



Journal de la Maison de l'Architecture Occitanie-Pyrénées

Février 2022 2,50€



Vue de la comète Tchouri prise par la sonde Rosetta. Côté jour, la comète émet des jets de gaz qui forment un nuage appelé chevelure ou coma. ESA/Rosetta/MPS for OSIRIS Team (MPS/UPD/LAM/IAA/SSO/INTA/UPM/DASP/IDA)/Justin Cowart.



Maison de l'Architecture Occitanie-Pyrénées

> 1, rue Renée Aspe 31000 Toulouse 05 61 53 19 89 contact@maop.fr

Entrée libre du lundi au vendredi de 10h à 12h et de 14h à 18h

Abonnement: www.planlibre.eu

Plus d'informations sur les actions de la Maison de l'Architecture Occitanie-Pyrénées www.maop.fr

Plan Libre Journal de la Maison de l'Architecture Occitanie-Pyrénées Dépôt légal à parution $N^{\circ}ISSN$ 1638 4776

Direction de la publication Joanne Pouzenc Rédacteur en chef Sébastien Martinez-Barat Comité de rédaction Daniel Andersch, Guy Hébert, Benjamin Lafore, Jocelyn Lermé, Anissa Mérot, Philippe Moreau Gérard Ringon, Fanny Vallir Coordination éditoriale Joanne Pouzenc, Laëtitia Toulout, Colombine Noébès-Tourrès Fanny Vallin Direction Artistique Pierre Vanni Mise en page Documents Impression Centre d'impression Midi-Pyrenées C.I.M.P (Riccobono imprimeurs)

Pour participer à la rédaction de Plan Libre, contactez le bureau de rédaction à la Maison de l'Architecture Occitanie-Pyrénées. La rédaction n'est pas responsable des documents qui lui sont spontanément remis.

Plan Libre est édité tous les mois à l'initiative de la Maison de l'Architecture Départemental de la Haute-Garonne, de Toulous Métropole, du Conseil Régional de l'Ordre

Occitanie-Pyrénées avec le soutien du Ministère de la Culture / DRAC Occitanie, de la Région Occitanie Pyrénées-Méditerranée, du Conseil des Architectes et de son Club de partenaires







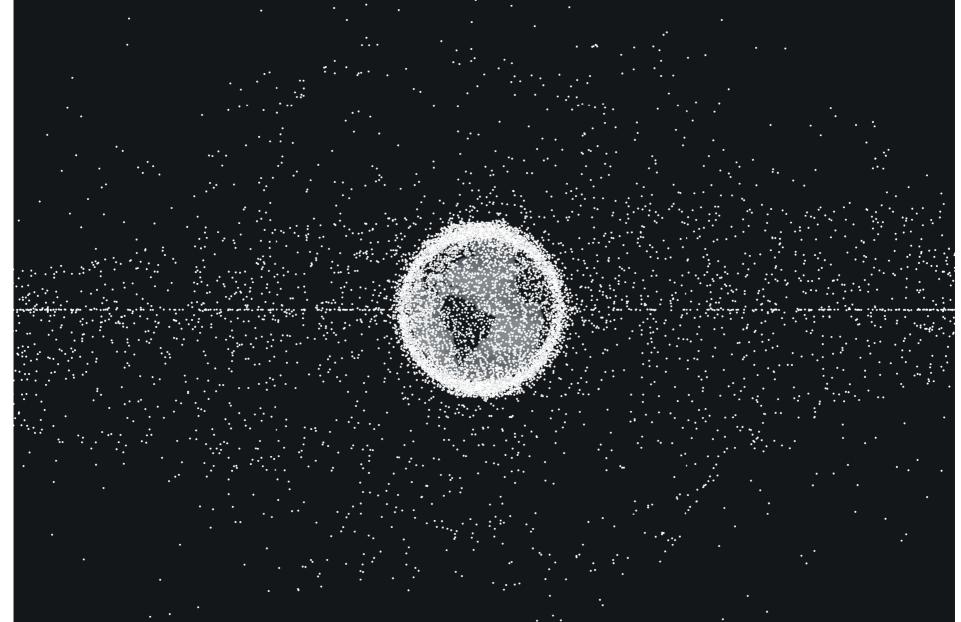


De numéro en numéro, la revue explore ce que nous pourrions appeler les confins de l'architecture. Des territoires limites, où l'architecture résiste et s'amalgame, parfois s'estompe au contact de réalités singulières, d'autres disciplines et d'autres métiers. C'est là où le rôle des architectes se réinvente qu'apparaissent des architectures étranges. En reconsidérant les 20 derniers numéros publiés, on décèle cette attention aux marges de l'architecture, ces zones où elle s'épuise et se questionne, comme ligne directrice de la revue.

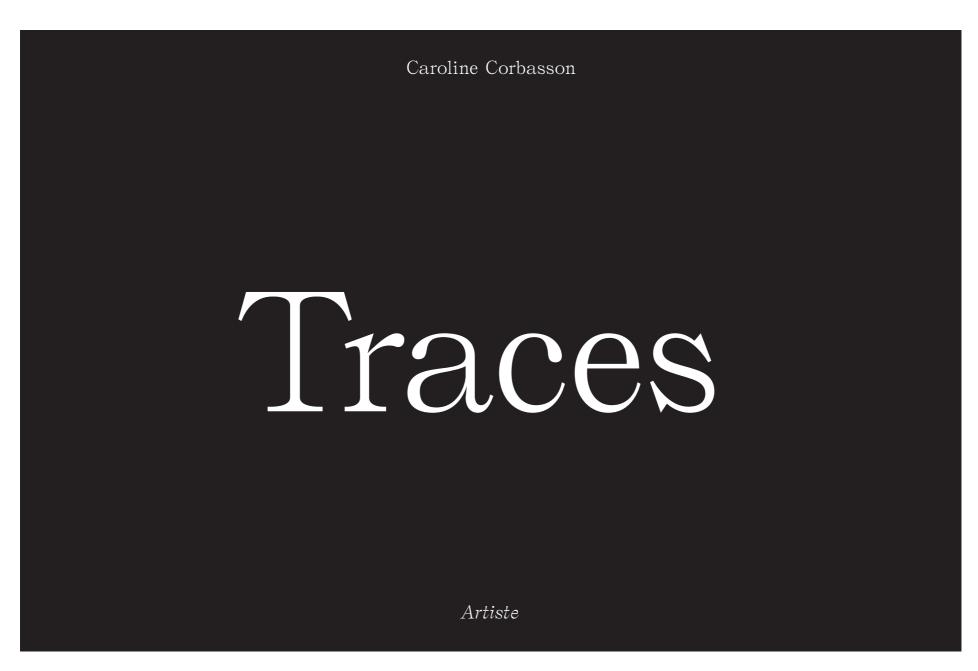
En sollicitant celles et ceux qui pensent et préparent la conquête de l'espace, nous regardons l'architecture extraterrestre comme une de ces zones critiques. Les contributions rassemblées ici évoquent toutes un sentiment double de doute et d'enthousiasme. La prospection scientifique et l'esprit pionnier ne laissent jamais oublier la quantité de ressources ainsi que les enjeux éthiques et politiques inhérents à la promesse de «quitter la Terre». L'architecture est doublement questionnée par l'observation et l'exploration spatiale. L'observation spatiale exacerbe la capacité à décrire, mesurer, représenter des portions de réel inconnu. Le travail de Rosetta autour et sur la comète Tchouri témoigne de cette grande aventure topographique. L'exploration, la conception de vaisseaux et d'habitats spatiaux, laisse entrevoir l'imaginaire d'une architecture techno-primitive qui oscille entre deux archétypes, le navire et la caverne. L'habitat lunaire le plus crédible à ce jour est une grotte de roche lunaire. L'hostilité de l'environnement extraterrestre, l'absence d'eau, d'air et les matériaux de construction presque inexistants, les quantités d'énergies nécessaires pour s'affranchir de la pesanteur et de manière plus pernicieuse pour stocker des données d'observation sont autant de faits qui pour reprendre les mots de Buzz Aldrin découvrant le paysage lunaire augurent d'une «magnifique désolation».

Sébastien Martinez-Barat

VISION Février 2022 **:** ... 190 p.2

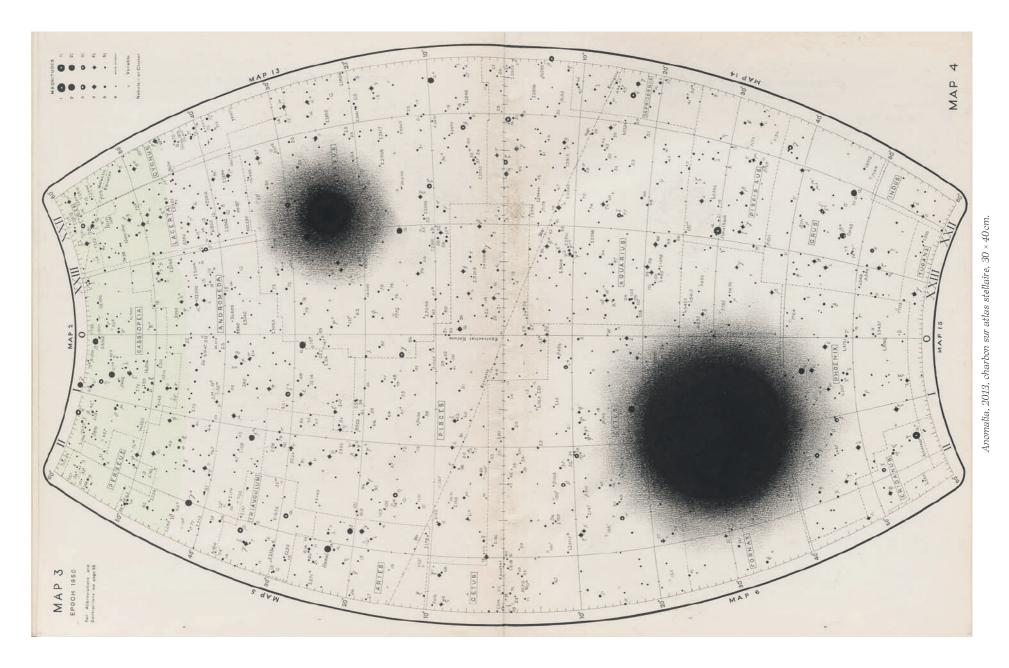


gravitant autour de la Terre. © NASA ODPO



«Traces» propose un ensemble d'œuvres évocatrices d'une empreinte: celle du charbon sur le papier, de la lumière sur la rétine ou encore des particules stellaires lors de leur passage dans le ciel. Le travail de Caroline Corbasson explore comment l'observation de l'espace a provoqué une rupture entre la perception immédiate et celle des scientifiques sur la place de l'humain dans l'univers.

