

Le programme des séances d'exploration de l'univers spatial est engagé par l'Observatoire de l'Espace, le laboratoire culturel du CNES dans la perspective d'ouvrir de nouveaux champs d'inspiration ou de nourrir ceux abordés par les auteurs et artistes qui gravitent autour de l'Observatoire de l'Espace, et plus particulièrement les résidents du programme Création et imaginaire spatial.

La quatrième séance a ouvert une nouvelle série sur les « formes et nécessités » des véhicules spatiaux qui se poursuit avec l'étude des satellites et des véhicules interplanétaires qu'utilise la recherche spatiale depuis plus de cinquante ans pour mener à bien des expériences inédites. Comment sont déterminées leurs formes et leurs caractéristiques techniques ? En fonction de quelles contraintes de fabrication et de mise en œuvre, de quels objectifs scientifiques et technologiques ?

Séances d'exploration de l'univers spatial

Séance n°5 : Formes et nécessités des satellites et des véhicules interplanétaires

Observatoire de l'Espace, laboratoire
culturel du CNES

Séances d'exploration de l'univers spatial

Dans la perspective d'ouvrir de nouveaux champs d'inspiration ou de nourrir ceux abordés par les auteurs et artistes qui gravitent autour de l'Observatoire de l'Espace, et plus particulièrement les résidents du programme Création et imaginaire spatial, l'Observatoire de l'Espace, le laboratoire culturel du CNES a ouvert un programme triennal de séances d'exploration de l'univers spatial.

Chaque séance d'exploration aborde une notion qui revient régulièrement dans les projets d'artistes et d'écrivains du programme, afin de donner accès à un large savoir sur le thème évoqué. Témoignages d'acteurs du monde spatial, exposés de chercheurs en sciences exactes ou en sciences humaines, présentation de documents d'archives documentaires ou audiovisuelles composent le programme de chaque séance. Un temps d'échanges et de discussion est également réservé à la fin de chaque séance entre les participants et avec les intervenants.

Un premier cycle de séances d'exploration a été consacré à ce que l'Espace fait à l'homme en s'intéressant aussi bien aux effets sur le corps que sur l'esprit et aux moyens d'habiter cet espace.

Un deuxième cycle a été engagé lors de la dernière séance, consacrée aux ballons stratosphériques, qui traite des « formes et nécessités » des véhicules spatiaux. La cinquième séance a poursuivi cette thématique en se consacrant aux différents satellites et véhicules interplanétaires qu'utilise la recherche spatiale depuis plus de cinquante ans pour mener à bien des expériences inédites.

Comment sont déterminées leurs formes et leurs caractéristiques techniques ? En fonction de quelles contraintes de fabrication et de mise en œuvre, de quels objectifs scientifiques et technologiques ?

Un ingénieur du domaine spatial spécialiste des architectures d'objets spatiaux, Pierre Bousquet, et un illustrateur qui a dessiné pendant près de 30 ans les principaux satellites français et européens, David Ducros, ont donné quelques éléments de réponse à ces questions.

Leurs interventions ont été introduites par des extraits d'archives et les interventions ont été commentées par une discutante, Elsa de Smet, historienne de l'art, pour mettre en perspective ce qui a été énoncé.

Michel Viso, du Centre national d'études spatiales (CNES), a animé cette séance et donné la parole aux participants.

Programme

La séance s'est construite autour de trois moments :

- **Représentations contraintes des objets spatiaux** : David Ducros est illustrateur spécialisé en objets spatiaux. Il a expliqué comment la représentation de ces objets doit à la fois allier la véracité, en prenant en compte les spécifications techniques, et une certaine séduction de l'image.
- **Formes et nécessités des satellites en orbite terrestre** : Pierre Bousquet est spécialiste des architectures spatiales au CNES. Il a présenté une histoire des satellites en orbite terrestre ou comment les formes évoluent en fonction des technologies et des objectifs.
- **Formes et nécessités des véhicules interplanétaires** : Pierre Bousquet a repris la parole après la présentation d'une archive pour évoquer les véhicules interplanétaires et l'évolution de leur architecture selon leur mission au fil du temps.

1. Les contraintes générales

Tout est calculé dans un satellite dans un souci d'optimisation et de performance. Ainsi, la forme d'un satellite est guidée par quatre grands domaines de contraintes : le milieu spatial qui impose certaines protections, la coiffe du lanceur qui impose une taille, le fonctionnement même du satellite et ses objectifs scientifiques qui imposent des instruments. Il s'agit donc avant tout d'une architecture utilitaire où tout est calculé dans un souci d'optimisation et de performance.

De plus, les contraintes économiques et techniques qui entrent en jeu imposent ce souci d'optimisation tandis que l'obligation de résultat pèse sur la conception même du satellite. Avant même son déploiement dans l'espace, le satellite est donc un objet contraint où le design est avant tout imposé par le meilleur agencement interne ainsi que par la garantie de son fonctionnement (par exemple la forme et l'orientation des panneaux solaires dictées par le souci d'obtenir le plus d'énergie possible).

Les contraintes du milieu spatial (par exemple les rayonnements cosmique ou le froid) jouent indirectement sur l'ensemble des autres contraintes, elles vont par exemple imposer un contrôle thermique pour garantir le bon fonctionnement des instruments qu'il emporte et donc un choix de matériaux particuliers et d'aménagement interne en rapport. Certains instruments ont besoin d'être froids pour réaliser leur mesure, ils doivent donc être éloignés de la propulsion qui dégage de la chaleur. L'architecture du satellite est donc tributaire également de ses composantes et de son fonctionnement puisqu'il doit avoir un mode d'énergie, et un moyen de propulsion.

De plus, la forme, le design, d'un satellite est toujours tributaire de sa fonction. Un satellite de télécommunication n'aura pas la même forme qu'un satellite d'observation de la Terre, etc. Leur fonction n'est pas la même et ils n'emportent pas les mêmes instruments à leur bord.

