ceux de la téléphonie cellulaire terrestre.

D'autre part les stations terriennes de contrôle, qui peuvent être considérées comme les compléments au sol de la plateforme du satellite et qui appartiennent au secteur spatial. La station de contrôle assure le bon fonctionnement du satellite. Elle intervient à partir de l'injection du satellite sur son orbite de transfert et dialogue ensuite avec lui pendant toute la durée de sa vie opérationnelle. D'une part, elle reçoit des informations du sous-système de PTT du satellite. D'autre part, elle effectue elle-même des mesures, telles que l'azimuth du satellite, mais aussi la vérification de la qualité des communications entre le satellite et le secteur terrien. Enfin, elle envoie des commandes au satellite. Le rôle de la station de contrôle est ainsi étroitement lié à celui de la plateforme. A ce titre, elle est incluse dans le secteur spatial, et elle appartient d'ailleurs le plus souvent au propriétaire du satellite. La ou les stations de contrôle d'un système satellitaire sont elles-mêmes contrôlées et coordonnées par le centre de contrôle du

satellite, éventuellement situé au même endroit que l'une des stations de contrôle.

Annexe 2 : Applications des satellites de télécommunication

Si le premier satellite fut le Spoutnik, lancé en 1957, l'ère des télécommunications par satellite a véritablement commencé en 1962 avec Telstar, qui a permis une liaison téléphonique transatlantique. La fonction des satellites a ensuite évolué avec les décennies : parallèlement au déclin relatif de leur rôle dans la téléphonie, ils ont progressivement pris une importance croissante dans la télédiffusion et, dans une moindre mesure, la diffusion de données. Ils effectuent aujourd'hui un retour spectaculaire dans la téléphonie. Nous allons ici nous intéresser à l'aboutissement de cette évolution, c'est à dire aux applications actuelles des satellites de télécommunication. Ces applications sont la téléphonie, la télédiffusion et la transmission de données.

I - Téléphonie

La téléphonie comprend elle-même trois types d'applications : le transport, la boucle locale et la téléphonie mobile par satellite.

I.1. Transport

Historiquement, la première grande application des satellites de télécommunication a été le transport du trafic pour la téléphonie fixe. A la fin des années 1990, de grands pays tels que la Russie et l'Indonésie dépendent ainsi fortement des systèmes satellitaires pour desservir leur territoire. Si les appels nationaux restent ainsi la première utilisation des satellites en téléphonie fixe, les satellites assurent néanmoins une faible partie du trafic téléphonique fixe mondial. Les infrastructures terrestres étoffées des pays développés sont spécialement responsables de cette situation.

La situation est différente dans le cas particulier du trafic international. En effet, les satellites géostationnaires, qui ont été jusqu'en 1998 les seuls utilisés pour la téléphonie, relient sans considération de distance deux stations de leur zone de couverture. Par exemple, le trafic téléphonique international d'un pays tel que la Thaïlande transitait en 1995 principalement par satellite. Il faut néanmoins noter que le trafic international représente

moins de 1 % du trafic téléphonique global, et que les opérateurs remplacent le satellite par de la fibre optique à chaque fois que possible. Le satellite risque ainsi d'être éliminé de cette niche.

I.2. Boucle locale

La desserte de la boucle locale représente en revanche une application prometteuse pour les satellites. La capacité intrinsèque du satellite à desservir une zone continue, indépendamment de la qualité des infrastructures terrestres de cette zone, en fait un outil de choix comme relais hertzien d'un système de boucle locale. La desserte des usagers finaux ne dépend en effet pas de l'accessibilité de leur implantation, mais de l'existence d'une ligne de vue vers un satellite. Les systèmes de boucle locale par satellite sont dont particulièrement intéressants pour des endroits isolés, tels que des villages en montagne, dans des forêts denses ou dans des archipels tels que l'Indonésie ou les Philippines. En outre, les progrès de l'électronique provoquent une diminution du coût des terminaux nettement plus rapide que celle de l'installation de lignes terrestres. Le développement des services de boucle locale par satellite représente ainsi un renouveau de la téléphonie par satellite.

I.3. Téléphonie mobile par satellite

La téléphonie mobile par satellite représente, assez intuitivement, la connection directe de terminaux mobiles (fixés à un véhicule ou véritablement portables) au réseau. La téléphonie mobile, qui relève du service mobile par satellite présente ainsi un certain nombre de caractéristiques communes avec la desserte de la boucle locale. Nous ne reviendrons donc pas sur les caractéristiques déjà décrites dans le sous-chapitre précédent.