PORTFOLIO Février 2022





♯ ... 190 p.4 Février 2022 **PORTFOLIO**





₽1..190 p.5 Février 2022 PORTFOLIO

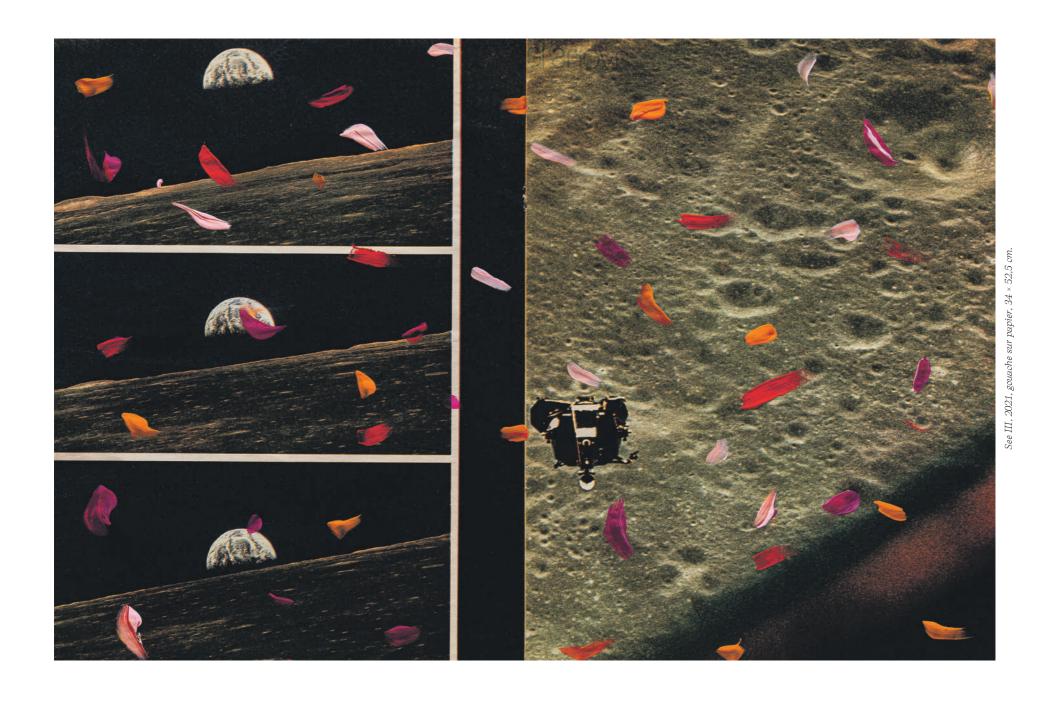




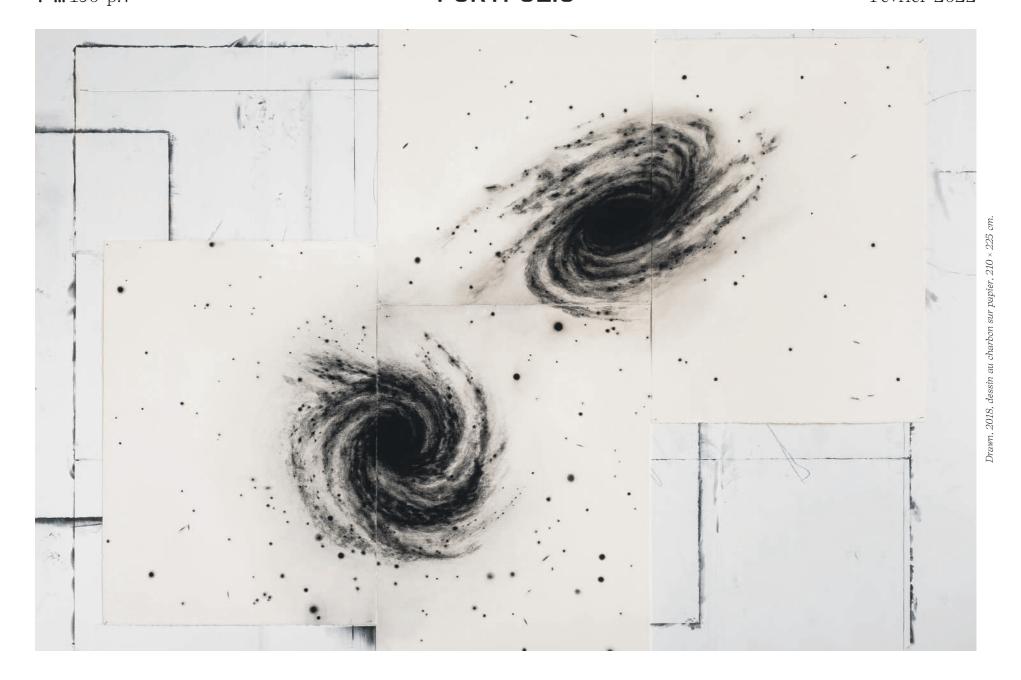


₽1.. 190 p.6 Février 2022 **PORTFOLIO**





PORTFOLIO Février 2022





PORTFOLIO Février 2022



En région

JUSQU'AU 28/02/2022

RÉSIDENCES D'ARCHITECTURE

RMA et Maisons de l'Architecture

Dans le cadre de la 4e édition des résidences d'architecture, soutenue par le Conseil National de l'Ordre des architectes ainsi que par le ministère de la Culture, le Réseau des maisons de l'architecture offre l'opportunité à des binômes d'architectes et diplômés d'État en architecture, accompagnés d'un autre professionnel, de créer un projet culturel lors d'une résidence de six semaines répartie sur plusieurs mois. Cette année 10 résidences sont proposées par les Maisons de l'Architecture en région. Découvrir les sites, les thèmes et les conditions de candidature: # urlz.fr/hmS5

JUSQU'AU 18/03/2022

BOURSE PALLADIO

Fondation Palladio

mission d'encourager la recherche, la formation et les échanges dans le secteur de l'immobilier et l'urbanisme, pour mieux répondre aux enjeux actuels et futurs de la construction de l'espace urbain. Chaque année, elle attribue 10 bourses de 10000€ à des étudiants, doctorants et post-doctorants de toutes les disciplines qui concourent à la fabrique de la ville (aménagement, architecture, construction, droit, économie, finance-gestion, géographie, etc.). Plus d'infos pour candidater: # bit.ly/34Mto7O

Bourgogne-Franche-Comté

DU 23/02 AU 25/03/2022

FRUGALITÉ **CRÉATIVE**

Maison de l'Architecture de Franche-Comté Une exposition qui met en lumière la pratique de la frugalité

en architecture et qui présente 35 projets issus des régions frontalières, du Grand Est et du Bade-Wurtemberg. Une maison construite avec la terre décaissée sur son emplacement, un immeuble de 34 m de hauteur tout en bois, une ancienne chapelle au milieu de la forêt devenue refuge et centre culturel, un chai transformé en lieu de rencontre... Un projet francoallemand sur l'architecture frugale, durable initié par l'Institut français de Stuttgart et la Stiftung CCFA Karlsruhe. ## frugalitecreative.eu. Maison de l'Architecture de Franche-Comté, 2 rue de Pontarlier, 25000 Besançon

Hautsde-France

DU 14/02 AU 18/02/2022

MÉTIERS DE L'ARCHITECTURE WAAO

Du 14 au 18 février, le WAAO centre d'architecture et d'urbanisme propose une découverte La Fondation Palladio a pour et des temps d'échange autour des métiers de l'architecture. Rencontres avec des professionnels, visites de chantier et d'agence, avec des temps de production, feront la richesse de 4 ou 5 après-midi de partage autour des métiers de l'architecture. Public: 14-18 ans. De 14h à 17h. 292 rue Camille Guérin, 59800 Lille. Plus d'infos: @ waao.fr

Île-de-France

01/03, 08/03 ET 15/03/2022

CYCLE DE CONFÉRENCES

Bellastock

Chaque année, Bellastock organise au mois de mars un cycle de 3 conférences pour débuter une réflexion sur la thématique du $festival\,fondateur\,qu'elle\,organise$ depuis 2006. Cette année, dans le cadre de la préfiguration du Centre Art Architecture Paysage Patrimoine menée au travers du festival en 2021, 2022 et 2023, Bellastock propose d'aborder la notion d'«outiller». Programme: #1: Des outils pour transmettre / Transmettre des outils (mardi 1er mars)#2 Façonner / Être façonné Pour le dernier jour de son expo-(mardi 8 mars) #3 Ressources les lieux / Les lieux comme ressources (mardi 15 mars). En par 7, Topophile, Yes We Camp. Les Grands Ateliers, et Temaprod. ductif? «L'espace public n'est Sur inscription. ENSA Paris-Belleville, 60 boulevard de la Villette, Paris 19. Plus d'infos : ⊕ bellastock.com

> D'AVRIL À OCTOBRE 2022

CRÉER VOTRE TIERS-LIEU

Campus des Tiers-Lieu

D'avril à octobre 2022, le Campus des Tiers-Lieux accueillera la 3e promotion de son programme de formation-incubation à la Cité Fertile. L'objectif est d'accompagner les entrepre neur-euses qui portent un projet de tiers-lieu, sur tous les aspects opérationnels du lieu, jusqu'à son ouverture. Candidatez pour bénéficier de 6 mois d'accompagnement personnalisé au sein du programme Incubateur du Campus des Tiers-Lieux de Sinny&Ooko à partir d'avril 2022, à La Cité Fertile. Cité Alors que les alertes écologi-Fertile, 14 Av. Edouard Vaillant, 93500 Pantin. Plus d'infos: campusdestierslieux.com/ incubateur/

Normandie

DU 15/02 AU 16/02/2022 **APPRENTI PAYSAGISTE**

Maison de l'architecture de Normandie -

Le Forum

Archi-jeune-Atelier 8-12 ans Et si on imaginait une ville plus verte... en maquette? Les enfants imagineront un envi ronnement urbain verdoyant où arbres et végétaux pousseront sur une grande maquette com mune. Mais y aura-t-il assez de place pour la nature dans cette ville dense? Il faudra trouver des solutions d'aménagement. *De 14h à 16h. Tarifs: 15€/10€* pour les adhérents. Nombre de place limité. Inscription obligatoire: 0235034031.48 rue Victor Hugo, 76000 Rouen

26/02/2022 - 15H RENCONTRE AU FORUM

Maison de l'architecture de Normandie - le Forum

sition «L'herbe folle, l'angle droit, et un bâtiment a été reconsl'horizon et la girafe», Ilka Kramer revient pour une rencontre: compartenariat avec: La Preuve ment penser la ville comme lieu de vie et non comme espace propas neutre, il est patriarcal et capitaliste, en même temps il est l'extension de nos maisons et il n'est rien sans nos activités quotidiennes. Prendre les changements climatiques comme chance de modifier l'espace public, de retourner et inverser ces priorités vers un lieu plus convivial, sûr, familial, vert, vivant, moins consumériste, productif.» Ilka Kramer. Le Forum, 48 rue Victor Hugo, 76000 Rouen



DU 04/03 AU 02/04/2022

CHANTIERS COMMUNS

Territoires pionniers

ques et sociales se font toujours plus nombreuses, la 4e édition de Chantiers communs ouvre un mois à part pour explorer nos lieux de vie et ouvrir de nouvelles perspectives dans nos manières d'habiter, de construire et façonner nos territoires. Rencontres, visites, activités seront autant d'occasions pour se retrouver, échanger, faire l'expérience sensible du territoire et engager ensemble la transformation des lieux où nous habitons. avec les contributions d'Anatomies d'architecture, Studiolada, de la Salie et la résidence Les Moonwalklocal, Archipel Zéro Cayennes. 26/28 Rue de La Salie et bien d'autres!

Nouvelle Aquitaine

01/03/2022 - 18H VISITE DE

LA CIUTAT

Le Pavillon

Le quartier du Hédas, par sa géomorphologie urbaine particulière et sa richesse historique s'est imposé naturellement

comme un support spatial au projet de Cité Créative de la Culture Béarnaise au sein de l'agglomération Pau Béarn Pyrénées. Autour de la place Récaborde, quatre bâtiments ont fait l'objet d'une réhabilitation complète truit entièrement pour accueillir les locaux de l'Association de Préfiguration de la Ciutat. Prenez part à la visite pour découvrir ce quartier en mutation! Pour plus d'informations: contact @pavillondelarchitecture.com

DU 04/03 AU 13/05/2022

TROMPE LE MONDE

Maison de l'Architecture de Poitiers

Collagiste, manipulateur d'images, artiste attaché à la mise en scène et à la narration, Guillaume Chiron «sort du cadre» et décline son univers en trois dimensions. Pour l'exposition «Trompe le monde», il investit avec malice et surréalisme l'espace de la Maison de l'Architecture et questionne notre rapport au lieu en jouant avec les échelles de perception, les composantes urbaines, les paysages... 1 rue de la Tranchée, 86000 Poitiers



08/03/2022 - 11H VISITES D'OPÉRATIONS

Le Pavillon

Le Pavillon propose en partenariat avec la Ville de Bayonne, Le COL et HSA une présentation et visites de deux opérations PNRQAD - Programme National de Requalification des Quartiers Anciens Dégradés - le 26/28 rue et 13/15 Rue Bourgneuf à Bayonne. Plus d'informations: contact@ pavillondelarchitecture.com

JUSQU'AU 29/04/2022

UTOPIES URBAINES

Le 308 - Maison

Le 308-MA, en partenariat avec Perspective Galerie et Normann Copenhagen, Laudescher et LafargeHolcim, présente l'exposition «La Cité - Utopies urbaines contemporaines». Quelle est la place de l'utopie dans nos défis urbains contemporains? En quoi peut-elle nous être précieuse pour concevoir la ville de demain? Un parcours visuel et sonore propose aux visiteurs de découvrir les pistes qu'explorent une trentaine d'artistes, d'architectes et de designers. Les podcasts se retrouvent

également sur Mezzanine tous les mercredis à 20h. Le 308, 308 avenue Thiers, 33100 Bordeaux. @www.mezzanine.archi - «play».



