

De nouvelles chaînes industrielles, l'exemple de OneWeb

Par Nicolas CHAMUSSY

Directeur de Space Systems au sein de la division Airbus Defence & Space et président d'Airbus Defence and Space SAS (ex-Astrium)

En 2015, l'obtention par Airbus Defence and Space du contrat de réalisation des neuf cents satellites du projet OneWeb, première méga-constellation d'une telle ampleur jamais mise en chantier, a permis d'écrire un nouveau chapitre de l'histoire de l'industrie spatiale. Le soutien institutionnel apporté au travers du Programme d'investissements d'avenir à la constitution de constellations a été à l'origine de la création d'une capacité industrielle française unique au monde. Les objectifs très ambitieux en termes de coût unitaire, de cadence de production et de niveau de miniaturisation des satellites ont conduit les ingénieurs à repenser complètement les processus de conception, d'intégration et d'essais. Une véritable « usine du futur » présageant l'industrie spatiale de demain a ainsi été construite à Toulouse sur le site d'Airbus Defence and Space. À l'heure où les premiers satellites OneWeb viennent d'être mis en orbite, l'industrie française est incontestablement une pionnière sur le marché en mutation des constellations de satellites.

Genèse d'une aventure industrielle

Ce qui pouvait paraître impossible il y a quelques années seulement est devenu aujourd'hui réalité. Airbus a relevé un défi ultra ambitieux : produire des satellites très performants à la cadence de cinq à six cents par an, soit deux à quatre par jour, du jamais vu dans l'industrie spatiale.

À l'origine de cette aventure, la société OneWeb, fondée par l'Américain Greg Wyler (ancien responsable des activités satellites de Google et fondateur de O3b Networks), a lancé la construction d'une méga-constellation de satellites de télécommunications pour fournir, à partir de 2021/2022, un accès mondial à l'Internet à haut débit et de faible latence, partout dans le monde.

La méga-constellation telle que prévue par OneWeb ne comprend pas moins de 900 satellites en orbite, dont 648 indispensables à la réalisation de la mission et 252 en « redondance chaude », c'est-à-dire prêts à prendre la relève d'un satellite qui serait défaillant. OneWeb recourt à des satellites de petite taille dont le coût de fabrication est drastiquement abaissé grâce à un volume de série dix fois supérieur aux standards de l'industrie spatiale. En effet, les plus grandes constellations jamais déployées jusqu'à ce jour ne comptent pas plus de quatre-vingt-dix satellites.

En novembre 2014, OneWeb Ltd (qui se nommait alors WorldVu Ltd) lance un appel d'offres international auprès des grandes entreprises du spatial pour l'acquisition des

neuf cents satellites nécessaires à la concrétisation de son projet.

Fort de son expérience sur les marchés commerciaux à l'export et de sa capacité à prendre des risques entrepreneuriaux, Airbus Defence and Space remporte cet appel d'offres. L'industriel s'engage à concevoir une constellation composée de petites plateformes électriques très compétitives et à développer une ligne d'assemblage ultra-moderne pour la production, l'intégration et réaliser les tests.

Grâce au soutien engagé et réactif du Secrétariat général pour l'investissement, de la direction générale des Entreprises et de Bpifrance, au travers du dispositif PIAVE (Programme d'investissements d'avenir) en faveur des constellations, Airbus Defence and Space a pu s'entourer d'une vingtaine de fournisseurs français, dont de nombreuses PME et ETI. Le dispositif PIAVE a ainsi permis la mise en place de programmes de développement à la pointe de l'innovation chez chacun de ces industriels, développant ainsi une position française très compétitive sur le marché mondial en forte croissance des constellations de petits satellites en orbite basse.

Le grand système OneWeb et ses neuf cents satellites

Les principaux éléments du grand système OneWeb sont les terminaux de réception pour les utilisateurs, le segment sol de commande et de contrôle et le segment spatial (c'est-à-dire les satellites). Le tout exige des études

système, l'intégration de l'ensemble ainsi que les services de lancement nécessaires pour placer les satellites en orbite.