La téléphonie mobile par satellite a été mise en œuvre dès la fin des années 1970 avec la mise en place par Inmarsat de services de communications mobiles par satellite à destination des navires. Les terminaux, de grande taille, possédaient une antenne directionnelle orientable. A la fin des années 90, l'essor des services mobiles terrestres tel que le GSM a étendu le besoin de possibilité permanente de communication par téléphone à de nombreux agents économiques. En particulier, les abonnés aux services de communications mobiles supporteront de moins en moins d'être coupés du reste du monde lors d'un séjour dans une zone non couverte. Simultanément, ils exigeront de plus en plus de pouvoir utiliser leur propre terminal pour leurs appels. Si les services terrestres de téléphonie mobile ont satisfait cet impératif dans les zones développées et à densité humaine suffisante (l'essentiel de l'Europe occidentale par exemple) et continuent à s'étendre, ils restent fort onéreux à déployer. Il en résulte que de nombreuses zones insuffisamment peuplées ou insuffisamment développées resteront dans un avenir prévisible hors desserte des systèmes terrestres de téléphonie mobile, et constituent ainsi des zones de desserte pour la téléphonie mobile par satellite.

Les différents systèmes en service ou en cours de mise en place peuvent être divisés en deux catégories :

- les systèmes géostationnaires, en service (Inmarsat, AMSC, Telesat Canada, Optus MobileSat) ou en développement (Thuraya, EAST, AceS, APMT)
- les systèmes LEO, en service (Iridium) ou en développement (Globalstar, ICO)

II - Télédiffusion

Les systèmes de télécommunications par satellite se prêtent parfaitement à la télédiffusion (par extension, nous aborderons également la radiodiffusion dans ce chapitre). En effet, la télédiffusion nécessite une infrastructure point-à-point ou point-à-multipoint à haut débit sur de larges zones. Les satellites de télécommunication répondent exactement à ces exigences. La transmission vidéo représente ainsi à la fin des années 1990 la première application pour les satellites de télécommunication : l'estimation est que 60 % de la capacité spatiale est utilisée pour des applications vidéo. La télévision et les systèmes de télécommunications par satellite sont ainsi devenus mutuellement dépendants.

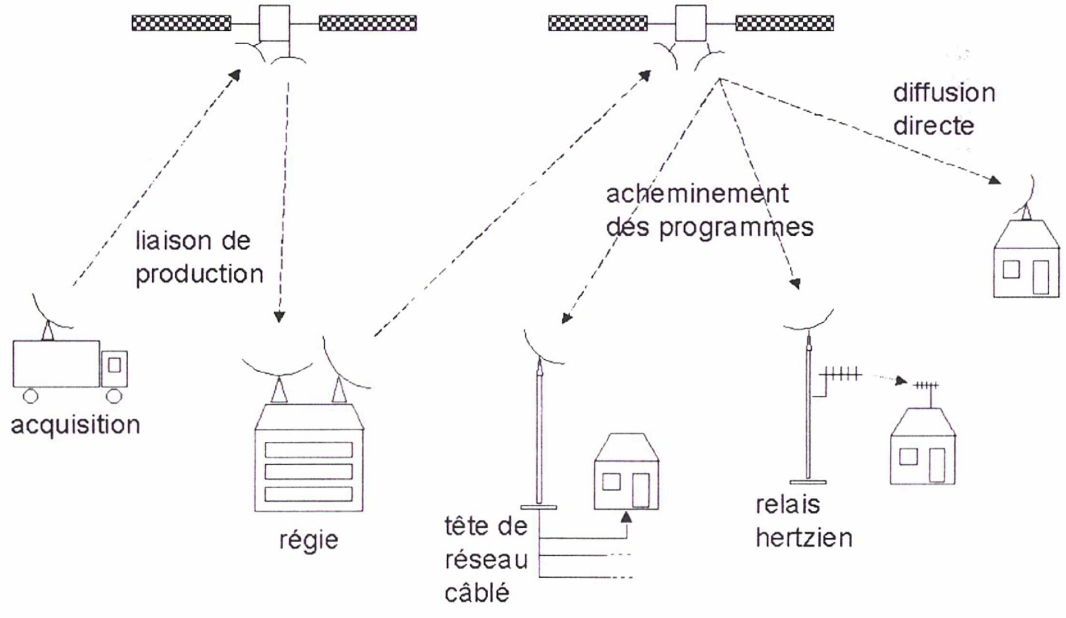


Figure 3 : applications de télédiffusion. Les liaisons de production et l'acheminement de programmes sont deux types d'application professionnelle.