Occitanie

16/02/2022

ATELIER CITOYEN

Toulouse Métropole, le CoDev Toulouse Métropole et le CoDev vous invitent à un atelier citoyen pour contribuer à l'élaboration de la Charte de participation citoyenne. Des membres d'instances citoyennes investies sur des enjeux métropolitains pourront partager leurs points de vue et leurs propositions pour améliorer le dialogue et la participation citoyenne pour les projets de la Métropole. Ce temps de travail est l'une des étapes de la démarche de co-écriture de la Charte de la participation citoyenne qui sera adoptée par Toulouse Métropole au second semestre 2022. Salle San Subra, 2 rue San Subra, 31300 Toulouse. Plus d'informations: @ jeparticipe. toulouse.fr/

17/02/2022 - 18H

HABITER PAR JACQUES LUCAN

ENSA Montpellier

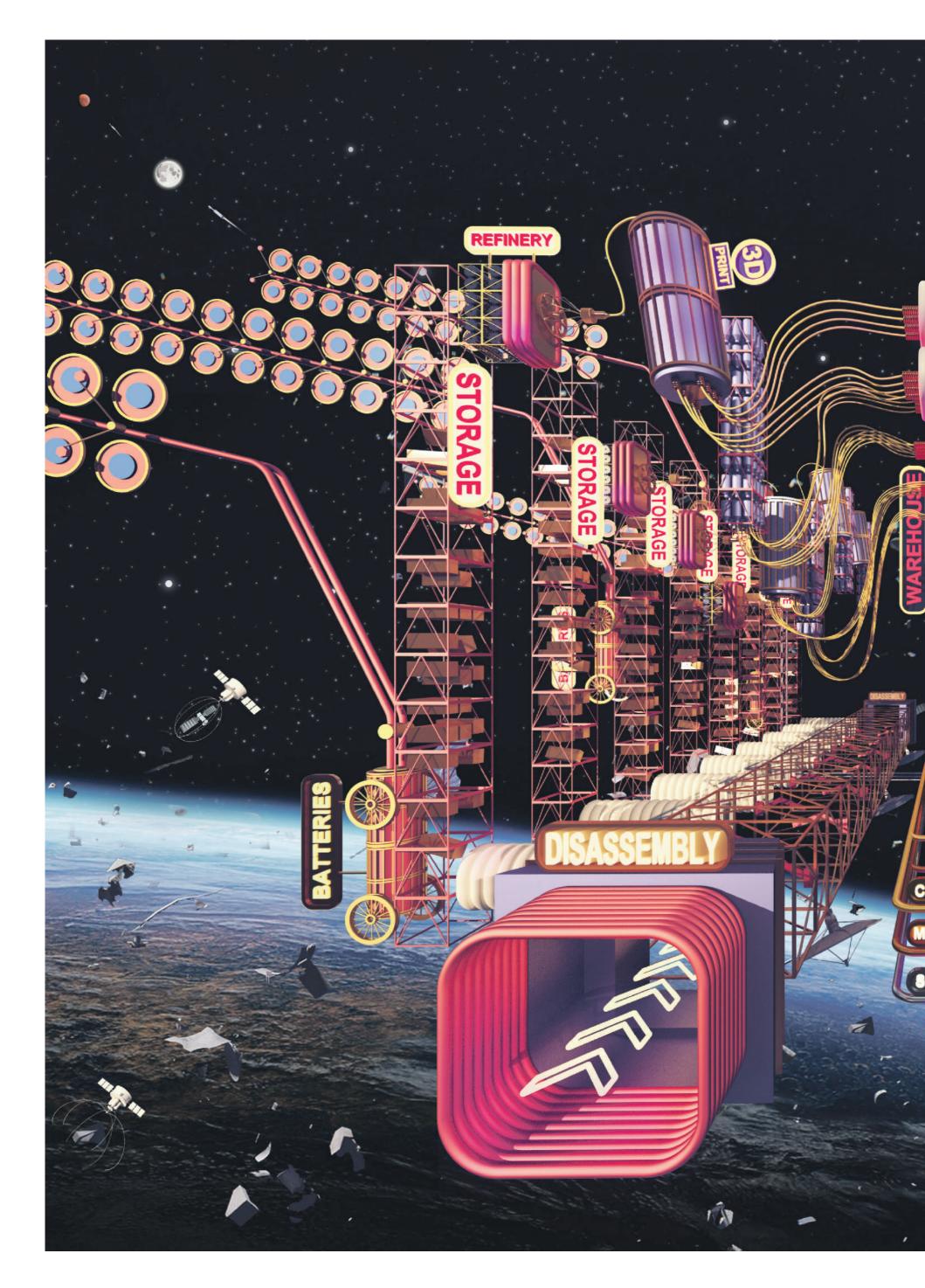
À l'occasion de la sortie de son livre Habiter - Ville et architecture, Jacques Lucan donnera une conférence à l'ENSAM. Aujourd'hui, les modes de vie urbains ou métropolitains sont devenus dominants: comment apprécier les changements qui s'opèrent et comprendre les formes actuelles de l'habitat sachant que le logement collectif demeure a priori le plus écologiquement responsable? Amphi 1 - 179 Rue de l'Esperou, 34090 Montpellier. Plus d'infos: # montpellier.archi.fr

> 19/02/2022 - 10H 12/03/2022 - 10H30

REYNERIE À LA FOLIE

Espace Patrimoine et Office de Tourisme

Le château de Reynerie est un site méconnu, niché au cœur





Node 1. Imaginer une entité spatiale autonome et régulatrice. Projet dans le cadre du cours Datapolis dispensé au TU Delft. Joana Vilaça et Thanat Prathnadi

d'un grand ensemble. Cette folie architecturale du XVIIIe siècle recèle bien des secrets. Un jardin à la française, avec un bassin et des essences rares et exotiques, complète le tableau. Architecture, décors, botanique... Ce site remarquable vous ouvre ses portes le temps d'une visite. Tarif: $8 \in$. Durée de la visite: 1h. Château de Lestang, 31300 Toulouse. Réservations obligatoires sur ⊕ toulouse-tourisme.com



23/02/2022 - 10H LE PETIT

ORNEMANISTE Espace Patrimoine

Cet atelier sensibilise les enfants

aux décors qui ornent les façades toulousaines. En manipulant des moules issus de la fabrique d'Auguste Virebent, ils appréhendent de façon ludique les éléments du bâti toulousain en réalisant des moulages en argile. Pour les 3-6 ans. Durée: 1h. 8 place de la Daurade, 31000 Toulouse.



23/02/2022 - 15H **EQUILIBRI**

Espace Patrimoine

À travers ce jeu, les enfants vont pouvoir peser l'impact d'une action sur le bâti du centre ancien (ravalement de façade, rénovation d'un bâtiment, changement de fenêtres...) et prioriser les rénovations pour mettre en valeur les secteur du centre ville. En complément, l'histoire de la place Esquirol leur sera dévoilée et permettra de mettre en lumière l'évolution de la ville de Toulouse de l'antiquité à nos jours. Pour les 6-12 ans. Durée: 1h. 8 place de la Daurade, 31000 Toulouse. Gratuit. Réservations obligatoires: animation. patrimoine@marie-toulouse.fr



JUSQU'AU 24/02/2022

EXPOSITION PAO 2021

Maison de l'Architecture Occitanie Méditerranée L'exposition du Prix est désormais visible à Montpellier! La MAOM et le CAUE de l'Hérault vous invitent à découvrir les huit projets sélectionnés par le jury et soumis aux votes du public. La Salle, CAUE de l'Hérault, 19 rue Saint Louis, 34000 Montpellier

JUSQU'AU 28/02/2022

VOTE PAO 2021

Maison de l'Architecture Occitanie-Pyrénées

de la Reynerie, 160 Chemin À qui sera décerné le Prix du public? À vous de le décider! Il ne reste que quelques jours pour voter pour votre projet préféré, parmi les 8 projets sélectionnés. Les votes sont ouverts jusqu'au 28 février à l'adresse suivante : ⊕ bit.ly/3HFlHiD ou en scannant le QR code suivant:



01/03/2022

L'ESAD **PYRÉNÉES** RECRUTE!

ESAD Pyrénées

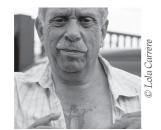
L'École recrute des intervenants artistiques ponctuels sur les sites de Pau et de Tarbes pour assurer des stages d'une durée de 1,5 à 3 jours sur les périodes des vacances scolaires d'avril à nov. 2022. Domaines des arts plastiques et des arts visuels recherchés: dessin, peinture, volume, modelage, céramique, multimédia, photographie argen- intervient. Crac Occitanie, 26 quai tique et/ou numérique, sculpture, Aspirant Herber, 34200 Sète design graphique, autre. Date limite de dépôt des candidatures et propositions pédagogiques: 01/03. Plus d'infos: @ urlz.fr/hmiJ

JUSQU'AU 05/03/2022

IDENTITÉS

La Fenêtre

Mieux connaître pour faire reconnaître. Par le médium de la photographie, en abordant des questions de communauta- Au travers d'images choisies, risme, territoire, sédentarité, nationalité et régionalité, Lola Carrère a interrogé la notion d'identité afin de rendre compte de ses contours multiples et perméables. Pendant 2 ans cette talentueuse photographe a parcouru le quartier de la cité Gély, lu de nombreux documents traitant de son histoire, interrogé et photographié ses murs, d'autre part en rapport habitants, un travail qui n'allait pas de soi aux yeux de certains et supposait un véritable engagement de sa part. 27 rue Frédéric l'horizon d'un pays. Du mercredi Peyson, 34000 Montpellier



DU 12/03 AU 22/05/2022

« A-Z » **D'ALEXANDRA BIRCKEN**

Crac Occitanie

Pour son exposition de printemps, le Crac Occitanie invite l'artiste allemande de renommée internationale Alexandra Bircken, à investir le rez de chaussée. Le corps et ses différentes enveloppes sont au cœur de la pratique sculpturale et textile d'Alexandra Bircken. L'artiste questionne également le rapport des corps aux machines, le pouvoir qu'elles donnent à l'humain tout autant que la vulnérabilité dans laquelle elles le placent. Crac Occitanie, 26 quai Aspirant Herber, 34200 Sète

DU 12/03 AU 22/05/2022

EXPOSITION BIANCA BONDI

Crac Occitanie

Entre féérie et apocalypse, les installations et sculptures de Bianca Bondi plongent le spectateur dans un univers étrange et familier, où s'entremêlent passé. présent et futur. Comme dans un rêve éveillé ou une dérive intérieure, ses œuvres suspendent les frontières entre monde astral et terrestre, espaces des vivants et des morts, visible et invisible. Travaillant la plupart du temps en lien avec un site, son aura et son archéologie secrète, Bianca Bondi dessine des paysages sur mesure pour les espaces dans lesquels elle



JUSQU'AU 09/04/2022

PORTES ET FENÊTRES

Faire-Ville

cette exposition propose une réflexion sur la fonction des portes et fenêtre dans notre rapport au monde: nous en protéger ou nous ouvrir à lui. Nous définissons avec soin les dimensions et les proportions de ces ouvertures, d'une part à la mesure de nos corps et des vies qui demeurent dans nos avec leur nécessaire ouverture au monde, à leur environnement, à la lumière et au paysage, jusqu'à au samedi de 12h à 18h. 5 rue Saint-Pantaléon, 31 000 Toulouse