Enfin, sa dernière contrainte formelle est externe, il doit pouvoir entrer dans la coiffe du lanceur, ce qui limite sa taille et sa forme. C'est notamment par des systèmes de pliage complexes que des satellites imposants peuvent être lancés par les fusées actuelles. Une fois dans l'espace, le satellite prendra sa configuration opérationnelle.

Tous ces impératifs scientifiques, technologiques et ces garanties dues de bon fonctionnement, impactent l'architecture et l'agencement des satellites dont la forme est finalement produite par les nécessités.

2. Le métier d'illustrateur

Archive



L'intervention a été précédée d'extraits d'archives vidéo Gaumont et INA évoquant le premier satellite artificiel, *Sputnik* de conception soviétique, puis d'un sujet sur le satellite à l'occasion de l'année géophysique internationale 1957 (un ensemble de recherches, coordonnées à l'échelle mondiale, menées entre juillet 1957 et décembre 1958, lors d'une période d'activité solaire maximum, en vue d'une meilleure connaissance des propriétés physiques de la Terre et des interactions entre le Soleil et notre planète). On voit le transport par deux hommes du satellite *Sputnik* lors de l'exposition *Terre et Cosmos* en 1958, exposition voulue par la Société pour la Recherche Spatiale allemande sur les avancées technologiques de l'espace pour attirer le grand public grâce à des installations ludiques et des illustrateurs de renom à côté du troisième Congrès International d'Astronautique. Voir le satellite être simplement porté par deux hommes pour entrer dans l'exposition nous rappelle que cette révolution scientifique et des mentalités a commencé à échelle humaine.

Intervention de David Ducros

Les débuts, évolution technologique

Les illustrations d'objets spatiaux ont commencé à être réalisées dans une volonté de rendre visible l'invisible et donc, de communiquer. Au début la technique d'illustration était basée sur le dessin qui s'inspirait lui-même de dessins techniques et de photographies de l'objet fini. L'illustrateur doit alors rendre une « vue d'artiste » de l'objet qui mêle aspects scientifiques de la mission et sa finalité ainsi qu'une lisibilité de l'image permettant une communication auprès d'un public le plus large possible. Il doit donc réaliser une sorte de grand écart entre un respect minutieux de la réalité, notamment technologique de l'engin, et la création d'une image frappante, « belle ». L'illustration est ici une question de compromis entre la crédibilité scientifique de l'objet et une transgression artistique « améliorant » la réalité de l'objet.

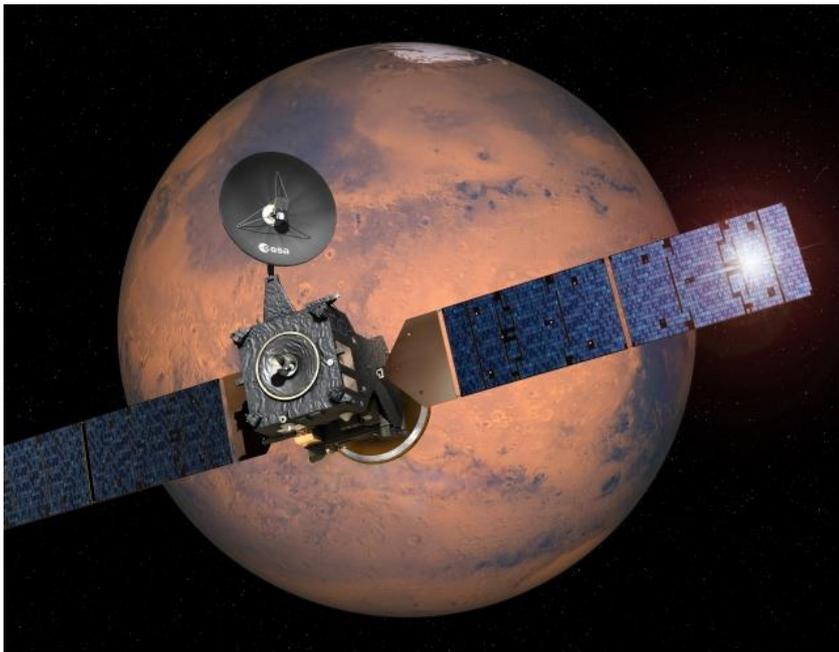
Les débuts de l'ordinateur ont entraîné une évolution dans le métier d'illustrateur en permettant de travailler non plus d'après une image déjà faite du satellite mais avec les plans augmentés de différentes vues. De plus, le travail sur ordinateur apporte une liberté de retouche qui n'est pas possible avec le travail manuel. Les ingénieurs et techniciens se mettent aussi à utiliser des logiciels et à créer des modèles 3D techniques

qu'ils vont ensuite transmettre aux illustrateurs. Ces modèles leur servent ensuite de base pour appliquer des jeux de textures, de lumière et de matière.

Marier science et communication

Tout le problème de l'illustration est d'apporter une représentation de la réalité d'une mission spatiale. Il existe globalement deux types d'images : les symboliques présentant toutes les phases de la mission en une seule vue, et les conceptuelles qui montrent l'objet quittant la Terre et son voyage.

Dans ce tiraillement entre crédibilité scientifique et lisibilité/attractivité de l'image, certaines créations satisfont tout le monde tandis que d'autres sont plus problématiques. En effet, pour montrer les missions il faut parfois transgresser la réalité scientifique à des fins de communication, avec l'accord des ingénieurs. Il faut alors trouver un compromis. Les couleurs sont notamment problématiques, par exemple, souvent la sonde spatiale d'exploration est noire de par son matériau d'isolation thermique et elle se trouve sur le fond noir de l'espace. L'illustrateur doit alors rendre l'objet visible sur son image, il ajoute donc des effets qui n'existent pas dans la réalité comme des ajouts de couleurs, des éclaircissements, ou encore l'enlèvement de la protection pour donner à voir les instruments. Un exemple avec la figuration de la sonde TGO, *Exomars*, entièrement noire. L'ajout de bleu dans les panneaux solaires, de reflets et le contraste apporté par Mars en arrière-plan, permettent de rendre une image lisible.