II.1. Applications professionnelles

Les principales applications professionnelles sont les liaisons de production, l'acheminement de programmes télévisuels et la télévision d'entreprise.

Les liaisons de production sont les transferts de séquences vidéo vers un studio où seront préparées les émissions à diffuser. Les liaisons de production consituent ainsi le premier type de transport vidéo par satellite. La flexibilité du satellite (reconfiguration quasi-instantanée des liaisons, possibilité de point-à-multipoint) et le haut débit de transmission qu'il permet en font souvent le moyen le plus commode et le moins onéreux, c'est-à-dire un outil de choix. Le satellite permet ainsi d'assurer des transmissions vidéo occasionnelles ; il suffit pour un studio de pointer une antenne vers le satellite utilisé pour être en mesure de recevoir le signal. Le satellite permet par exemple aux studios de recevoir les informations échangées sur la bourse quotidienne d'informations de l'Union européenne de radiodiffusion (UER). Aux Etats-Unis, le système télévisuel est constitué de stations locales indépendantes affiliées à des réseaux nationaux. Cette organisation rend le satellite particulièrement adapté à la distribution des émissions des réseaux aux stations affiliées. De plus, les antennes déployables permettant d'installer l'antenne d'émission directement sur le lieu d'enregistrement, l'acheminement par satellite est particulièrement utile pour les reportages. Ceci est réalisable par exemple avec un camion équipé d'une antenne (l'émission en bande Ku autorisant l'utilisation d'antennes plus réduites qu'en bande C) et éventuellement de matériel pour un premier montage sur place. Le satellite permettant de s'affranchir des distances et du réseau terrestre local, son avantage est encore plus grand pour des liaisons de longue distance, par exemple pour des Jeux olympiques, dans des zones à réseaux terrestres peu développés ou en cas de catastrophe naturelle. Pour des lieux en dehors de la zone de couverture du ou des satellites utilisés par le studio, un double bond, par exemple sur un satellite Intelsat, est nécessaire.

L'acheminement des programmes de la régie des chaînes aux centres de diffusion (têtes de réseaux câblés et relais hertziens terrestres) peut également recourir au satellite, ce qui est moins onéreux dès que le nombre de relais terrestres atteint quelques dizaines. Ainsi, la télévision par câble est née aux Etats-Unis de la nécessité pour des communautés isolées de partager une antenne collective à haut gain ; en 1999, environ un tiers de la capacité satellitaire au-dessus de l'Amérique du Nord est utilisée pour l'alimentation des têtes de réseaux câblés en programmes télévisés. La fourniture de programmes payants par satellite aux têtes de câble a permis à cette technique de se développer aux Etats-Unis et d'atteindre en particulier les zones urbaines.

Les deux principales applications d'entreprise sont la télédiffusion privée et la visioconférence. La télédiffusion privée ne se distingue pas de la télédiffusion grand public, à ceci près que le contenu est de nature professionnelle et que le nombre de sites atteints est généralement beaucoup plus

faible. Un exemple d'utilisation est la présentation par une grande entreprise d'un nouveau produit à son réseau de points de vente. Dans un tel cas, l'interactivité est inexistante ou limitée à des questions transmises par le réseau téléphonique. La visioconférence représente une liaison vidéo point-à-point bidirectionnelle, et peut ainsi être considérée comme un mode particulier de téléphonie. Chaque extrémité de la connection est équipée d'une caméra, d'un microphone et d'un téléviseur. La transmission a lieu en mode numérique, avec compression à 384 ou 728 kbit/s (selon la qualité désirée et le coût acceptable). Cette application assure aux participants une interaction plus satisfaisante que le téléphone, et donc par exemple de renforcer la cohésion d'équipes réparties sur des sites différents tout en limitant le coût financier et humain des voyages. Un intérêt supplémentaire de la visioconférence par satellite est la possibilité de faire facilement de la télédiffusion privée, si un seul des sites impliqués émet.