JUSQU'AU 30/04/2022

LA DYNASTIE DES CARLIER

Maison de l'Architecture Occitanie-Méditerranée & le Palais-Musée des Archevêques de Narbonne À l'occasion des 120 ans de ses Halles, la Ville de Narbonne, Ville d'art et d'histoire, accueille pour la première fois l'exposition «La Dynastie des Carlier». Composé de trois générations d'architectes, la famille Carlier a largement contribué à l'urbanisme et l'architecture du territoire: de Montpellier à Narbonne, en passant par Sète, Palavas et Béziers, la plupart de ces édifices sont aujourd'hui inscrits monuments historiques. Venez (re)découvrir l'œuvre impressionnante de cette agence familiale! Chapelle Saint-Martial, Palais-Musée des Archevêques, Pl. de l'Hôtel de Ville, 11 000 Narbonne



JUSQU'À JUILLET 2022 RÉSIDENCE

ARTISTIQUE Mairie de Toulouse / DRAC Occitanie / Cité éducative «Petit Poucet dans la ville». L'association vitamine d est sélectionnée pour une résidence artistique en Architecture/ Design/Paysage avec des enfants de 2 à 6 ans en milieu scolaire à Toulouse. Laboratoire de recherches et créations spatiales, nous œuvrons en parallèle depuis 2006 à la transmission des disciplines de l'architecture et du design. Pascale Baousson et Lucile Mousson-Bouroullec sont les autrices choisies pour la résidence. École Ronsard, Toulouse ⊕ inventezdemain.com ⊕ pascalebaousson.com @ www.instagram.



com/happyobjets/?hl=fr

Pays de la Loire

DU 04/02 AU 04/03/2022

EXPOSITION APERÇUS 2021

CAUE 44 & Ville

de Saint-Jean-de-Boiseau L'exposition présente 32 projets sélectionnés par le CAUE

44 à l'occasion du Prix Aperçus 2021, dont le palmarès a été dévoilé en décembre dernier. Habitat individuel, intermédiaire, collectif, équipements, aménagement urbain, valorisation du grand paysage, construction neuve ou réhabilitation, les réalisations de toutes tailles et de toutes natures se distinguent par la qualité de leur insertion urbaine ou paysagère, leur dimension esthétique autant que leur valeur d'usage, leurs choix constructifs et techniques et leur approche environnementale. Plus d'informations: m.duval @caue44.com - 0240202044. Avenue du 11 Novembre, 44640 Saint-Jean-de-Boiseau



JUSQU'AU 15/03/2021

HABITER AUTREMENT

CAUE

de Loire-Atlantique Le CAUE de Loire-Atlantique lance un appel à projets en lien avec son action «Habiter autrement»: les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvres inscrits à l'Ordre des architectes ou paysagistes-concepteurs sont invités à soumettre d'ici le 15 mars 2022 les ouvrages livrés dans le département de Loire-Atlantique qui entrent en résonance avec l'une des quatre thématiques du cycle 2022 des «Rendez-vous du CAUE»: Héberger chez soi, Jardiner autrement, Transformer vers l'habitat, Habiter et travailler. Plus d'infos: m.duval @caue44.com - 02 40 35 04 28. ⊕ bit.ly/3uvTtmJ

Provence Alpes Côte d'Azur

vard Théodore Thurner, 13006 Marseille

l'emprise croissante des «rési-

dences fermées». L'exposition

présente une série de cartes

montrant l'histoire de cette

dynamique privée à Marseille, les

modes de production des enclo-

sures actuelles et leurs impacts

urbains dans le temps et dans

l'espace. À travers la sélection

retenue pour cette exposition,

les résidences fermées sont aussi

abordées dans leur diversité et la

complexité de leur histoire et de

leur inscription territoriale, Ordre

des architectes PACA, 12 boule-

Et ailleurs

31/05/2022

EEA DE **BELGIQUE 2022**

La Table Ronde

de l'Architecture

Vous êtes étudiant et vous voulez poursuivre des études ou pratiquer l'art de bâtir, étudiant dans le monde de l'architecture, architecte, urbaniste ou amoureux d'une architecture belle, humaine et durable? Participez à l'École d'Été d'Architecture de Belgique! Pendant plusieurs semaines profitez d'un programme varié: visites d'études, cours d'histoire de l'architecture, de construction, de dessins, visites d'ateliers d'artisans, etc. Les candidatures doivent être soumises avant le 31/05/2022. Plus d'informations: contact @latable ronde architecture.com

DU 04/03 AU 22/04/22 **EXPOSITION** «PRIVATOPIA»

Maison de l'architecture et de la ville PACA

Depuis 2007 une équipe d'universitaires géographes d'Aix Marseille Université explore Marseille sous la direction d'E. Dorier, en y cartographiant

Sébastien Barde

L'ISS. Tabiter travai

Habiter, travailler, explorer à 400 km de la Terre

Sous-directeur Exploration et Vols Habités à la Direction des Systèmes Orbitaux et des Applications au CNES à Toulouse

Sébastien Barde est spécialiste des vols habités. Il a été responsable du CADMOS (Centre d'Aide au Développement des activités en Micropesanteur et des Opérations Spatiales), l'entité du Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) qui étudie les vols habités. Il a notamment été chef de projet de la mission Proxima avec Thomas Pesquet.

PROJET Février 2022

EXPLORER N'EST PAS OBSERVER

Au CNES, nous appelons exploration tout ce qui, à l'échelle de l'univers, est la proche banlieue de la Terre. L'ISS (International Space Station), la Lune, Mars. Les endroits où nous pouvons aller avec des robots et des hommes, où il est possible de se poser et de récupérer des échantillons. Par opposition à l'astrophysique qui, pour simplifier, s'intéresse à l'Univers, aux étoiles, à des choses qui sont à des milliers d'années-lumière, où nous n'irons pas. En astrophysique, les satellites sont envoyés dans le ciel, mais ils restent autour de la Terre et observent le ciel lointain. Derrière exploration, il y a la notion de se déplacer, d'aller voir au plus près, à l'opposition d'observer.

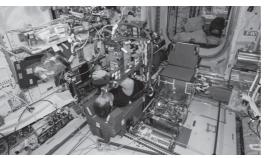
L'ISS a les dimensions d'un terrain de foot. 400 m² habitables. Ils sont six ou huit astronautes enfermés en permanence dedans. C'est un bel appartement, mais duquel on ne sort pas beaucoup. La rotation d'un équipage se fait par moitié tous les six mois. Deux vaisseaux majeurs servent aux vols habités et alimentent la Station: le vaisseau russe Soyouz accueille trois personnes et depuis peu le vaisseau américain Dragon de Space X accueille quatre personnes.

La station tourne à 400 km autour de la Terre. Dans le monde des satellites, parmi les objets qui tournent autour de la Terre, elle est l'un des plus bas. Un satellite qui a pour mission d'observer la Terre est à environ 800 km, les télécom et la télévision sont à 36000 km. L'ISS est donc très basse, l'équivalent d'un Paris-Nantes. Si les astronautes ont un problème ils peuvent redescendre assez vite. Il n'y a pas de délai lors des communications. Lorsque nous irons sur la Lune et peut-être un jour sur Mars, le temps de communication y sera de 20 minutes. 40 minutes pour recevoir une réponse à une question. Si vous êtes pressé ou qu'il y a un problème, il faudra se débrouiller seul. La grande différence dans l'exploration sera donc l'autonomie, le fait que la Terre n'est plus là pour aider.

LA VIE D'UN ASTRONAUTE, MODE D'EMPLOI

La station fait le tour de la Terre en 1h30. Il n'y a plus de notion de jour et de nuit, il y a 16 fois des jours et des nuits. On ne peut pas se fier à l'extérieur. Il faut donc reconstituer une journée de 24h pour recaler les rythmes circadiens et que le corps retrouve cette chronologie, importante pour les phases d'éveil et de repos. L'heure de référence qui a fallu trouver entre les russes et les américains, les deux grands patrons de l'ISS correspond à l'heure du milieu, le GMT. Lorsque les astronautes sont réveillés, ils sont donc plutôt à l'heure européenne.

Les astronautes, peu importent leurs nationalités, font tous la même chose. Ils se lèvent vers 7h. Vers 8h, ils suivent un briefing organisé depuis la Terre qui décrit les opérations principales de la journée. Puis chacun suit son planning, organisé à la minute pour des raisons d'optimisation et pour les occuper. Chaque manipulation est détaillée. Les procédures sont comme des notices de montage. Une journée se passe avec une moitié d'expériences scientifiques et une moitié de maintenance, au sens très large, c'est-àdire nettoyer et réparer des choses, mais aussi entretenir leurs propres corps. Cet entretien physique est nécessaire pour préparer le retour car en micropesanteur le cœur n'est plus porté, les muscles sont inutiles et les os ne servent pas à grand-chose. Il n'y a plus de contraintes mécaniques sur le



Intérieur du laboratoire Colombus. © www.nasa.gov corps. Le cœur bat moins fort pour éviter les surplus de pression dans le cerveau. Lorsque les astronautes reviennent sur Terre, ils récupèrent en quelques heures la gravité, l'organisme n'a pas le temps de s'adapter, il y a un risque de syncopes ou de malaises. Enfin, à 22hGMT, le station passe en mode nuit: la lumière s'éteint comme dans un avion pour se recaler avec les rythmes terrestres de 24h.

UNE COPROPRIÉTÉ GÉOPOLITIQUE

De loin, la station semble internationale. De près, elle se compose d'une partie russe et d'une partie occidentale qu'on appelle USOS (United States Orbital Segment). Le diamètre maximum des modules assemblés dans la station est lié au diamètre de la fusée de lancement. Il y a deux tailles, ce qui est monté par les américains avec les navettes, et ce qui est monté par les russes avec les fusées Soyouz, dont le diamètre est plus petit.

La partie occidentale regroupe les partenaires majeurs de l'ISS: les américains, les canadiens, les européens via l'ESA (European Space Agency) et le Japon. Il n'y a pas d'échanges de fond entre les agences, chacun met ce qu'on appelle des in-kind, des fournitures. Ce modèle économique est une forme de barter, de troc. Les européens fournissent le module Columbus et des vaisseaux cargos nommés ATV (Automated Transfer Vehicle) servant à ravitailler la station. Les japonais ont également fourni un module et un véhicule de fret appelé HTV (H-II Transfer Vehicle). Les canadiens ont fourni un bras, et les américains ont fourni presque tout le reste. Dans la partie occidentale, 76% appartiennent aux Etats-Unis, 8,6% à l'Europe, environ 12% au Japon. Les fournitures que chacun apporte ont été valorisées en dollars, nous considérons alors que l'Europe a contribué à tant, le Japon à tant. L'utilisation de l'ISS est régie par ces pourcentages. Lorsqu'un astronaute européen arrive dans la station pour effectuer des expériences scientifiques, les trois quarts reviennent aux américains. En réalité, il est difficile de compter ce temps de travail pour chaque



PROJET Février 2022

astronaute, alors c'est annualisé. L'envoi de matériel dans la station est aussi subdivisé selon ces pourcentages, pour respecter les quotas à l'année. La station spatiale est une sorte de copropriété, où chacun a un droit d'utilisation à proportion de ce qu'il a fourni, qu'il s'agisse de masse montante, de masse descendante, de débit de communication, d'heures de travail.

À côté, la partie russe est autonome. Il arrive de négocier pour qu'un astronaute russe prenne en charge une manipulation spécifique, mais toujours sous la forme de troc, sans échange de fonds. La mission de l'Europe est d'être un peu plus présente sur la future station lunaire Gateway. Mais le fonctionnement sera similaire: des accords se mettent en place pour fonctionner de la même façon.

EXTÉRIEUR. ASSEMBLER DES MODULES

L'objet de base de l'ISS est un module circulaire, de la forme d'un bidon. La fusée qui envoie le matériel détermine le volume et la forme du plus gros objet envoyé.