La société OneWeb, futur opérateur des services, est en charge de l'acquisition du grand système, des opérations et de la commercialisation des services. OneWeb orchestre également la levée des fonds, dont la masse critique est en passe d'être réunie avec des investisseurs du monde entier, tels que Airbus Group, Bharti Enterprises, The Coca-Cola Company, Hughes Network Systems, Intelsat, Qualcomm Inc., Softbank, Grupo Salinas Company...

Pour la conception et la fabrication des neuf cents satellites, clé de voûte du programme considéré, une co-entreprise entre Airbus Defence and Space SAS et OneWeb Ltd a été créée, Airbus OneWeb Satellites SAS.

S'agissant de la conception technique, les satellites OneWeb seront placés en orbite basse, à 1 200 km d'altitude au lieu des 36 000 km, l'altitude de mise en orbite des satellites de télécommunications géostationnaires plus traditionnels. Cela permet de réduire les délais de latence et de couvrir toute la surface de la planète en offrant des connexions à haut débit de plusieurs dizaines de Mbit/s. Mais alors que trois ou quatre satellites géostationnaires à une altitude de 36 000 km pourraient suffire à couvrir totalement la surface de la Terre, il en faut plus de six cents à 1 200 km d'altitude pour assurer le même service.

Il s'agit de microsatellites de 150 kg stabilisés sur leurs trois axes. Chaque satellite émet seize faisceaux en bande Ku couvrant une surface au sol de forme elliptique, dont le grand axe mesure environ 1 500 km.

Les satellites sont équipés d'un système de propulsion entièrement électrique (propulsion plasmique) leur permettant de rejoindre leur orbite et d'assurer le contrôle d'orbite.

Pour produire ces satellites, une première chaîne d'assemblage est aujourd'hui opérationnelle dans l'usine de Toulouse d'Airbus Defence and Space. Elle a permis la mise au point des processus de production, d'assemblage, d'intégration et de tests. Les six premiers satellites, construits à Toulouse, ont été lancés depuis Kourou, en Guyane française, le 27 février 2019.

Pour la production de masse de la constellation OneWeb, deux répliques de cette chaîne d'assemblage ont été installées dans une usine dédiée, située à Exploration Park, près du Centre spatial Kennedy en Floride.

Dès l'ouverture de l'usine américaine, la ligne de Toulouse sera affectée à la construction d'autres constellations et/ou absorbera les éventuelles surcharges des deux lignes américaines.

Lancement du projet : tout le monde dans la même piscine, dans le grand bain !

Quelques semaines seulement après la contractualisation, une équipe industrielle intégrée a été mise en place. Co-localisés à Toulouse, les ingénieurs d'Airbus et leurs

partenaires industriels, recrutés sur leur seule capacité à produire des solutions compétitives, ont su, ensemble et rapidement, prendre les nombreuses décisions clés nécessaires pour relever le défi : les objectifs de coût, de cadence et d'innovation du projet sont exceptionnellement ambitieux, comme jamais encore dans l'industrie spatiale.

De nouvelles méthodes et pratiques inspirées des industries automobile et aéronautique ont été mises en œuvre pour la première fois. Des partenariats avec ces industries, ainsi que des recrutements ciblés, pour une intégration dans l'équipe de la co-entreprise OneWeb Satellites, ont permis des ruptures dans la conception et la production.

De nouvelles méthodes Design-to-Cost, Design-to-Manufacture ou Design-to-AIT ont été mises en œuvre à tous les niveaux du programme pour la sélection des composants, la production des équipements, l'assemblage, l'intégration et les essais du satellite.

La conception collaborative entre les architectes des satellites et ceux des équipements a permis de réduire considérablement les coûts, que ce soit pour la production des équipements ou pour l'assemblage et les essais.

L'expression employée alors par l'un des artisans de ce grand projet était : « On a mis tout le monde dans la piscine. » L'idée directrice était de mouiller tous les partenaires, et ce dès le début du projet.

Le programme Design-to-Cost – Design-to-Manufacture a également permis des avancées significatives dans le domaine de l'hybridation des secteurs spatiaux et non spatiaux. De nombreuses technologies commerciales disponibles « sur étagère » ont pu être utilisées en environnement spatial grâce à des stratégies de qualification optimisées. En particulier, la robustesse des équipements venant du monde automobile s'est avérée satisfaisante.