Il existe également des images qui sont très proches de la réalité scientifique. Par exemple l'illustration de *Philae*, l'atterrisseur de la mission *Rosetta*, réalisée à partir de modèles 3D des roches de la comète, elle montre également l'atterrisseur dans sa bonne position.



Ici, les données télémétriques et scientifiques permettent à l'illustrateur de rendre une image la plus fidèle possible à la réalité.

Quand le réel ne peut être décrit

Parfois, l'illustrateur intervient en amont dans le projet, avant que les formes exactes soient définies et doit proposer un visuel avant même que l'objet spatial soit terminé. C'est aussi une question de temporalité de la mission spatiale qui rend une représentation irréaliste. Par exemple avec les mondes lointains et les missions comprenant une sonde et un atterrisseur. L'image va bien souvent représenter l'atterrisseur détaché de la sonde avant que dans la réalité la sonde ne se soit approchée de la planète.

Le problème le plus flagrant que rencontre les illustrateurs dans leur souci de coller à la vérité scientifique est avec les exoplanètes où il faut figurer un monde qui n'a pas encore été exploré. Il s'agit de créer une image symbolique qui montrera ce qu'est la mission ce qui implique forcément une transgression avec la réalité pour la rendre lisible et compréhensible. Car, si l'image doit être « véridique » et « séduisante » elle doit avant tout être comprise et lue. Un exemple est cette image de *Titan* qui montre les différentes phases d'atterrissage de la sonde Huygens.



On aperçoit Jupiter à travers les nuages et l'image figure des falaises ainsi qu'une étendue liquide. En réalité, la sonde a montré une réalité bien différente, une surface entièrement glacée.



Ainsi, avant les premiers résultats, l'illustrateur peut recourir à son imagination pour figurer les hypothèses des scientifiques.

Cette liberté artistique est moins présente dans l'illustration des satellites qui sont des objets connus orbitant dans un environnement connu. Souvent, illustrer un objet spatial c'est essayer d'apporter une part d'onirisme et de poésie dans les interstices laissées par la vérité scientifique. Il est tentant pour mériter le terme de vue d'artiste d'ajouter des choses frappantes, esthétiques, comme des nébuleuses d'étoiles mais, souvent, il leur est demandé de coller à la réalité photographique et donc de gommer cet onirisme et cette poésie. L'illustration d'objets spatiaux est finalement un exercice d'équilibriste dont l'objectif est de donner à voir la réalité scientifique de l'exploration de l'univers.

Commentaire d'Elsa De Smet

Les images réalisées par l'illustrateur doivent être désirables et donner clairement envie d'aller dans l'espace. Elles doivent contenir une certaine dramaturgie qui met en scène et narre la mission. Toutefois, pour coller à cette contrainte de la véracité, les illustrateurs eux-mêmes en viennent sans doute à s'auto-censurer pour éviter de trop en faire, de rendre l'image trop séduisante, de pénétrer trop avant dans l'imaginaire et la fantasmagorie de la mission spatiale.

Il est intéressant de constater que c'est toujours un monde « sans peur » qui est présenté, un monde tranquille où la catastrophe n'a pas cours. Ainsi ces images s'inscrivent dans une lignée de la vulgarisation technologique d'esprit positiviste, voire humaniste qui pourrait nous faire remonter jusqu'à une histoire culturelle du temps de l'Encyclopédie de Diderot et D'Alembert.

3. Les contraintes des satellites

Archive :

L'intervention de Pierre Bousquet était précédée par la lecture d'un extrait du texte ethnologique de Marcel Griaule, *Dieu d'eau*, qui est une restitution minutieuse de la culture dogon (Mali) à partir d'entretiens avec Ogotemmêli, un vieux chasseur aveugle, en 1946. Avec cet ouvrage, dans une présentation volontairement non-scientifique et littéraire, Marcel Griaule, ancien aviateur devenu ethnologue, fait œuvre singulière en livrant la parole d'Ogotemmêli dans sa complexité et sa poésie, avec toutes les difficultés que ressent l'auteur pour la comprendre et l'ordonner selon sa formulation propre. Il revient ainsi plusieurs fois sur le récit de la descente du ciel d'un grand ancêtre, un Nommo, le Forgeron, et sur la description de son vaisseau, un panier renversé, aux côtés munis d'escaliers et consolidés de pisé ou « terre pure ».

Cet extrait parle d'un véhicule spatial mythologique, dépassant l'ethnocentrisme habituel. Le voyage qu'il décrit prend en compte les dangers de l'espace et les contraintes qui pèsent sur le véhicule, tant en terme de propulsion que de sécurité. La forme et le « design » jouent ici un grand rôle symbolique et pratique.

Sixième journée

La troisième parole, la descente du grenier de terre pure et la mort

L'ancêtre constructeur avait rassemblé sur la terrasse les outils et appareils d'une forge. Car son rôle futur était d'apporter aux hommes le fer pour leur permettre de cultiver.

L'ancêtre forgeron était armé d'un arc de fer et de flèches-fuseaux. Il en lança une dans la terrasse du grenier, au centre du cercle figurant la lune ; il entourait la tige d'un long fil de la Vierge qui forma bobine. Ainsi l'édifice entier était une énorme fusaiole. Prenant une seconde flèche à laquelle il attachait l'autre extrémité du fil, il la décocha

dans la voûte du ciel pour servir de point d'appui.

Ce qui allait descendre était une somme de symboles :

Au premier chef, le grenier merveilleux était le système du monde orienté, classé en catégories d'êtres.