Pour pouvoir entrer et sortir de ces éléments de base, il existe des éléments appelés sas. Ils permettent d'accrocher un nouveau vaisseau arrivant dans la station, mais aussi de circuler du vaisseau au module sans scaphandre en respectant les pressions, le niveau d'oxygène, l'étanchéité. Les systèmes de fixation sont relativement standards: un cône au bout du module accueille la pointe du vaisseau. Cette forme permet que, sans viser juste, la pointe finisse forcément sa course dans la cible. Un système de rotation bloque l'ensemble et assure l'étanchéité et l'équilibre des pressions. Une fois que nous avons ce complexe de modules et de sas, si nous voulons agrandir la station, il faut accrocher et assembler les modules les uns aux autres, comme des Lego. En ligne, avec des structures allongées ou, pour optimiser le volume, en trois dimensions.

Ainsi il faut créer un système pour accrocher les modules dans l'autre sens, les nœuds. Ils ressemblent à des boites qui, plutôt que d'avoir un sas devant et un derrière, en ont en plus à droite, à gauche, en haut et en bas. À partir de

là, il est possible de raccrocher des modules dans les deux autres sens et finalement construire une architecture dans toutes les dimensions. C'est un jeu, un mécano. À y regarder de près, les modules ne sont pas tous exactement pareils, le module européen est un peu plus petit que le module de base américain, le module japonais est entre les deux. Ils n'ont pas tous cherché à optimiser le plus grand volume. Le nœud le plus particulier est entre la partie occidentale et la partie russe car les diamètres ne sont pas les mêmes.

Cette base de vie, dans laquelle on peut entrer, sortir, se déplacer, a ensuite besoin d'énergie. Les modules accueillent donc des panneaux solaires. La faible épaisseur et la petite taille des modules nécessitent d'ajouter des poutres et des treillis pour pouvoir étaler les champs de panneaux solaires qui pour être efficaces et avoir le meilleur rendement sont orientables. Selon l'orbite de la station, les panneaux solaires tournent pour toujours être en face du soleil. La contrainte du lanceur ne doit pas être oubliée: un panneau solaire immense ne pourra pas être monté en une seule fois. Cela obligerait à l'assembler dans l'espace, en combinaison, ce qui est dangereux. Nous privilégions donc des objets compressés, qui ont les dimensions requises et qui se libèrent une fois arrivés dans l'espace. Les satellites situés à 36000km de la Terre ont par exemple besoin de beaucoup de puissance, ils ont des mètres carrés de panneaux solaires. Ces derniers sont ainsi pliés et sanglés comme des origamis le long de la structure. Une fois dans l'espace les sangles sautent grâce au matériel pyrotechnique et les panneaux se libèrent tels des ressorts.

INTÉRIEUR. RESTITUER UNE VERTICALITÉ ARTIFICIELLE

L'intérieur de l'ISS est divisé en zones: les zones de laboratoire et les zones de vie. Le module européen Columbus est par exemple un laboratoire avec des racks et des instruments. La zone de vie comprend les couchages, le lieu des repas, les douches, les toilettes, la zone de sport. Les couchages sont des cabines avec le minimum, un placard. Les astronautes dorment debout, ou plutôt donnent l'impression qu'ils dorment debout alors qu'ils sont en réalité suspendus et accrochés pour ne pas se balader dans la station. La zone de pilotage permet de manipuler des bras robotiques pour faire de la manutention extérieure sans devoir sortir en scaphandre. Enfin une zone plus technique héberge des éléments qui servent à la station elle-même, comme la buanderie d'une maison: récupérer l'énergie, recycler l'oxygène et les eaux, filtrer.

Une particularité dans l'espace est l'absence de la sensation de verticalité. À la télévision nous voyons les astronautes tête en bas mais eux n'ont pas de bas ni de haut; ils n'ont pas cette impression pourtant très importante pour le cerveau. Sur Terre, trois senseurs nous donnent la verticalité: la vue, le corps par la proprioception, et l'oreille interne. Dans la station, le corps n'a plus de contraintes, il ne perçoit plus le haut et le bas. L'oreille interne indique que le bas est partout. Le cerveau reçoit donc deux informations complètement contradictoires. Le troisième capteur, la vue, est le dernier pouvant apporter une information stable. L'intérieur de la station est donc aménagé pour restituer une verticalité artificielle. Tout est aménagé comme une vraie maison, avec un bas et un haut. Il y a donc un plancher sur lequel on met moins de choses, un plafond un peu utilisé malgré tout, et des écritures toutes dans le même sens.

ENVELOPPE. RÉSISTER À L'ENVIRONNEMENT SPATIAL

L'enveloppe de l'ISS est constituée de couches successives qui portent chacune soit l'isolation thermique, soit la tenue mécanique. L'épaisseur est en moyenne une quinzaine de centimètres, ce qui est peu. L'analogie se fait souvent avec les systèmes sous-marins. Des questions identiques de transport et de montage se posent, il est compliqué de travailler dans l'espace comme dans l'eau, ce qui amène vers des solutions modulables assez similaires. Mais les contraintes mécaniques sont très différentes. Au fond de l'eau, la pression à tenir est énorme, tandis que dans l'espace le delta de pression est de

 $1\,\mathrm{bar}$, ce qui est très peu. Les parois servent surtout à se protéger de l'environnement extérieur qui est le vide. La difficulté est de tenir les amplitudes thermiques et de se protéger des radiations. A l'extérieur, suivant l'exposition au soleil, les températures varient entre -120 et +120°, tandis que l'intérieur de la station est maintenu entre 22 et 23°. La thermique est donc assurée par le multicouche et les drains. La lutte contre les radiations se fait par un choix de matières absorbantes.

Suivant les zones, les couches successives des parois ne sont pas homogènes. Les zones d'habitation et de couchages sont par exemple plus épaisses et mieux protégées car les radiations solaires sont plus fortes que sur Terre. À l'image des refuges lorsqu'il y a des ouragans, certaines pièces sont très protégées, en cas d'éruption solaire par exemple, s'il y a une dépressurisation ou lors des alertes avec des micrométéorites ou des débris, comme récemment lorsque les russes ont explosé un satellite qui a généré de nombreux débris et qui a traversé l'orbite de la station. Nous demandons alors aux astronautes d'aller dans les zones les mieux protégées, sachant que le refuge ultime est le vaisseau avec lequel ils sont arrivés. Les sas permettent aussi d'isoler et de protéger les modules.

EXPÉRIMENTER ET APPRENDRE

Les modules sont testés par simulation pour aboutir à un espace utile le plus grand possible, tout en respectant la contrainte maximum donnée par le lanceur. L'objectif est d'optimiser la taille du module et qu'il réponde aux fonctions pour lesquelles il est monté dans la station. Les sas doivent par exemple tenir le choc quand un véhicule se branche dessus. Au CADMOS, le processus de tests est assez classique. Nous commençons surtout par des simulations numériques, moins chères, qui permettent de tester différentes densités de matériaux, différents assemblages, différentes structures.

Au-delà de ces simulations, grâce aux expérimentations et aux vols précédents, il existe au CADMOS des spécifications de base à suivre. Des choses simples et bêtes, maintenant connues, qu'il faut intégrer d'entrée lorsqu'on conçoit quelque

chose qui vole dans l'espace. Un exemple concerne l'évacuation de la chaleur. Sur Terre, nous utilisons des systèmes de convection, un ventilateur tourne avec un composant chaud pour extraire de la chaleur. La gravité fait que l'air chaud monte et l'air froid descend. En microgravité, la chaleur ne peut pas s'évacuer ainsi, la convection est impossible. Il faut donc des systèmes de refroidissement forcé. Un second exemple concerne les matériaux, dont beaucoup sont interdits. Étant en milieu clos, ils pourraient dégazer et empoisonner les astronautes. Il y a donc une liste de matériaux non autorisés dans la Station. Cette pile de contraintes est la somme des expériences passées.

VERS DES ARCHITECTURES LUNAIRES ET MARSIENNES

L'architecture est de plus en plus importante dans la perspective de construire demain une base sur la Lune et après-demain sur Mars. Ces questions sont relatives à la notion d'exploration dont nous parlions au début. L'objectif est de faire vivre des personnes pendant très longtemps loin de la Terre. L'idée de base est donc l'autonomie et l'éloignement. Dans l'ISS, les astronautes regardent par le hublot et voient la Terre en entier, ils ne voient même pas qu'elle est ronde, elle est juste là, en dessous. Sur la Lune, la Terre est une grosse boule dans le ciel, plus grosse que ce que nous voyons de la Lune, mais tout de même, s'il y a un problème, trois jours de voyage sont nécessaires. Sur Mars, les astronautes verront un point lumineux. Certains reconnaîtront la Terre car elle brillera peut-être un peu plus mais la plupart des gens ne voient pas Mars lorsqu'ils regardent le ciel ou la confondent avec une étoile. Si vous avez besoin de rentrer, c'est six mois ou un an de voyage. La sensation d'être abandonné et seul est très importante.

Construire un environnement rassurant, qui rapproche de la Terre, est nécessaire pour résister au confinement. Une des façons d'avoir un lien avec la Terre, de rappeler la Terre, est donc de donner une place aux architectes et designers dans la conception. Faut-il penser l'organisation des pièces et des chambres autrement, pour qu'elles soient plus intimes

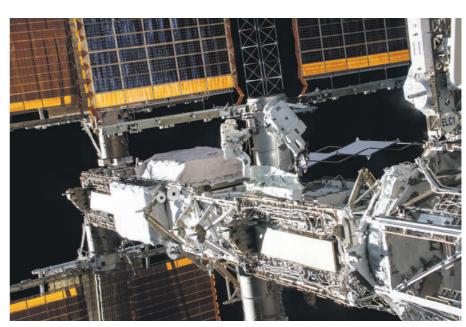
et qu'elles rappellent la Terre aux occupants. Comme la réalité virtuelle qui permet d'immerger dans des paysages familiers, l'habitat peut avoir un bénéfice psychologique et même physiologique sur les astronautes, qui doivent être en forme, travailler et mener des expériences sur place. À l'avenir, les architectes auront donc leur place dans l'exploration spatiale de la Lune et de Mars. Ils auront un rôle qu'ils n'ont pas eu à jouer dans l'ISS du fait de l'approche au départ très opérationnelle et des contraintes de coûts liés aux lancements.

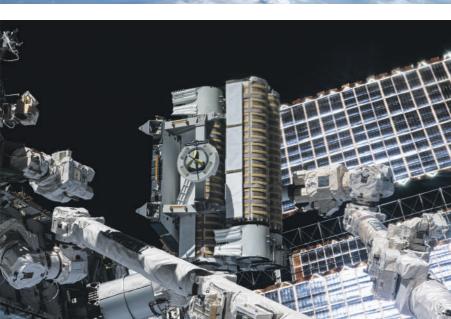
Aujourd'hui, dans le cadre de l'exploration de la Lune et de Mars, nous commençons à travailler avec des architectes, Jacques Rougerie ou Spartan. C'est assez innovant pour nous. Sur la création d'une base lunaire, les approches sont nombreuses et différentes. Il est possible d'imaginer d'autres structures que l'ISS car il sera possible d'assembler des choses sur place. Certains projettent des choses terrestres sur la Lune, des habitats avec beaucoup de vitres, des serres par exemple où des arbres pousseraient. Ce serait évidemment beau dans un milieu de désolation de pouvoir se promener dans une serre avec des fleurs, mais les contraintes de rayonnement et les différences de températures sont telles que c'est aujourd'hui impossible. Le plus probable est que l'on vive dans des choses qui sont complètement fermées, protégées, enterrées pour se protéger de l'environnement extérieur hostile. Les serres pourront être présentes, mais sans la vision du ciel extérieur. Entre les approches pratiques et les approches qui extrapolent un habitat terrestre sur la Lune, le compromis sera probablement un entre-deux. Ces recherches ne concernent pas encore la station Gateway qui ressemblera beaucoup à l'ISS. La Lune ne sera pas fondamentale pour poursuivre dans ce sens, mais elle nous intéresse car elle prépare le voyage sur Mars. Elle est le moyen de tester de nouvelles technologies et de prendre en compte, même si l'éloignement n'est pas aussi fort, ces aspects dans la conception •

Retranscription d'une discussion entre Sébastien Barde et Fanny Vallin.