II.2. Diffusion directe

La diffusion directe par satellite peut être considérée comme un mode particulier d'acheminement de programmes par satellite, avec réception du signal descendant du satellite par l'utilisateur final. Cette diffusion directe se caractérise donc de deux façons : la station terrienne se trouve chez les utilisateurs finaux et (par corollaire) la transmission est massivement point-à-multipoint. Nous nous intéresserons d'abord à l'application la plus importante, c'est-à-dire la télédiffusion, puis à la radiodiffusion.

II.2.A. Télédiffusion

Les premiers essais de télédiffusion directe par satellite ont eu lieu au Japon dans les années 1970. Après une gestation difficile au début des années 1980, des systèmes pérennes sont apparus en mode analogique en 1986-1987 aux Etats-Unis (en tant que complément de la diffusion par câble) et au Royaume-Uni (avec le système Sky). Les principaux facteurs de réussite semblent être une offre attractive pour le télespectateur et la possibilité de crypter le signal afin de garantir des revenus par abonnement aux chaînes.

L'avènement des normes MPEG a rendu possible la création de bouquets numériques, et donc l'amorce de la substitution du numérique à l'analogique. En effet, la compression numérique permet de jouer sur la capacité allouée à chaque programme en arbitrant sur la qualité finale désirée, et donc de diffuser un nombre optimum de programmes sur une même capacité. Le taux de compression varie entre autres en fonction du type de programme. Par exemple, une émission de télé-achat peut être diffusée à 2 Mbit/s alors qu'un grand événement sportif requiert au moins 8 Mbit/s. Des tests effectués sur différents équipements permettent de déterminer le taux de compression à adopter pour chaque émission.

Le premier système de télédiffusion directe numérique par satellite, DirectTV aux Etats-Unis, est entré en service en 1994. En France, trois bou-

quets de chaînes numériques diffusées par satellite ont été lancés en 1996 (TPS, Canal satellite et ABsat). Chacun de ces bouquets offre plusieurs dizaines de chaînes de télévision (185 pour DirecTV en 1999) et de radio. Il est intéressant de noter que ces bouquets numériques, qui sont des opérateurs de services, sont seuls en contact avec le client final. Leur activité est fondamentalement de louer de la capacité aux opérateurs de satellites, de multiplexer les chaînes qu'ils ont rassemblées dans leur bouquet et de transmettre celui-ci aux particuliers qu'ils ont convaincu de s'abonner. DirecTV présente la particularité de posséder sa propre flotte de satellites, et ainsi d'être opérateur à la fois de satellite et de services. L'installation d'antennes fixes chez les utilisateurs, moins onéreuses que des antennes orientables, est conditionnée par l'utilisation d'une position orbitale unique pour chacun de ces bouquets. Ainsi, Canal Satellite utilise les satellites Astra à 19°2 Est et TPS les satellites Eutelsat Hot Bird 13° Est.

A la fin des années 1990, la télédiffusion directe par satellite est une activité en forte croissance : fin 1997, soixante-dix millions de téléviseurs dans le monde utilisaient la réception directe par satellite, soit 7 % des foyers possédant un téléviseur. Certaines estimations font passer chiffre au-delà de deux cent millions en 2006. La télédiffusion directe est ainsi devenue essentielle à l'équilibre économique de certains opérateurs de satellites. Par exemple, elle représente à la fin des années 1990 plus de 80 % du chiffre d'affaires d'Eutelsat et la quasi-totalité de celui d'Astra.

II.2.B. Radiodiffusion

A la fin des années 1990, la radiodiffusion s'effectue encore essentiellement en mode analogique par voie terrestre. Comme pour la télédiffusion, l'irruption du numérique y représente une révolution. Les satellites de télécommunication commencent à être impliqués dans la radiodiffusion numérique, mais celle-ci représente un secteur beaucoup moins spectaculaire que les autres applications de ces satellites. Ceci est peut-être dû à la prééminence de la télédiffusion sur la radiodiffusion. Pour les pays développés, deux opérateurs nationaux ont reçu une licence en 1996 aux Etats-Unis, mais sont en cours de développement. Un autre projet, mené par la société américaine WorldSpace, est déployé au cours en 1998-1999 et assurera à terme une couverture DAB des pays en voie de développement.