Il était le panier tressé qu'avait imité son constructeur et dont les hommes devaient faire leur unité de volume.

Il était le grenier modèle dans lequel les hommes allaient engranger leurs récoltes.

Il était la fusaiolle, masselotte du fuseau que le Forgeron avait décoché dans sa terrasse et qui servait d'axe au bobinage du fil de descente.

Tout était prêt pour le départ. Mais le feu de forge manquait. L'ancêtre se glissa dans l'atelier des grands Nommo qui sont les forgerons du ciel et il vola un morceau de soleil sous la forme d'une braise et de fer incandescent. Il le saisit à l'aide d'un « bâton de voleur » dont la crosse recourbée se terminait par une fente ouverte comme une bouche. Perdant des braises, revenant sur ses pas pour les reprendre, il s'enfuit vers l'édifice dont il ne retrouva plus les issues dans son émoi. Il en fit plusieurs fois le tour avant d'escalader les degrés et de gagner la terrasse où il cacha son larcin dans l'une des peaux du soufflet.

Sans perdre un instant, le Forgeron lança le tronc-de-cône-pyramide le long d'un arc-en-ciel. Sans que l'édifice tournât sur lui-même, le fil se déroulait en serpent, image du cheminement de l'eau.

Sa masse et son arc en mains, le Forgeron se tenait prêt à se défendre contre l'espace. Mais l'attaque fut inattendue : dans un bruit de tonnerre, un brandon lancé par le Nommo femelle atteignit la terrasse. Le Forgeron, pour se protéger, saisit l'une des peaux du soufflet et la brandit au-dessus de sa tête, créant ainsi le bouclier. La peau, par le fait qu'elle avait reçu le morceau de soleil, était devenue d'essence solaire et le feu du ciel ne prévalait pas contre elle. Puis l'ancêtre éteignit avec l'eau de son outre le bois enflammé qui incendiait l'édifice.

Un autre coup de foudre suivit le premier, lancé cette fois par le Nommo mâle. Mais il n'eut pas plus d'effet.

L'édifice poursuivit donc sa route le long de l'arc-en-ciel. Il allait seulement plus vite du fait de la poussée donnée par les foudroiements.

Dans cette descente, l'ancêtre avait encore la qualité de génie de l'eau et son corps, bien qu'ayant gardé une apparence humaine du fait qu'il s'agissait d'un homme régénéré, était pourvu de quatre membres souples comme des serpents, à l'image des bras des grands Nommo.

Le sol approchait rapidement. L'ancêtre était toujours debout, bras en avant, masse et enclume en travers des membres. Survint l'impact final qui se produisit au bout de l'arc-en-ciel, là où il touchait la terre. Le choc dispersa dans un nuage de poussière les animaux, les végétaux et les hommes échelonnés sur les marches.



Intervention de Pierre Bousquet

Les principales contraintes jouant sur la forme d'un satellite sont le pointage, la communication avec la Terre, l'énergie, les instruments embarqués selon la mission, le contrôle thermique et la propulsion. Cet ensemble joue sur le design du satellite ainsi que l'extérieur qui l'entoure, c'est-à-dire l'espace. Ainsi, il ne doit pas y avoir d'ombre portée sur les panneaux solaires et le radiateur thermique doit être face à l'espace froid et non vers la Terre ou le Soleil. De plus, tout doit être plié pour tenir dans la coiffe du lanceur ce qui entraîne une relation simple et directe entre lanceurs et satellites et crée des standards de géométrie.

La première génération de satellites était une génération simple et passive, comme le *Sputnik* qui n'emportait aucun instrument et ne possédait pas de système de pointage. Le choix de la sphère comme forme du *Sputnik* est en revanche une énigme car cela ne présente pas forcément d'avantage dans l'espace. De même, le satellite de géodésie *Starlette* est simple, sans communication ou problème thermique et sans pointage en attitude.

Les satellites de télécommunication

Un satellite de télécommunication est un satellite qui possède des antennes réfléchissant les signaux qu'il reçoit à des antennes sur Terre. Il a donc besoin d'un pointage précis et d'être sur une orbite géostationnaire pour toujours viser le même point sur Terre. Il est donc tourné vers la Terre en permanence et possède, sur ses côtés sud et nord, des panneaux solaires tournant sur un axe pour suivre le soleil. Cela donne des panneaux toujours rasants par rapport au soleil donc froids, donc idéal pour le radiateur thermique. Il n'y a plus que trois côtés utilisables, le côté est/ouest pour les réflecteurs et l'antenne et le dernier côté pour la propulsion et l'accroche au lanceur. Cela donne un schéma global universel pour les satellites de télécommunication.

Les satellites d'observation de la Terre

Ces satellites évoluent rapidement à cause des technologies de prise de vue. Un des premiers satellites d'observation, l'américain *Keyhole*, faisait 18 à 20m mais possédait

une technologie rudimentaire qui lui donnait un temps de vie court. Il avait des caméras à pellicules argentiques et il larguait ces pellicules dans des capsules qui étaient récupérées par avion. Une fois les pellicules épuisées, le satellite ne servait plus à rien. Depuis, les détecteurs numériques ont révolutionné l'architecture de ces satellites. Il n'y a pas une seule forme comme les télécommunications mais une grande variété. Ainsi, *Pléiades* est compact avec un centre de gravité qui lui permet de tourner sur lui-même et d'être manœuvrable. Il est alors inutile d'avoir un panneau solaire orientable puisque c'est le satellite qui tourne.

Il faut faire des compromis pour respecter toutes les contraintes (panneaux solaires, antennes etc.). Le CNES et d'autres agences ont émis des recommandations pratiques touchant aux matériaux, aux technologies et à la robustesse (les parties fragiles doivent être placées au cœur du satellites pour leur protection) dans le cadre du code de destruction des satellites.