PROJET Février 2022









De haut en bas, de gauche à droite: Le bras robotique Canadarm 2, © www.nasa.gov — Opération dans l'espace de Thomas Pes et Akihiko Hoshide, © www.nasa.gov — Source d'alimentaion ROSA (Roll-Out Solar Arrays), © www.nasa.gov — Départ du cargo russe Progress, © ESA / NASA / T.Pesquet, 2021 Joana Vilaça, Thanat Prathnadi

Node 1: un nouveau paradigme pour le Big Data dans l'espace

Architectes junior

Ce projet est issu du studio Datapolis, un cours de 10 semaines organisé pendant le Master d'Architecture à l'université de technologie de Delft (TU Delft). Il s'agit d'une option de recherche et de conception qui vise à étudier les impacts physiques des données sur l'environnement bâti. Le studio a enquêté sur plusieurs thématiques liées au Big Data, dont l'espace.

₩ i.. 190 p.12 ENQUÊTE

LA CONQUÊTE SPATIALE

L'histoire de l'exploration spatiale est ancrée dans les aspirations des nations les plus puissantes du vingtième siècle. Avec la fin de la guerre froide, l'attrait de l'espace a dépassé les intérêts nationaux et politiques et comprend des objectifs plus scientifiques, orientant l'attention vers l'exploration de l'espace (avec la création de missions visant Mars, Jupiter et au-delà) et, ce qui est plus intéressant encore, de la Terre. Grâce à des satellites en constante évolution, être dans l'espace nous a permis de regarder notre propre planète et de collecter des informations vitales qui ont contribué à façonner le monde moderne.

Des centaines de satellites ont été fabriqués et envoyés en orbite pour mesurer et étudier divers aspects de la Terre tels que la météo, la masse terrestre, la température de surface de la mer et la pollution, ainsi que pour fournir des services tels que la localisation, le téléphone et la connexion Internet. Au fil du temps, les données recueillies ont permis aux scientifiques d'analyser des tendances (telles que le trou d'ozone grandissant, l'augmentation des niveaux de CO2, etc.) faisant de la collecte de données un élément crucial pour surveiller les changements climatiques dans le monde. Les images satellite sont également utilisées pour surveiller les zones protégées et garder la trace des crimes environnementaux tels que la déforestation, devenant par là-même de potentielles preuves contre les coupables.

Ces satellites génèrent chaque jour une quantité extraordinaire de données. La gestion de ces données est essentielle à la longévité des missions spatiales. Cependant, leur stockage est un défi majeur, il nécessite une alimentation énergétique importante, constante et fiable. En outre, la quantité de données collectées par les missions d'observation de la Terre devrait augmenter dans les années à venir, ce qui entraînera un besoin de stockage toujours plus grand. Les organisations spatiales sont donc amenées à trouver de nouveaux moyens de traiter, distribuer et stocker efficacement ces informations.

I. LES DISPOSITIFS D'OBSERVATION DE LA TERRE : L'ÉCOSYSTÈME SPATIAL

Satellites

La question du stockage des données se pose depuis longtemps. Le philosophe français Bernard Stiegler a élaboré la théorie des «hypomnemata» à partir du concept de Michel Foucault (1), qui associe l'essor de la civilisation à la capacité d'enregistrer et de stocker efficacement des informations pour les générations futures. Tout ce que nous savons aujourd'hui est basé sur l'accumulation de connaissances issues de découvertes passées, et l'évolution des satellites est aussi ancienne que l'intérêt de l'humanité pour l'observation de la Terre depuis le sol.

La première photographie aérienne connue a été prise depuis une montgolfière arrimée par le photographe français Nadar en 1858. Cet événement marque un changement de paradigme dans la collecte de données, la documentation passant de l'horizontale à la verticale. Moins d'un siècle plus tard, les technologies d'observation de la Terre ont évolué de manière exponentielle (en partie accélérée par la Seconde Guerre mondiale) jusqu'au lancement dans l'espace de Spoutnik, le tout premier satellite, en 1957. Deux ans plus tard, la toute première image de la Terre depuis l'espace est offerte à l'humanité, prise par le satellite Explorer 6 en 1959. Depuis lors, plus de 9000 satellites ont été lancés en orbite. Alors que les nouvelles fusées permettent de transporter davantage de satellites dans l'espace à chaque lancement, le nombre total de satellites dans l'espace augmente drastiquement chaque année avec un nombre de lancements annuels relativement constant.

Le cycle de vie des satellites varie en fonction de leur taille. Les plus gros sont en service pendant 10 à 15 ans. Une fois la construction du satellite achevée, celui-ci est transporté par camion ou par avion jusqu'à un spatioport et inséré dans la coiffe du lanceur, en attendant d'être mis

en orbite. Après plusieurs procédures de lancement orchestrées à distance depuis un centre de contrôle sur Terre, le satellite est complètement séparé de la fusée et commence à fonctionner de manière autonome en se déplaçant vers l'orbite souhaitée, en envoyant et en recevant les signaux de stations à la surface de la Terre. Après des années de fonctionnement, le satellite finit par manquer d'énergie. Soit il est désorbité et brûle dans l'atmosphère, soit il utilise son dernier carburant pour se propulser sur une orbite cimetière, à près de 36000 km de la Terre, où il est abandonné tel un «déchet spatial».

Février 2022

Infrastructures spatiales imaginées par d'anciens chercheurs

Wernher von Braun était un ingénieur allemand spécialisé dans l'astronautique des fusées et architecte spatial. Il était l'un des principaux ingénieurs en fusées de l'Allemagne nazie et a contribué à la conception et au développement de la fusée V-2, le premier objet artificiel à voyager dans l'espace en 1944. Après la Seconde Guerre mondiale, dans le cadre de l'opération Paperclip, il a été secrètement transféré aux États-Unis, avec environ 1600 autres scientifiques, ingé nieurs et techniciens allemands et a développé les fusées qui ont lancé le premier satellite artificiel américain Explorer 1 en 1958. En 1952, la série d'articles du magazine Collier's Weekly intitulée «Man Will Conquer Space Soon!» publie le premier projet de station spatiale avec équipage de von Braun. Ces articles sont illustrés par Chesley Bonestell, l'un des meilleurs illustrateurs de l'époque. Von Braun travaille alors souvent avec son compatriote Willy Ley, défenseur de l'espace et écrivain scientifique d'origine allemande, pour publier ses projets qui, comme on peut s'y attendre, font la part belle à l'ingénierie et anticipent de nombreux aspects techniques des vols spatiaux devenus plus tard réalité. En 1960, le groupe de von Braun est intégré à la NASA, où il est dès lors l'architecte en chef de la fusée Saturn V qui a transporté le vaisseau spatial Apollo sur la Lune en 1969.

Le mot «spatioport», aussi appelé «cosmodrome», est traditionnellement utilisé pour désigner les sites capables de lancer ou de réceptionner des engins spatiaux et des satellites en orbite autour de la Terre ou sur des trajectoires interplanétaires. Les spatioports varient considérablement en termes de formes et de tailles (de 0,01 à 6700 km²), mais ils ont tous en commun la nécessité d'être placés dans une zone à faible densité de population et à proximité de l'eau en cas d'urgence. Actuellement, l'Europe ne possède pas de spatioport sur son continent, l'Agence Spatiale Européenne étant basée en Guyane, en Amérique du Sud.

En raison de la complexité et de l'ampleur de l'opération, un lancement spatial peut être préjudiciable à l'environnement. Lors du lancement d'une fusée Falcon 9 de SpaceX, l'oxygène liquide et le kérosène utilisés pour alimenter le lancement sont brûlés et transformés en plus de 400 tonnes de dioxyde de carbone, soit plus que les émissions d'une voiture en 200 ans. Pour cette raison, les scientifiques ont commencé à spéculer sur la possibilité de changements conceptuels radicaux pour les futurs lancements. Parmi les hypothèses envisagées, l'université spatiale internationale a mené une étude sur la construction de spatioports en dehors de la Terre. L'étude conclut qu'en plaçant des spatioports de type «Node 1» en orbite terrestre basse, les coûts de transport des objets vers l'orbite géosynchrone peuvent être réduits de 44%. Cela s'explique par le fait que la majeure partie de l'énergie consommée lors du lancement d'une fusée est utilisée pour que la fusée se propulse à travers l'atmosphère terrestre. La construction d'un spatioport de type «Node 1» en orbite éliminerait la plupart des carburants nécessaires à l'alimentation d'un vaisseau spatial et permettrait en outre aux vaisseaux en route vers d'autres planètes d'être ravitaillés en carburant lors de leurs arrêts.

Histoire du stockage des données

Tout au long de l'histoire, les données n'ont été stockées que sous forme de textes, de symboles ou d'images. En 1725, une nouvelle forme de stockage a été instaurée. La carte perforée est une bande continue de papier perforé utilisée pour stocker des profils plutôt que des données réelles, par exemple, les profils de réglages de diverses machines. Elle permet alors de stocker davantage d'informations dans un espace plus restreint, accélérant ainsi la capacité des humains à produire et à traiter de nouvelles données. Au cours des deux siècles suivants, de nouvelles méthodes analogiques de stockage des données ont été lancées - tels la bande magnétique, le disque dur et la cassette compacte-chacune successivement nettement plus avancée et efficace que la précédente. C'est en 1972 que la première méthode numérique de stockage de données a vu le jour: la disquette, suivie, une décennie plus tard, par le disque compact, ou CD, nouveau format marquant mis au point par les géants de la technologie Philips et Sony. En 1986, la quantité de données numériques ne représente que moins d'un pour cent du total des données mondiales, la grande majorité étant encore stockée sous forme analogique. Toutefois, l'avancée rapide des nouvelles technologies au cours des deux décennies suivantes a fini par inverser la tendance, notamment par l'introduction du «cloud computing» en 2006, qui est une mise à disposition des ressources d'un système informatique à la demande, notamment en ce qui concerne le stockage des données et la puissance de calcul, sans gestion active directe par l'utilisateur. On estime alors à la date de son lancement que d'ici 2020, environ 1/3 de toutes les données seraient traitées par le cloud. Cette quantité a en réalité été bien supérieure.

Données et observation de la Terre

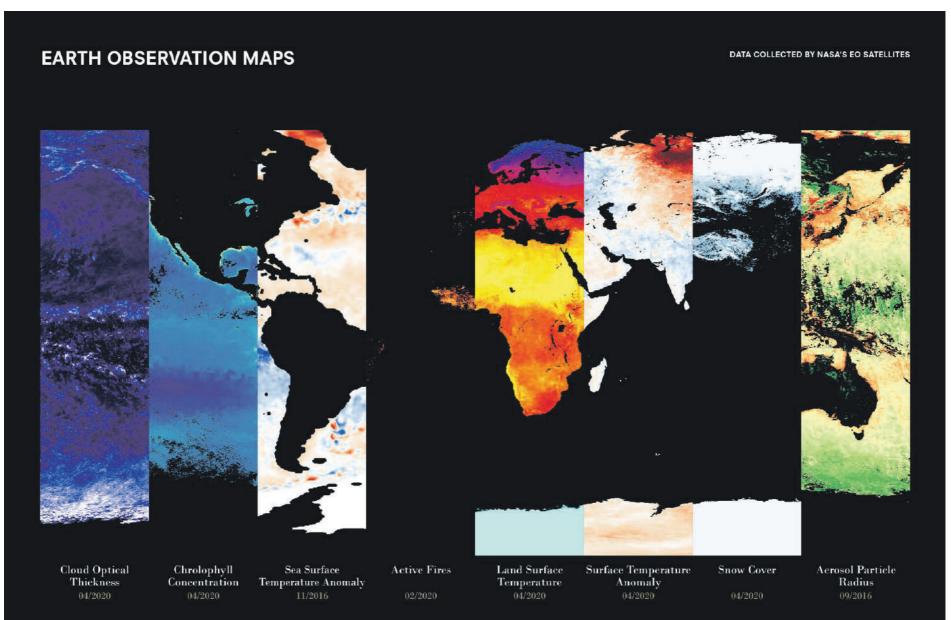
Au cours des dernières décennies, nous avons assisté à une croissance exponentielle de la quantité de données créées

dans le monde. Ceci est dû à un nombre croissant d'utilisateurs ayant accès à internet, mais aussi à des avancées technologiques qui permettent un stockage et une gestion des données plus importants que jamais. De la même manière, les agences spatiales connaissent également une croissance rapide du volume de données recueillies dans le cadre de leurs nombreuses missions d'observation de l'espace et de la Terre. La quantité massive, la variété et la vitesse des données collectées sont qualifiées de Big Data et nécessitent des installations de stockage performantes ainsi qu'une capacité de gestion et de traitement efficace des données. Selon Michael Shannon, «Un unique projet (NASA) est capable de collecter jusqu'à des centaines de téraoctets de données.»