Grâce à la démarche Design-to-AIT, la conception de chaque élément a intégré dès le début la problématique d'un assemblage très automatisé.

Les techniques de l'industrie 4.0 ont été largement appliquées au monde des satellites : outils intelligents, robots et *cobots*, dialogue entre les outils et les postes de travail, mais aussi avec l'extérieur, automatisation, traitement de lacs de données, simulation numérique et jumeau numérique... Ces technologies ont été employées de façon pragmatique à travers une combinaison d'opérateurs humains, de *cobots* et de robots après analyse poste par poste des options les plus pertinentes.

Une usine du futur conçue pour l'industrie spatiale

Airbus a démontré une capacité industrielle unique au monde, permettant une production pouvant aller jusqu'à quatre satellites par jour. Pour atteindre cet objectif sans précédent, les approches traditionnellement retenues pour la conception, la production, la validation et les tests ont été totalement repensées.

De nombreuses idées d'améliorations disruptives qui

Production OneWeb

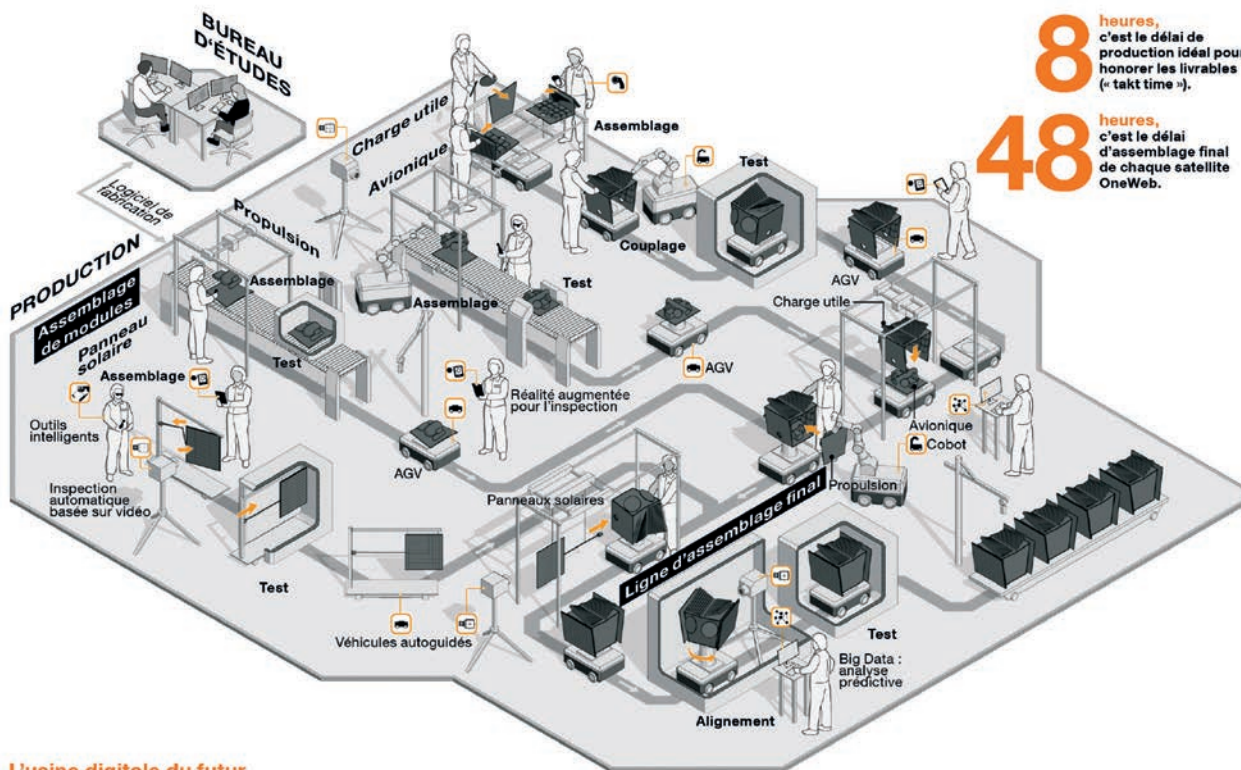
Bureau d'études

Le bureau d'études envoie les instructions d'assemblage et d'essai directement en salle blanche sur les écrans de contrôle des postes de travail.