Les cubesats : la miniaturisation

Ce sont des unités empilables avec un cahier des charges mis à jour régulièrement qui définit très précisément les caractéristiques externes, certaines caractéristiques internes pour des raisons de sécurité et les tests que les développeurs doivent satisfaire avant le lancement. Par essence leur forme est celle d'un cube.

Les contraintes du lanceur

Les coiffes de lanceur ont une taille définie, le satellite doit entrer dedans. Il y a une notion d'origami avec le déploiement. La technique de fabrication est répétitive, les structures métalliques avec moins de contraintes de construction permettent de nouvelles formes pour la carcasse du satellite.

Il y a des contraintes d'intégration (souder, mettre des films, pas de vibrations etc.), des contraintes de propreté dans la salle blanche et une difficulté de travail, bref, les contraintes de fabrication entraînent des formes simples.

4. Les contraintes des sondes (par éloignement de la Terre)

Archive :

Un extrait vidéo a été projeté, il présentait des projets de sondes soviétiques et américaines ainsi qu'un satellite observatoire. Il s'agit d'un changement de point de vue par rapport aux satellites, on se tourne vers l'espace pour un voyage sans retour.



L'archive russe était sur les sondes *Mars 5* et *6*, leurs différents instruments et l'ensemble du véhicule. Cette sonde soviétique d'exploration de la planète Mars lancée en 1973 a réussi à se placer sur une orbite équatoriale et elliptique (apogée 32 560 km et périhélie 1 760 km). La sonde, en plus de données atmosphériques, envoya 60 images de la surface de la planète. Elle découvrit une ceinture d'ozone qui entoure la planète à 30 km d'altitude.



L'observatoire *Signe 3*, lancé le 17 juin 1977 par un *Cosmos-3M* depuis la base de Kapoutine Yar, rejoint une orbite basse (517 km x 458 km). Les données sont recueillies par trois stations françaises (Toulouse, Kourou et Pretoria) et cinq américaines. L'enregistreur tombe en panne en mars 1978 et le satellite rentre dans l'atmosphère le 22 juin 1979. Les résultats ont été à la hauteur de ce que les scientifiques attendaient, avec notamment de nouvelles sources de sursauts gamma détectées.



La sonde *Mariner 10*, développée par l'agence spatiale américaine, la NASA, et lancé le 3 novembre 1973, est le premier engin spatial qui s'approche de Mercure. Il survole la planète à trois reprises en 1974 et 1975. Pour atteindre la planète la sonde utilise pour la première fois la technique de l'assistance gravitationnelle en passant à faible distance de la planète Vénus. Équipée d'une caméra, d'un magnétomètre et de plusieurs spectromètres *Mariner 10* a permis notamment la découverte d'un champ magnétique significatif et de la forte densité de la planète révélatrice d'un noyau ferreux de grande taille. Les photos prises par *Mariner 10* ont permis de cartographier près de 45 % de la surface de la planète avec une résolution d'environ 1 km et de révéler une surface ancienne couverte de cratères à l'apparence très proche de celle de la Lune. Le 25 mars 1975, *Mariner 10* ne dispose plus de carburant pour pouvoir manœuvrer.

Intervention de Pierre Bousquet

Contrairement aux objets spatiaux orientés vers la terre que nous avons vu précédemment, les satellites d'exploration de l'univers portent des objectifs scientifiques variés qui les différencient structurellement les uns des autres. Les formes sont ainsi plus diversifiées parmi ces objets.

Les observatoires : pointés vers l'espace

Les observatoires spatiaux sont des télescopes en orbite dont la taille est soumise à celle des coiffes de lanceurs, aux techniques de pliages et aux possibilités de le déployer dans l'espace. Cela configure notamment le diamètre du miroir du télescope, outil primordial. Le télescope *Hubble* est le plus connu et a une durée de vie exceptionnelle car il a été possible de le réparer à partir de la navette spatiale américaine. Il est positionné en orbite basse, accessible, mais cela représente un inconvénient pour l'observation puisqu'il subit toujours la pollution lumineuse de la Terre.

(https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/spacecraft/index.html).

Le prochain télescope spatial doit ainsi dépasser *Hubble*, non seulement par sa taille et son déploiement mais aussi par son orbite. Le *James Webb Space Telescope* sera placé sur un point de Lagrange, loin de la Terre il ne subira plus sa pollution lumineuse et permettra de nouvelles observations de l'univers.

(https://fr.wikipedia.org/wiki/Point_de_Lagrange)

Là où *Hubble* avait une forme tubulaire, le *James Webb Space Telescope* ressemblera plutôt à un voilier. Le miroir de ce télescope est trop grand pour être contenu dans une coiffe de lanceur, il est donc composé de différents segments qui

se déploieront dans l'espace, une fois sa position atteinte. La taille du miroir n'est ainsi plus tributaire du diamètre des lanceurs. La précision du déploiement de ce télescope doit être au micron près. On atteint ici la limite de ce qui est raisonnable dans la conception d'un satellite car tout doit se déployer à une distance de la Terre qui ne permet pas d'intervention de correction. Le risque est ainsi très élevé. (<https://www.youtube.com/watch?v=bTxLAGchWnA>)

Pour dépasser ces limites du déploiement, on utilise ce qu'on appelle un instrument étendu, soit plusieurs satellites qui constituent ensemble un instrument. Ce sont des satellites coopératifs.

Ces télescopes peuvent avoir pour mission la cartographie de la galaxie comme le satellite *Gaia* qui possède deux télescopes optiques et a une forme de soucoupe (<https://gaia-mission.cnes.fr/fr>). L'important pour *Gaia* est de rester stable, aucune vibration ne doit venir déranger son pointage des étoiles mais il doit également rester stable thermiquement pour ses mesures. D'où son architecture originale et unique parmi les satellites.