III - Transmission de données

La transmission de données, c'est à dire de fichiers informatiques, constitue la troisième grande application des satellites de télécommunication. L'emprise croissante du numérique sur la transmission par satellite implique que les frontières entre les formats s'estompent et que tout contenu est assimilable à des données. Une utilisation mixte des réseaux devient ainsi possible : la transmission de données se définirait alors en creux, c'est à dire comme tout ce qui n'est pas ni téléphonie ni télédiffusion.

Nous verrons dans un premier temps les réseaux d'entreprises, ensuite la messagerie, et enfin l'implication prometteuse des satellites dans internet.

III.1. Les réseaux d'entreprise par VSAT

Les réseaux d'entreprise par satellite sont apparus vers 1980 grâce à la diminution de la taille, et donc du coût, des stations terrestres. Cette diminution a permis au satellite de concurrencer efficacement les infrastructures terrestres pour des réseaux d'au moins quelques dizaines de sites. Les réseaux d'entreprise par VSAT se sont fortement développés aux Etats-Unis à partir des années 80. Le parc européen a commencé à se constituer plus tardivement, probablement pour partie à cause de réglementations nationales qui ont induit la création de réseaux nationaux et ont donc réduit un des avantages principaux de ces réseaux, à savoir la desserte d'une vaste zone.

Les réseaux de VSAT permettent des économies d'échelle considérables. Par exemple, le coût annuel par site (amortissement compris) d'un réseau de 1000 VSAT est d'environ le tiers de celui d'un réseau de 30 VSAT. Ces réseaux assurent des communications point à multipoint comme point à point (dans le cas de réseaux bidirectionnels) sur de larges zones, sans considération de distance. Dans la mesure où ils permettent de s'affranchir complètement des réseaux terrestres, ils peuvent donc être utilisés là où l'infrastructure terrestre est déficiente. En outre, l'addition d'un site au réseau représente le plus souvent l'installation d'une station, et peut donc être effectuée facilement. Enfin, le taux d'erreur est bas (généralement de l'ordre de 10^{-7}).

Les principales applications des réseaux de VSAT monodirectionnels sont :

- Les services d'information (par exemple la presse, la bourse, la météo)
- Les services de radiomessagerie
- Les services sonore et vidéo
- La diffusion de fichiers et les intranets d'entreprise (ces services sont en émergence)

Les principales applications des réseaux bidirectionnels sont :

- Les transactions informatiques (par exemple les systèmes de réservations, les transactions bancaires, les requêtes de bases de données)
- Les communications (voix, courrier électronique, vidéoconférence)

III.2. La radiomessagerie

La messagerie peut être considérée comme un système hybride de transmission de données vers des terminaux mobiles. Elle présente donc des caractéristiques communes avec la téléphonie mobile par satellite. Un des avantages de la radiomessagerie par rapport à la téléphonie mobile est que son signal est plus robuste, et donc pénètre mieux dans les bâtiments. Ce n'est d'ailleurs pas un hasard si la plupart des systèmes de téléphonie mobile par satellite ont prévu un service de messagerie. Les différents systèmes en service ou en cours de mise en place peuvent être divisés en deux catégories :

- les systèmes géostationnaires (Inmarsat-C et D, OmniTracs et Eutel-Tracs)
- les systèmes LEO, en service (Orbcomm et Iridium) ou en développement (Globalstar, ICO)

III.3. Internet par satellite

Le troisième type principal de transmission de données par satellites concerne les connections internet, et plus spécialement le World Wide Web. Ces connections se caractérisent le plus souvent par une forte asymétrie : la voie « aller » (de l'utilisateur vers le système interrogé) transmet essentiellement des requêtes d'information, et donc de faibles quantités de données. L'information requise, généralement beaucoup plus volumineuse que la requête, emprunte la voie « retour ». L'essor du réseau mondial rend ce type de transmission particulièrement intéressant. Cet essor se caractérise en particulier par une augmentation des transferts audio et vidéo, qui doivent s'effectuer en temps réel et imposent donc des contraintes particulières sur la voie retour. Contrairement à la téléphonie et à la radiomessagerie, où le satellite assure l'existence même de la liaison, le satellite intervient dans les connections internet en plus ou à la place de systèmes existants tels que le RTC. L'intérêt du satellite est donc avant tout d'accélérer le débit d'information.

La transmission de données sur internet utilise elle aussi les satellites géostationnaires et les satellites LEO. Chaque type de système peut intervenir à deux types de niveaux analogues à ceux de la téléphonie : dans le transport et dans la boucle locale.