3 équipes pourront se relayer 24h/24.

8 heures, c'est le délai de production idéal pour honorer les livrables (« takt time »).

48 heures, c'est le délai d'assemblage final de chaque satellite OneWeb.



L'usine digitale du futur



Cobots

Des robots collaboratifs, conçus pour travailler avec les humains, aident les opérateurs à la maintenance et au montage d'équipements lourds.



Big Data

L'analyse statistique des données générées pendant la production aide à détecter des défauts au plus tôt dans les processus.



Contrôle automatique du réchauffage

Des caméras infrarouges contrôlent que les systèmes de chauffage sont correctement fixés aux panneaux des satellites et raccordés électriquement.



Outils intelligents

Des outils géo-localisés reconnaissent les écrous à serrer. Le logiciel central de l'usine indique le couple de serrage et enregistre l'action.



Couplage automatique

Des systèmes mécaniques automatisés assemblent les différents modules de satellite avec un parfait alignement.



Réalité augmentée

Les éléments 3D de la maquette numérique sont superposés directement sur la surface de travail pour aider l'opérateur (Imaginer - Pokémon Go...).



Inspection optique automatique

Des caméras prennent des images du matériel assemblé et les comparent avec une base d'images de référence. Des scanners automatiques 3D contrôlent la géométrie de zones critiques.



Véhicules autoguidés

Des chariots de transport se déplaçant sur des circuits prédéfinis livrent automatiquement les composants, les modules de satellite et les satellites aux différents flots de productions.



Tests automatiques

Des connecteurs de tests rétractables se branchent automatiquement pour réaliser les essais électriques et fonctionnels.

La ligne de production des satellites OneWeb

Il y a cinq flots principaux, chacun composé de plusieurs postes de travail.

Deux opérateurs travaillent sur chaque poste, avec un total de 30 postes de travail pour La ligne d'assemblage final.

Le rythme nominal de travail est d'une vacation par jour, avec la flexibilité de passer à trois vacations par jour si nécessaire.

Figure 1 : Empruntées aux secteurs aéronautique et automobile, de nombreuses technologies digitales et méthodes de fabrication ont été mises au point et adaptées à l'industrie spatiale.

étaient déjà dans les cartons des ingénieurs d'Airbus et de leurs partenaires industriels, n'étaient pas encore passées au stade de réalisation étant jugées insuffisamment rentables au regard du faible nombre de satellites produits. La méga-constellation OneWeb a permis de changer de paradigme en autorisant l'amortissement des investissements sur un volume de... neuf cents satellites !

Le rythme de production (TAKT time) de cette nouvelle capacité industrielle permet de produire deux satellites par jour, et ce pour une seule ligne de production.

Cette capacité de production unique a été démontrée par l'usine Airbus de Toulouse, en 2018. Pour la production de masse de OneWeb, comme indiqué *supra*, ce sont deux nouvelles lignes de production qui ont été installées en parallèle dans l'usine située en Floride, permettant ainsi de doubler la cadence de fabrication et de procéder à la mise en orbite de l'ensemble des satellites composant la méga-constellation en vingt et un tirs, échelonnés sur deux ans.

La France est désormais en avance dans le domaine des méga-constellations de satellites

L'activité industrielle engendrée par le programme OneWeb, incluant la maîtrise d'œuvre et les équipements, a permis de développer et de pérenniser en France des produits, processus et savoir-faire sans équivalent dans le monde spatial.

La part française dans le développement de la constellation OneWeb et de ses constituants est d'environ 65 %, avec des éléments clés des satellites. La part française dans l'équipement des chaînes de production de série est d'environ 50 % (Latesys, Syntony, Assystem, Airbus Safran Launchers, Airbus Defence and Space...).

Environ 30 % des équipements des neuf cents plateformes de série sont conçus et fabriqués en France, notamment une grande partie des équipements stratégiques : calculateur embarqué, viseurs d'étoiles, électronique de pilotage des moteurs électriques, batteries, récepteurs GPS, émetteurs/récepteurs TT&C, réservoirs, câblage électrique...