L'exploration en mouvement : les sondes

La contrainte principale des sondes d'exploration est la distance entre les planètes du système solaire. Les rapports entre propulsion et masse au lancement impliquent que plus on veut aller loin, plus l'objet doit être petit. L'architecture de chaque sonde est intrinsèquement liée à l'objet qu'elle va observer. La sonde *Parker* doit se rapprocher du Soleil, elle possède donc des boucliers thermiques très performants dans un matériau spécial et les instruments doivent être cachés derrière ces boucliers en raison de sa proximité avec l'étoile.

(<https://svs.gsfc.nasa.gov/12729>)

La sonde *BepiColombo* doit, elle, atteindre Mercure, la planète la plus proche du Soleil. Elle est un exemple d'une particularité des missions interplanétaires : l'étagement. Chaque étage est inventé pour la mission, en fonction des objectifs scientifiques. *BepiColombo* est ainsi à la fois une sonde et un atterrisseur, chacun portant leurs propres instruments.

(<http://sci.esa.int/bepicolombo/>)

La sonde *Vega* a elle aussi des particularités dans sa conception, son architecture est caractéristique de la technologie de refroidissement utilisée par les russes, l'azote, et l'utilisation de l'air comprimé pour la protection des instruments. Tout comme *BepiColombo*, elle s'approche du Soleil en allant explorer Vénus et doit donc disposer de boucliers thermiques efficaces.

(https://fr.wikipedia.org/wiki/Programme_Vega#La_sonde_Vega)

La sonde *Hayabusa 2* doit atteindre un astéroïde et récolter des échantillons elle possède ainsi une architecture unique car en plus de l'emport d'un atterrisseur, elle est dotée d'une trompe. Une carabine va tirer sur la matière de l'astéroïde pour en éjecter des morceaux dont certains rentreront dans la trompe qui se refermera avant de rentrer sur Terre. Elle doit aussi lancer un obus sur l'astéroïde pour faire un cratère et permettre la récupération d'échantillons du cœur de l'astéroïde. Cette opération est dangereuse car elle va produire de nombreux débris qui vont être projetés dans l'espace et risquent d'endommager la sonde. Pour éviter ça, *Hayabusa*, après le largage, doit aller se mettre à l'abri de l'autre côté de l'astéroïde et laisse une caméra « kamikaze » qui est en fait un cubesat. L'architecture de la mission met ainsi à profit la technologie miniaturisée.

(<http://global.jaxa.jp/projects/sat/hayabusa2/>)

La sonde TGO, mission *Exomars*, a besoin de grands panneaux solaires pour réussir à capter le Soleil depuis Mars, sa source d'alimentation, ainsi que de grandes antennes orientables à la demande ce qui représentent des difficultés techniques. Ces contraintes sont dues à la distance entre Mars et la Terre et à la distance entre Mars et le Soleil. L'énergie et la communication deviennent problématiques passées une certaine distance. Avec Mars, on commence à atteindre les limites de ces technologies.

(https://exomars.cnes.fr/fr/EXOMARS/Fr/GP_tgo_2016.htm)

On l'aura compris des exemples précédents, l'exploration des planètes éloignées du système solaire demandent une autre architecture. L'éloignement du Soleil rend inopérant la technologie du panneau solaire même de très grande taille. Ainsi les missions vers Jupiter ou Pluton utilisent une source d'énergie radioactive, des blocs de plutonium, pour produire l'énergie électrique nécessaire à leur fonctionnement. Cette énergie a un avantage, elle développe de la chaleur ce qui lutte contre le froid de l'espace, les sondes doivent d'ailleurs posséder une isolation thermique importante pour se protéger du froid lorsqu'elles sont loin du Soleil. Il y a aussi des inconvénients, la radioactivité nuit à l'électronique et pose la question du lancement. En effet, en cas d'explosion du lanceur, la source radioactive doit être contenue dans un packaging résistant. Enfin, en ce qui concerne la communication, il faut toujours une grande antenne pour communiquer avec la Terre et la durée de transmission est de plus en plus longue, les données de la sonde *New Horizon* qui explore Pluton nécessitent par exemple un an de téléchargement.

(<http://pluto.jhuapl.edu/Mission/index.php>)

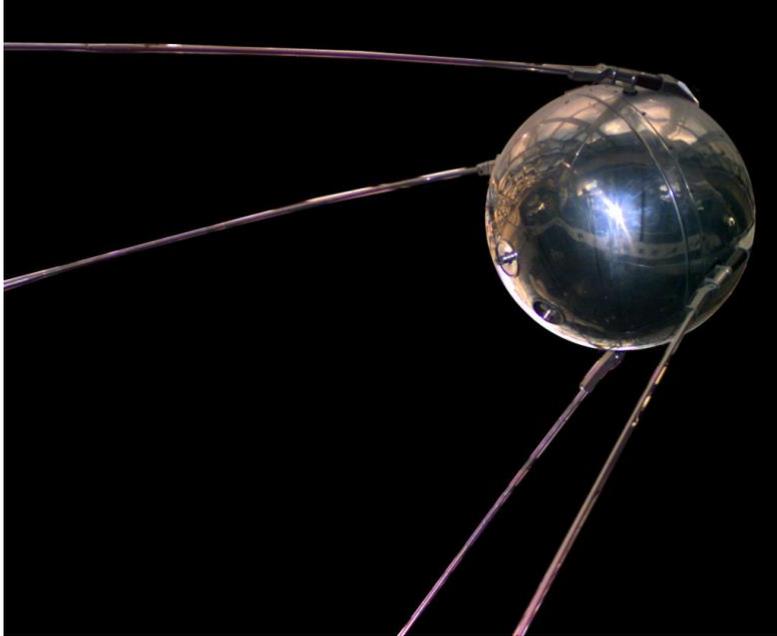
Commentaire d'Elsa De Smet

Deux artistes en résidence à l'Observatoire de l'Espace travaillent sur l'univers des formes des satellites comme source d'inspiration esthétique. Théodora Barat, en particulier, a révélé un lien entre la forme de ces objets et l'art minimal américain des années 1960. Au-delà de la forme intrinsèque des objets, la dimension « spatiale » de l'art minimal semble également pertinente pour interroger ces objets, puisqu'il s'agissait, pour les artistes de l'époque, de fabriquer des volumes qui modifiaient la perception de l'espace pour le visiteur à l'intérieur d'un lieu d'exposition. Les satellites sont eux-mêmes des objets qui s'ajoutent dans un espace et qui sans doute doivent prendre en compte le rapport avec leur environnement alentour. Le propos est peut-être renversé dans leur cas et l'on peut se demander dans quelle mesure leur discrétion ou leur présence dans l'Espace est prise en compte au moment de leur fabrication.