Afin de stocker le volume important de données collectées, l'Agence spatiale nationale a adopté un système de stockage diversifié qui dispose d'une plateforme de type cloud sophistiquée, utilisée principalement par des organisations commerciales géantes telles qu'Amazon et Google. Quant à la NASA, elle utilise le Big Data par le biais de l'ASDC (Atmospheric Science Data Center), situé dans son centre de recherche à Langley. L'ASDC est responsable de l'archivage, du traitement et de la distribution des données des sciences de la Terre de la NASA. Les informations de l'ASDC sont cruciales pour aider les scientifiques à comprendre les causes du changement climatique ainsi que les processus atmosphériques. Elles peuvent également aider la population mondiale à comprendre les effets des actions humaines sur le climat au cours des dernières années.

Le Big Data est essentiel à la science moderne car il permet de mieux comprendre les systèmes à l'œuvre sur notre planète. En combinant des décennies de données sur les évaluations atmosphériques, les relevés de température et les informations océaniques, il est possible de créer des modèles pour prédire les événements futurs, ce qui est particulièrement pertinent pour suivre le changement climatique. À ces fins, des quantités massives de données sont nécessaires pour obtenir des modèles mondiaux précis. Actuellement, l'ensemble des archives d'observation de la

₽ i.. 190 p.13 **ENQUÊTE** Février 2022



Différentes données collectées par les satellites de la Nasa, source: https://neo.gsfc.nasa.gov

Terre de la NASA représente 33,6Po (2) de données. En comparaison, on estime que les archives du Congrès américain ne contiennent que 20 To de données. Si les prévisions actuelles de collecte de données sont exactes, la NASA et les autres agences spatiales seront confrontées à un problème de stockage de données de grande ampleur dans la mesure où le nombre de missions augmente et que davantage de satellites sont mis en orbite, augmentant ainsi la quantité de données collectées. On estime que d'ici 2039, la NASA disposera de 350Po de données dans les dépôts de ses archives, soit 10 fois plus qu'aujourd'hui.

Futurs Data Centers

La NASA cherche actuellement des solutions durables pour le stockage des données et se convertit progressivement à un système de stockage basé sur le cloud, en collaboration avec des centres de données appartenant à Amazon et Google. Pourtant, le problème reste identique. Si les centres de données s'efforcent d'accueillir l'immense volume de données qui sera produit dans un avenir proche, le principal problème lié au contrôle thermique de la salle informatique accueillant les serveurs persiste. Pour des performances optimales, la température doit rester inférieure à 21 °C et des systèmes de ventilation mécanique très énergivores sont souvent utilisés pour y parvenir. Environ 40% de l'énergie totale consommée par un centre de données standard est utilisée uniquement pour son refroidissement.

De futurs prototypes de stockage de données sont en cours de test. L'un d'eux utilise un module sous-marin avec un flux d'eau continu afin de refroidir passivement ses composants. Une autre option se concentre sur la transmission de données à distance. Il s'agit de modules circulaires où les modules de stockage se font face afin de communiquer par le biais d'émetteurs optiques et de photodétecteurs ou encore d'ondes radio. Néanmoins, il n'est pas envisageable de déplacer tous les centres de données en Sibérie et on ignore toujours l'impact qu'aurait un réseau mondial de centres de données sous-marins sur le réchauffement des océans.

C'est pourquoi le stockage des données dans l'espace est étudié comme une alternative viable aux problématiques actuelles. L'énergie solaire disponible dans l'espace fournit une source d'énergie ininterrompue et durable. Les réseaux de communication, de plus en plus sophistiqués, en font une proposition attrayante. Plus important encore, la température extrêmement basse dans l'espace rend superflue la nécessité constante de refroidir les supports de données.

Parties prenantes de l'espace

Aux premiers stades de l'exploration spatiale, ses principaux acteurs étaient les agences spatiales gouvernementales (et notamment la NASA et le programme spatial soviétique). Ces dernières années, les intérêts commerciaux dans l'espace ont prospéré grâce à des entreprises privées innovantes. Cependant, l'utilisation civile de l'espace n'en est qu'à ses débuts. Ce n'est qu'en 2020 que des projets civils commencent à prendre forme, comme Galileo, le système de navigation de l'UE.

Comme on l'a fréquemment observé dans l'exploitation des ressources sur Terre au cours de l'histoire, la rentabilité financière reste l'un des défis majeurs de l'exploration spatiale pour les entreprises privées. Empêcher l'exploitation des ressources est un sujet particulièrement sensible quand il s'agit de l'espace. Le Traité sur l'Espace Extra-atmosphérique de 1967, qui reste l'un des rares cadres juridiques constitutionnels du droit de l'espace, ne constitue qu'un certain nombre de règles non-explicites suggérant que les activités spatiales doivent être limitées à des fins strictement pacifiques et établit que l'espace doit pouvoir être exploré et utilisé librement par toutes les nations.

D'un autre côté, le Commercial Space Launch Competitiveness Act de 2015 à l'initiative des États-Unis renforce encore l'inégalité entre les nations exploratrices et celles en développement. Il établit qu'un «citoyen des États-Unis d'Amérique engagé dans la valorisation commerciale d'une ressource astéroïde ou d'une ressource spatiale, en vertu du présent

chapitre, est habilité à posséder, transporter, utiliser et vendre toute ressource astéroïde ou ressource spatiale obtenue [...]».

Ces réglementations ne feront qu'inciter les futures entreprises privées à se faire concurrence pour l'accès aux ressources, en apparence illimitées, qui attendent d'être récupérées dans l'espace et vendues sur Terre, plutôt que d'encourager toutes les nations à coopérer pour un objectif commun plus important. Cette croissance rapide des intérêts privés dans l'espace encourage les citoyens du monde à reconnaître l'importance et l'urgence de la présence de projets civils au-delà de la Terre, afin d'introduire un réseau décentralisé au profit d'utilisations civiles et une approche libre pour tous et toutes des diverses exploitations de et dans l'espace, qu'il s'agisse du stockage de données ou de la propriété même de l'espace.

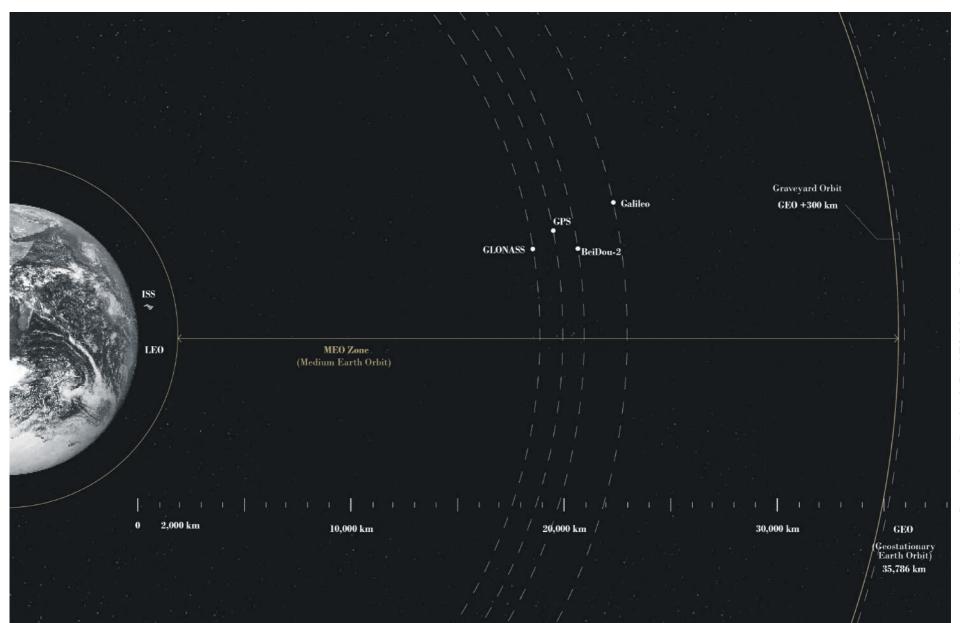
Plus récemment, les entreprises comme SpaceX et Blue Origin entraînent une croissance de l'utilisation commerciale de l'espace. Des projets privés tels que Starlink, un système internet mondial, qui à lui seul envisage d'envoyer 42000 satellites autour de la Terre, sont en cours de développement.

III. NODE 1 : IMAGINER UNE ENTITÉ SPATIALE AUTONOME ET RÉGULATRICE

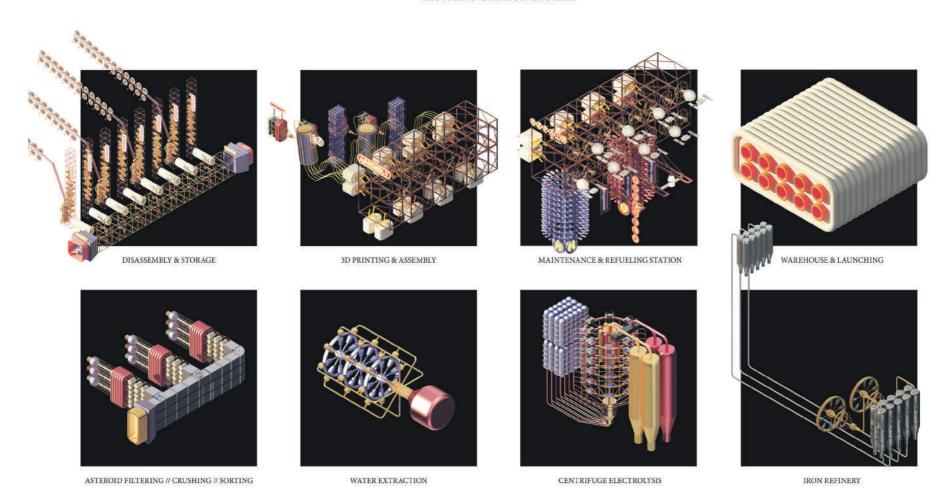
Comme point de départ pour imaginer une vision prospective de l'espace, il s'agit de comprendre ce qui se passerait si le ciel était habité par d'innombrables satellites dont la présence ne fait qu'augmenter. L'orbite terrestre basse (OTB) sera alors encombrée d'un nombre toujours croissant d'engins spatiaux.

Ces centaines de milliers de satellites fournissent toutes sortes de données précieuses, depuis les relevés atmosphériques jusqu'au réseau internet mondial, en passant par un système de stockage des données spatiales. Cependant, étant donné le vide réglementaire actuel, il est possible que cette technologie soit utilisée à mauvais escient soit par des sociétés privées soit par des nations non coopérantes. Ces satellites pourraient alors être utilisés pour diffuser des publicités ou encore des messages politiques.

ENQUÊTE Février 2022



Position des satellites dans la Zone MEO (Medium Earth Orbit, orbite terrestre moyenne)



ASTEROID MINING

ENQUÊTE Février 2022

Aujourd'hui, l'effet catastrophique potentiel de ces satellites est déjà visible. Les 400 premiers satellites de Starlink ont déjà été déployés et ont été repérés dans le monde entier, polluant le ciel nocturne. Leur présence est particulièrement problématique pour les astronomes, qui ont besoin d'un ciel dégagé pour observer l'univers. Il en va de même pour les animaux migrateurs dont la navigation est orientée sur les étoiles, et ce dans toutes les espèces depuis les bousiers jusqu'aux phoques. Plus il y a de satellites dans l'espace, plus la pollution des signaux sur Terre est élevée et plus les risques de collision sont importants. Dans le pire des cas, connu sous le nom de syndrome de Kessler, la collision de deux objets en mouvement rapide en OTB suffirait à déclencher une réaction en chaîne capable de détruire partiellement ou totalement tous les vaisseaux spatiaux en orbite.