Capitalisant sur ces investissements et les enseignements tirés du programme OneWeb, l'équipe industrielle propose désormais pour les futures constellations une plateforme générique très compétitive nommée ArrOW, spécialement

conçue pour être fabriquée à forte cadence dans l'usine de Toulouse.

La plateforme ArrOW constitue le cœur du véhicule spatial qu'est le satellite. Elle en assure l'ensemble des fonctions auxiliaires. C'est un système composé d'un très grand nombre de constituants : éléments de structure, alimentation électrique, système de propulsion, calculateurs électroniques, mécanismes, capteurs, actionneurs, réservoirs, protections thermiques, etc.

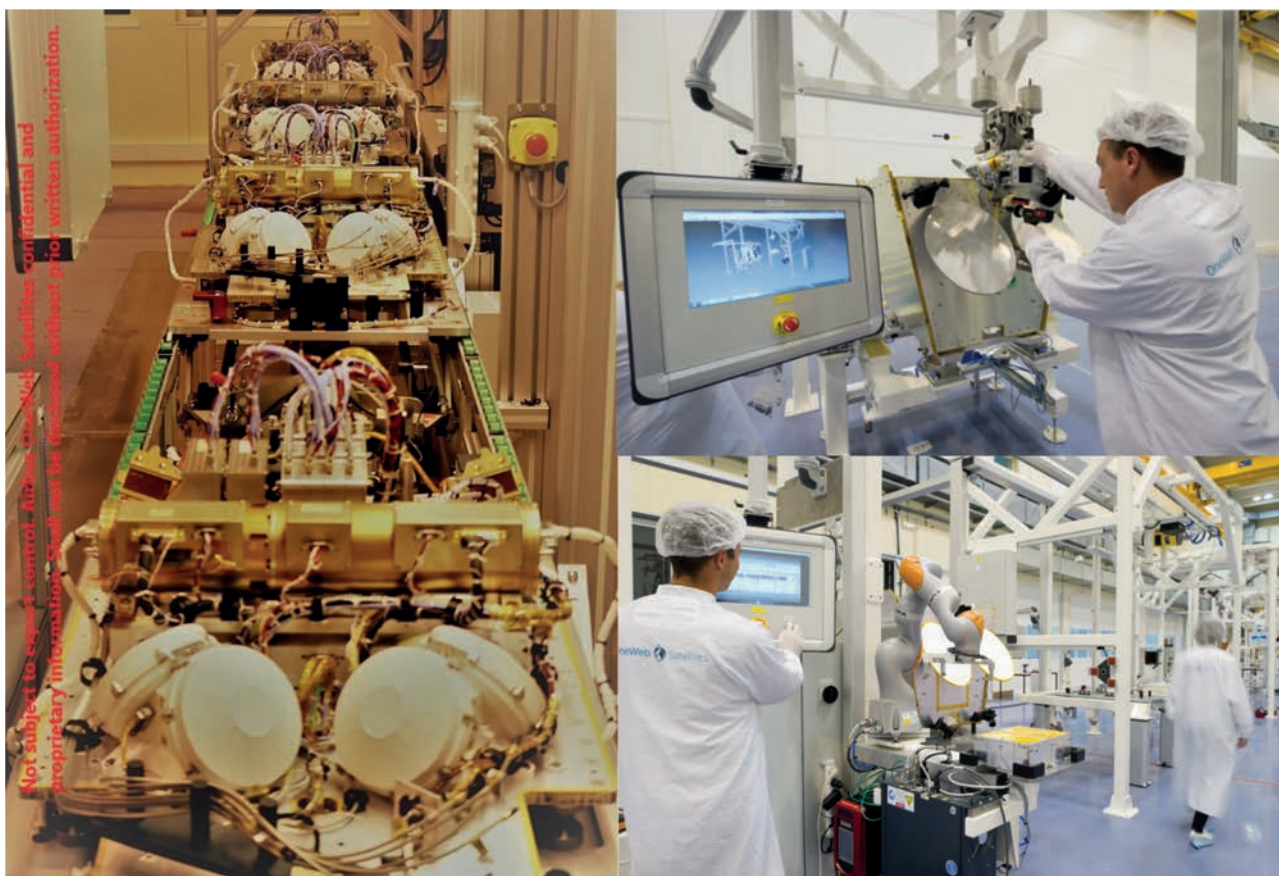
Elle répond à des exigences élevées de fiabilité et de performance liées à l'environnement spatial (phase de lancement, variations extrêmes de température en orbite, radiations, fonctionnement en orbite pendant plus de cinq ans...).