Les satellites géostationnaires sont généralement mis en œuvre pour la seule voie retour dans les applications de transfert de données par internet. En effet, le protocole Internet (IP) fonctionne grâce à des accusés de réception. La demi-seconde nécessaire pour un double bond par satellite géostationnaire est trop longue pour l'IP et entraînerait automatiquement une réémission. La voie aller transite donc généralement par les systèmes terrestres, ce qui est d'autant plus aisé à réaliser que la voie aller transporte le plus souvent des volumes relativement faibles d'information. La

voie retour transmet les données requises. Les satellites géostationnaires sont impliqués dans le transfert de données à haut débit, fonction qui peut être considérée comme une extension de leur rôle dans la hiérarchie du RTC, lorsqu'ils relient deux commutateurs. Les satellites géostationnaires permettent d'autre part d'accroître le débit de l'accès internet des particuliers par rapport aux quelques dizaines de kbit/s obtenus avec un modem connecté au RTC. Plusieurs systèmes se sont mis en place, tels que DirecPC en Amérique du Nord et Europe Online en Europe. DirecPC fonctionne comme un « turbo » et permet un débit de 400 kbit/s en voie retour avec une antenne parabolique de 50 cm de diamètre. Néanmoins, pratiquement tous les systèmes de desserte de la boucle locale par satellite GEO peinent à atteindre l'équilibre économique, et leur avenir semble compromis.

Comme pour la téléphonie, les satellites LEO présentent par rapport aux systèmes géostationnaires l'avantage d'un délai plus faible (environ 0,08 s pour un double bond par satellite à une altitude de 1500 km). Outre un meilleur service pour l'utilisateur, ceci garantit la compatibilité avec les protocoles existants tels que l'IP lorsque le satellite assure un lien bidirectionnel. Les deux projets les plus sérieux de système d'accès interactif à large bande par constellation LEO sont SkyBridge et Teledesic ; leurs satellites sont dits « méga LEO » de par leur forte masse. La structure prévue pour ces projets est similaire à celle des constellations de téléphonie, en particulier les trois niveaux d'opérateurs.

Annexe 3 :
Organisations contactées pour ce travail

Afin de respecter le souhait d'anonymat de certains de nos interlocuteurs, nous avons préféré ne pas citer de noms. Voici donc la liste des organisations que nous avons contactées pour ce travail de mémoire.

Agence de Régulation des Télécommunications

Agence Nationale des Fréquences

Alcatel

Alcatel Space

Arianespace

Matra Marconi Space

Banque Nationale de Paris

Cabinet du Premier Ministre

CNES

Compagnie Générale de Géophysique

Crédit Lyonnais

Délégation Générale pour l'Armement

Euroconsult

Europ*Star

Eutelsat

FCR

France Telecom

MCNSat

Motorola

PolyCom

Siemens

SkyBridge

Starsem

TE.SA.M

TPS

Wavecom

Annexe 4 :
Quelques adresses utiles sur la Toile

I - Opérateurs de satellite

PanAmSat	http://www.panamsat.com/
Loral Skynet	http://www.loralskynet.com/
Loral Orion	http://www.loralorion.com/
SES-Astra	http://www.astra.lu/
Intelsat	http://www.intelsat.int/
Inmarsat	http://www.inmarsat.org/index3.html
Eutelsat	http://www.eutelsat.com/home.html
Iridium	http://www.iridium.com/
Globalstar	http://www.globalstar.com/
ICO	http://www.ico.com/
SkyBridge	http://www.skybridgesatellite.com/
Teledesic	http://www.teledesic.com/

II - Constructeurs de satellite

Hughes Space and Communications

http://www.hughespace.com/

Space Systems/Loral

http://www.ssloral.com/

Lockheed Martin Corporation

http://www.lmco.com/

Alcatel Space

http://www.alcatel.com/telecom/space/organis/spaceind/index.htm

Matra Marconi Space

http://www.matra-marconi-space.com/

III - Groupes spécialisés dans les satellites

Hughes Electronics Corporation

http://www.hughes.com/

Loral Space & Communications

http://www.loral.com/

IV - Informations générales sur les satellites

Lloyd's Satellite Constellations
http://www.ee.surrey.ac.uk/Personal/L.Wood/constellations/

Sixième colloque Satel Conseil
http://www.satelconseil.com/Sixth/symposium/CDR_S.htm