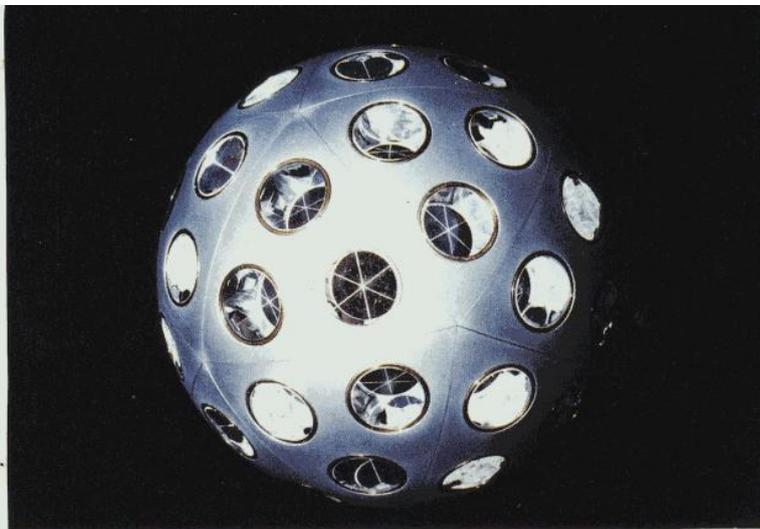
Galerie

Les satellites passifs:

Sputnik



Starlette



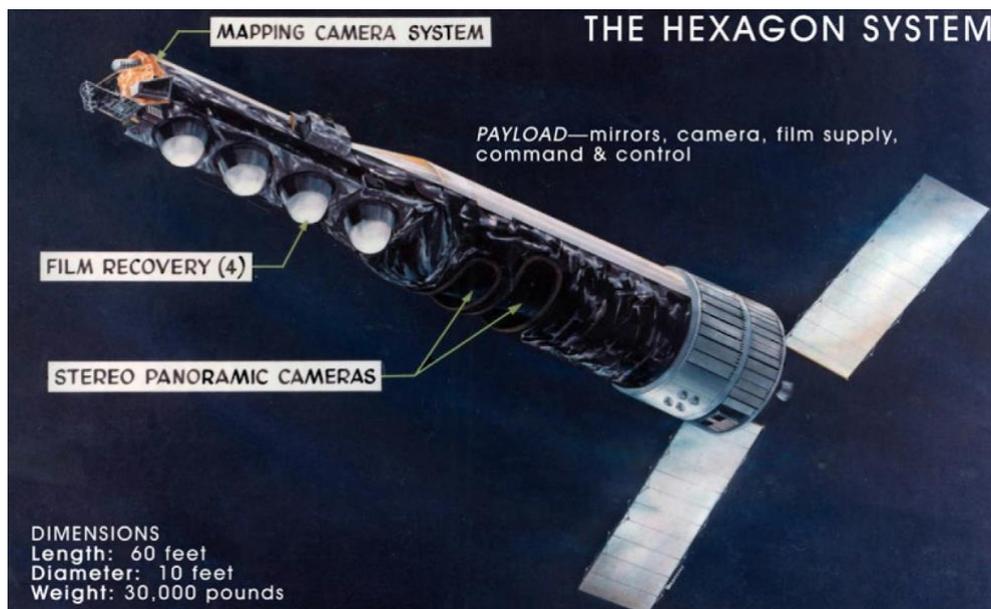
Les satellites de télécommunication :

Inmarsat



Les satellites d'observation :

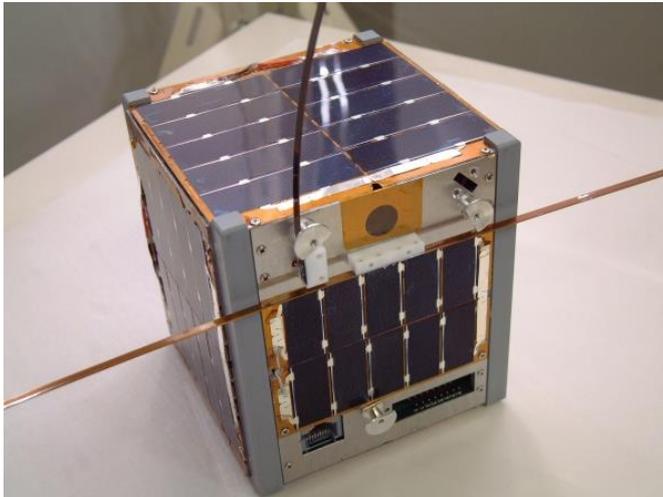
Keyhole



Pléiade



Les cubesat :