Le développement de nouvelles technologies liées à l'exploration spatiale continue de contribuer à l'avancement de la science et profite à de nombreux domaines. Selon les recherches précédemment citées, trois grands récits devraient jouer un rôle dans l'avenir de l'espace: les missions d'observation de la Terre, le stockage de données dans l'espace et l'exploitation minière des astéroïdes. Ces systèmes illustrent les aspirations environnementales et les politiques actuelles de l'humanité envisagées pour l'espace. En même temps, la croissance non réglementée de l'industrie spatiale pourrait avoir de réelles implications pour la Terre et son orbite en ce qui concerne la congestion des satellites, les conflits géopolitiques, l'exploitation des ressources matérielles et énergétiques ainsi que d'autres préoccupations environnementales.

Le Spatioport Node 1

Sur la base des impacts possibles sur la Terre induits par les futures missions d'observation, nous avons imaginé une intervention architecturale. Le projet envisage l'existence d'un spatioport Node 1 en orbite terrestre basse comme service de régulation autonome pour toutes les activités spatiales. Dans un premier temps, Node 1 éliminera progressivement

puis remplacera toutes les activités terrestres de fabrication et de lancement d'engins spatiaux, remettant ainsi en question les impacts physiques négatifs de l'Anthropocène sur la Terre et sur ses ressources. Le nouveau réseau régulera les nouvelles activités spatiales, telles que l'exploitation minière d'astéroïdes, en limitant le nombre et le type d'engins spatiaux produits. Dans ce scénario, le spatioport Node 1 deviendrait une entité indépendante, physiquement détachée de la Terre, qui soutiendrait les missions spatiales existantes. Outre son rôle d'organe législatif dans l'espace, les principales fonctions du spatioport Node 1 comprennent le recyclage, la fabrication, l'entretien et le lancement d'engins spatiaux. Un réseau de stockage de données en orbite terrestre moyenne appartenant à la population civile remettra en question le modèle actuel de propriété des Data centers présents sur Terre afin d'adopter une approche plus durable et gratuite pour tous et toutes. Les matériaux et les propulseurs nécessaires à l'ensemble du système seront produits dans l'espace à travers l'exploitation des astéroïdes, au lieu de puiser les ressources terrestres. Trois types d'astéroïdes seront exploités, fournissant des ressources différentes: le type C contient de l'eau, qui doit être transformée en hydrogène et en oxygène pour le carburant; les types S et M sont riches en fer et peuvent être transformés en acier pour les infrastructures.

Ce spatioport est une tentative de gérer et de réduire efficacement les débris spatiaux en orbite autour de la Terre, tout en assistant les missions spatiales existantes et futures. Il fournit l'infrastructure nécessaire pour recycler et réutiliser les objets spatiaux inactifs, et pour transformer les débris flottants en engins spatiaux utiles. Par ailleurs, les satellites actifs seront alimentés en carburant supplémentaire afin de prolonger leur durée de vie. Par rapport aux spatioports terrestres, le spatioport Node 1 réduira considérablement la quantité de carburant nécessaire par lancement, ceci étant dû à l'absence de traînée atmosphérique dans l'espace. Par conséquent, il servira de base idéale entre la Terre et les missions interplanétaires. Les données seront relayées par laser

vers et depuis le spatioport Node 1, les stations terrestres et d'autres vaisseaux spatiaux via un réseau de modules de stockage de données en orbite terrestre moyenne.

Le spatioport est basé sur la logique d'une chaîne de montage, où chaque composant est placé dans une séquence de production, de l'amarrage et du triage au ravitaillement et au lancement. Il s'agit d'un système entièrement automatisé, commandé par une série de bras robotisés. Les bras sont soutenus par une structure en forme de tronc qui alimente chaque module en énergie vitale, en matériaux et en données (par le biais d'une série de câbles). En général, le langage architectural du spatioport est emprunté aux paysages industriels que constituent raffineries et entrepôts, ainsi qu'aux villes portuaires et aux centres de données. Certains éléments ont dû être adaptés à un environnement en apesanteur, comme la chambre d'électrolyse et la chaudière en métal. Ceux-ci ont été intentionnellement concus pour créer les forces centrifuges nécessaires au fonctionnement de l'ensemble dans l'espace, soumis à la présence d'éléments rotatifs et circulaires. Enfin. chaque composant a une forme différente, mettant ainsi en évidence sa fonction spécifique au sein du système. La géométrie globale du spatioport rappelle la disposition d'une puce informatique, où les différents composants sont organisés pour travailler ensemble et créer de l'ordre dans le vide.

En nous tournant vers l'avenir de l'exploration spatiale, il devient clair que la Terre doit rester la priorité, quelle que soit l'ampleur de l'opération. Les opérations en cours dans l'espace sont essentielles à notre mode de vie moderne, fournissant des données cruciales qui nous permettent de mieux comprendre et de préserver notre planète. Cependant, le défi demeure, il s'agit de savoir si nous pouvons gérer de telles réalisations sans épuiser les ressources sur Terre. Ce projet est ainsi une tentative d'imaginer à nouveau les façons dont les matériaux et les ressources sont récoltés, fabriqués ou recyclés pour l'avenir des missions spatiales •

(1) Foucault, Michel. «Self Writing». Ethics: Subjectivity and Truth. New York: The New Press, 1997. (2) Po: Pétaoctet. 1 Po représente 1 million de milliards d'octets.

Serge Chevrel

Habiter sur la Lune

Astronome à l'Institut de Recherche en Astrophysique et Planétologie (IRAP, CNRS/Université Toulouse III)

Serge Chevrel est spécialiste de la géologie de la Lune et de l'exploration lunaire.

i.. 190 p.16 CRITIQUE Février 2022

LA SURFACE DE LA LUNE : UN ENVIRONNEMENT TRÈS HOSTILE

Entre juillet 1969 et décembre 1972, six modules lunaires (LM) se sont posés sur la Lune lors des missions Apollo (USA). Lors des trois dernières missions (Apollo $15 \, \text{à} \, 17$) les astronautes ont séjourné pendant trois jours sur la Lune pour l'explorer. Ils vivaient dans leur vaisseau, dans un habitacle pressurisé de seulement 6 m³. Le module lunaire, ainsi que les combinaisons spatiales revêtues par les astronautes pour les marches lunaires, étaient conçus pour pouvoir survivre dans l'environnement extrêmement hostile de la Lune. En effet, en l'absence d'atmosphère la surface lunaire est directement soumise aux radiations solaires et cosmiques, au bombardement micro-météoritique (des particules qui percutent la Lune à une vitesse de l'ordre de 20km/s), et à des écarts de température qui varient entre 130°C le jour et -170°C la nuit (le jour lunaire dure 15 jours terrestres, de même que la nuit). Sans aucune protection le temps de survie sur la Lune n'est que de quelques secondes. La vie des astronautes dépend donc entièrement du bon fonctionnement des systèmes qui éent et entretiennent dans l'habitacle une atmosphère res pirable, et de ceux qui fournissent l'eau et l'énergie.

Dans le futur, l'exploration de la Lune nécessitera des temps de séjours de plusieurs mois. Les astronautes ne vivront plus dans leurs vaisseaux, mais dans des habitats, lesquels seront à terme occupés de façon permanente, tout comme l'est la station spatiale internationale (ISS), depuis 2000. Pour construire une partie de ces habitats, et pour les faire fonctionner, on devra utiliser les ressources que l'on trouvera sur place. On devra aussi développer des moyens de transport pour se déplacer au sol, et pour commuter avec une station placée en orbite lunaire. Toutes les infrastructures réalisées sur la Lune serviront de test et de socle pour une implantation à plus long terme sur Mars, où les temps de séjours se compteront en années, et où il faudra obligatoirement exploiter les ressources disponibles sur place pour

survivre et revenir sur Terre. Avec le programme ARTEMIS les États-Unis ont pour objectif un retour des humains sur la Lune dans la seconde moitié de cette décennie. La logique est donc de développer une base lunaire habitée de façon permanente, en préparation à une installation durable sur Mars. Le passage par la Lune est donc une étape essentielle qu'il faut réussir. Pour vivre sur la Lune ou sur Mars, l'eau et l'oxygène sont des ressources qui valent de l'or! L'eau, à partir de laquelle on peut extraire l'oxygène, est plus facilement exploitable sur Mars que sur la Lune. Sur cette dernière, on la trouve au fond de quelques cratères situés au pôle sud. Mais la majorité de l'oxygène sera extrait directement des roches ou du régolite lunaire, qui en contient en moyenne 45% en masse. Le régolite est une couche de plusieurs mètres d'épaisseur qui recouvre toute la Lune. Il est constitué des roches initialement présentes en surface qui ont été fragmentées (jusqu'à la taille de fines poussières) et partiellement fondues sous l'action répétée du bombardement météoritique. On connaît les procédés pour retirer l'oxygène du régolite, mais ils sont difficiles à mettre en œuvre et consommateurs d'énergie.

CONCEVOIR UN HABITAT LUNAIRE

Le développement d'une base lunaire, même très embryonnaire, représente un énorme challenge technologique. Un impératif sera d'une part de recycler entièrement tous les produits engendrés par son fonctionnement, et d'autre part de ne pas polluer l'environnement lunaire, afin de continuer de l'étudier à des fins scientifiques. Notons que les études faites en ce sens auront très vite des applications bénéfiques pour la Terre! La création d'une base lunaire telle qu'on peut la voir dans les films de science-fiction se fera par étapes, dont on ne connait pas encore le planning. On commencera par un avant-poste constitué d'un réseau d'habitats plus ou moins indépendants. Au risque de décevoir ceux qui imaginent des habitations lunaires à l'architecture très esthétique et très

futuriste, il est plus que probable que ces dernières seront recouvertes d'une épaisseur métrique de régolite ramassé en vrac, afin de se protéger des radiations et du bombardement météoritique. Une solution très simple est de placer un module habitable dans un cratère peu profond et le recouvrir de régolite. Les structures ne seront donc quasiment pas visibles de l'extérieur! Cette protection est aussi nécessaire pour en particulier éviter les dégradations dues aux impacts des particules du régolite qui sont éjectées par le souffle des gaz des moteurs au moment des alunissages et des décollages des vaisseaux. À la longue ces effets de souffle sont dévastateurs pour tout ce qui se trouve en surface sans protection. Le design de toutes les infrastructures au sol devra tenir compte de cela. Sur la Lune, la poussière du régolite règne en maître! Tous les astronautes qui ont marché sur la Lune ont dit qu'elle constituait un véritable fléau. Cette poussière très fine s'insinue partout et elle grippe tous les mécanismes. De plus, étant très abrasive, elle est très toxique quand elle est inhalée. Le combat contre la poussière sera incessant, avec pour obligation d'éviter qu'elle ne pénètre à l'intérieur des habitats.

Des prototypes d'habitats lunaires sont actuellement à l'étude. Ils sont pour l'instant d'une conception très basique, un peu comme pour l'ISS. Mais dans le futur on devra accor der une grande importance à l'architecture intérieure et au confort des astronautes afin de maintenir ces derniers au maximum de leurs capacités pour accomplir leurs tâches. À l'extérieur comme à l'intérieur de leurs habitats ils auront en effet beaucoup à faire. Dès le début, on prévoit d'équiper les habitations de laboratoires pour analyser les échantillons lunaires sans attendre de les ramener sur Terre. Habiter sur la Lune se fera au prix de grandes contraintes et exigences, mais sera une expérience extraordinaire à vivre. Tous les astronautes d'Apollo ont mentionné la beauté des paysages lunaires malgré leur aridité et leur dureté. Tandis qu'il foulait le sol de la Lune peu de temps après Armstrong, Aldrin l'a très bien résumé en quelques mots: «c'est une magnifique désolation»! Bientôt des humains apprendront à vivre dans cette magnifique désolation •