La plateforme ArrOW offre des capacités inégalées dans la classe des satellites de 150 kg en orbite basse. Elle est conçue dans un esprit d'efficacité industrielle et pour s'adapter aux besoins de nombreuses missions (télécommunications, observation de la Terre, surveillance maritime...).

Cette approche permet de repenser complètement le rapport entre le prix unitaire d'un satellite et le nombre de satellites utilisés en orbite.

Les avantages-clés de la plateforme ArrOW sont :

- un standard de haute fiabilité qualifié au travers du programme OneWeb ;



« Capitalisant sur les investissements réalisés par l'industrie française et sur les enseignements tirés du programme OneWeb, une plateforme générique nommée ArrOW a été spécialement conçue pour être fabriquée à forte cadence dans l'usine de Toulouse. »

- une durée de vie en orbite basse d'au moins cinq ans ;
- une compatibilité avec les lanceurs du marché, en lancements dédiés ou partagés ;
- un système de propulsion électrique plasmique offrant une capacité inégalée de remontée de l'orbite ;
- une grande flexibilité, paramétrable en orbite ;
- une puissance garantie en fin de vie de 200 W ;
- le respect des normes de destruction en fin de vie (grâce à la propulsion électrique) pour une utilisation durable de l'espace, notamment en conformité avec la loi sur les opérations spatiales françaises ;
- une capacité à accueillir des charges utiles de poids différents (jusqu'à 60 kilos), par exemple pour observer la Terre.

La plateforme ArrOW, désormais disponible sur le marché international, est une solution pionnière extrêmement économique répondant à de nombreux concepts de constellations en orbite basse dans des domaines d'application variés.

La capacité d'une production en série est déjà effective dans l'usine de Toulouse.

Les perspectives du marché

Nombreux sont les analystes à considérer que le marché mondial des constellations de satellites en orbite basse est en forte croissance. Euroconsult estime le volume du marché à 1,5 milliard de dollars par an et à une centaine de satellites par an, représentant environ 70 % du marché des satellites de classe équivalente à ceux de la plateforme ArrOW.

Des projets sont en gestation dans des domaines aussi variés que les télécommunications, l'imagerie et

l'observation de la Terre, l'Internet des objets, la communication *Machine-to-Machine*, la météorologie, la sécurité maritime, la localisation et le pistage aéronautique, la collecte de données, la surveillance spatiale, des missions scientifiques, la surveillance du spectre de radiofréquence, la validation en orbite de démonstrateurs...

La seconde génération de satellites OneWeb est déjà à l'étude : elle devrait se composer de plus d'un millier de satellites supplémentaires, afficher une capacité cinquante fois supérieure à la génération actuelle, et probablement proposer des liaisons inter-satellites par laser.

La plateforme ArrOW, grâce au faible coût et à la flexibilité qu'elle offre, intéresse également des agences spatiales et est même d'une accessibilité inédite pour des universités, des centres de recherche, des PME, voire des *start-ups*, comme l'illustrent les récents contrats de démonstrateurs passés par deux d'entre elles avec l'Agence spatiale européenne (ESA), pour le projet IODA, et la Darpa, l'agence de recherche américaine, pour le programme Blackjack.

OneWeb a été un véritable catalyseur de transformation pour toute la filière. Grâce à Airbus et à un soutien réactif de la France, la filière spatiale française est désormais bien positionnée sur les méga-constellations. Alors que les opérateurs de satellites sont à la recherche de solutions toujours plus économiques, les enseignements et brevets issus de OneWeb, la ligne de production de Toulouse, la plateforme ArrOW et les équipements à très bas coût bientôt qualifiés en orbite sont autant d'atouts pour provoquer ou saisir de nouvelles opportunités sur le marché en mutation des constellations de satellites.