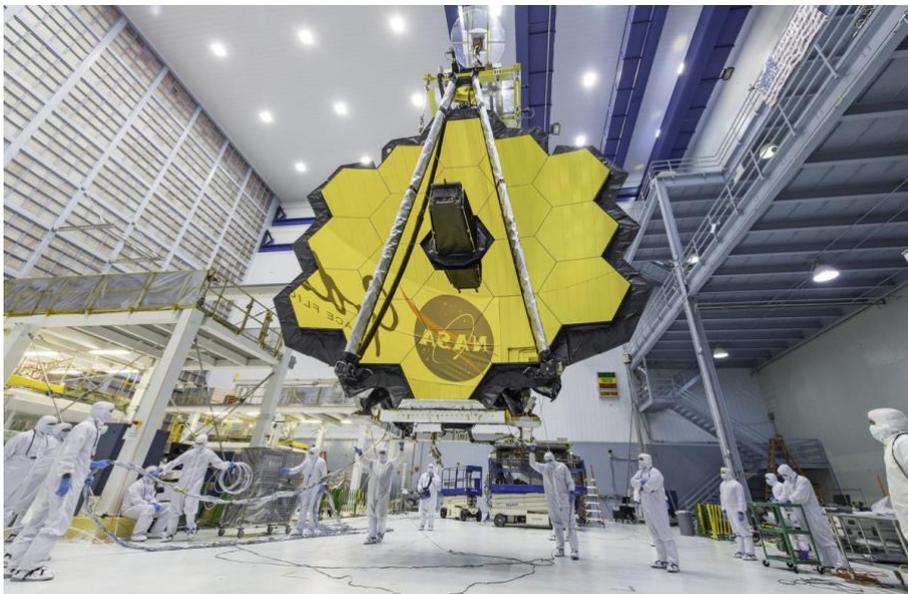


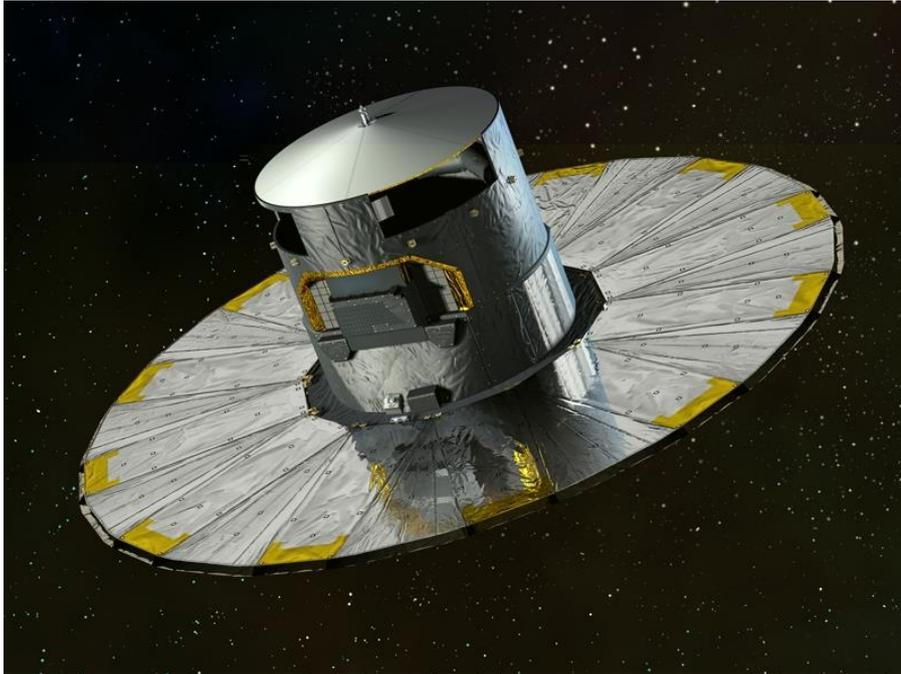
Les télescopes spatiaux :

Hubble



James Webb Space Telescope



Gaia**Les sondes d'exploration :*****BepiColombo***

TGO, Exomars



New Horizon



Biographies

Pierre Bousquet est actuellement expert senior en planétologie et micropesanteur à la sous-direction des projets scientifiques de la Direction des Systèmes Orbitaux du CNES. Après avoir obtenu un diplôme d'ingénieur à Sup'aéro en 1986, et un Master en télécommunications par satellites à l'Université de Surrey en 1987, il a été recruté au département structures – mécanique du CNES en 1987 où il a notamment participé au développement de l'expérience technologique CASTOR réalisée dans la station MIR entre 1996 et 1999 et à la conception mécanique des satellites d'observation Spot 5 et Pléiades. Il a été responsable du service Architecture Mécanique et Thermique jusqu'en 2007, puis du service projets de Planétologie et Micropesanteur jusqu'en 2016.

David Ducros est fasciné très jeune par les illustrations d'écorchés de la fusée Saturne V, c'est pour le CNES que, graphiste et illustrateur autodidacte, il réalise sa première illustration spatiale, une vue écorchée de la fusée Ariane 4. Inspiré par les travaux de Ron Miller, Chris Foss ou Pat Rawlings, il n'a cessé depuis de représenter lanceurs, satellites, stations orbitales ou sondes spatiales.

Elsa De Smet est docteur en histoire de l'art contemporain depuis 2016. Sa thèse, soutenue à la Sorbonne -Paris IV sous la direction d'Arnauld Pierre s'intéressait à l'exploration spatiale du XXe siècle sous l'angle d'une exploration visuelle. Elle est également commissaire d'exposition, A.T.E.R à l'Université de Reims et collaboratrice au sein de l'Observatoire de l'Espace - Laboratoire arts-science du Cnes.

Michel Viso rejoint le CNES en 1985 comme candidat spationaute après avoir exercé pendant plusieurs années le métier de vétérinaire ; en 2004, il prend la responsabilité du domaine de la biologie et de la physiologie spatiale. À ce titre il gère la participation française dans des projets européens ainsi que pour de futures missions d'explorations spatiales, et est en charge des programmes d'exobiologie au CNES.

Pour plus d'informations sur les séances d'exploration rendez-vous sur le site de l'Observatoire de l'Espace du CNES :

www.cnes-observatoire.fr

Et sur la page des séances :

http://www.cnes-observatoire.fr/memoire/savoir_explorations/les-explorations.html