



pouvant aller jusqu'au mm/s). Une série de commandes est alors programmée et transmise à la sonde par l'intermédiaire du DSN.

Une fois les corrections effectuées, des mesures de distance et de vitesse sont à nouveau prises et comparées à l'orbite théorique, etc. Cassini par exemple a exécuté 17 TCM durant les 7 ans qu'ont duré son voyage jusqu'à Saturne et plusieurs autres ajustements par la suite afin de pouvoir observer Titan et d'autres satellites.

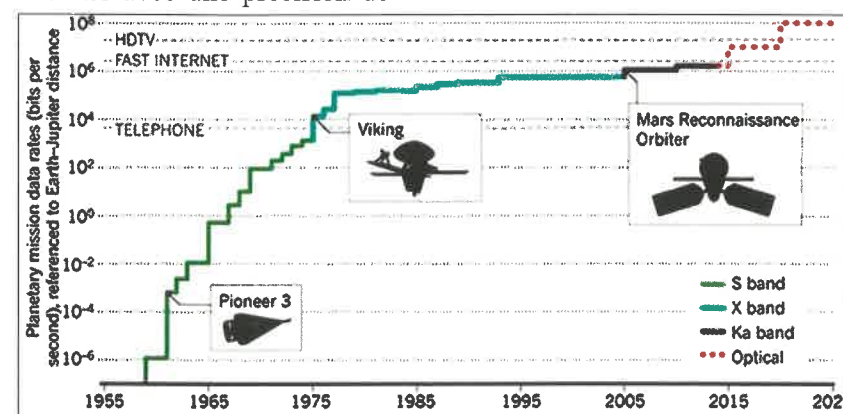
Utilisation du réseau pour la recherche

En plus de communiquer avec les sondes, le Deep Space Network consacre également environ 3 % de son temps à soutenir les recherches basées sur des observations faites depuis le sol. En effet, les antennes peuvent servir de radiotélescope. Elles sont très sensibles, déjà organisées en réseau et leur position très éloignées les unes des autres permet d'avoir la meilleure précision de calcul possible pour des appareils sur Terre. Elles viennent donc en soutien à un réseau de télescopes qui utilise, entre autres, une technique

appelée VLBI (very long baseline interferometry). Cette technique mise au point dans les années 60, consiste à mesurer la différence entre les horaires d'arrivée sur Terre d'ondes radio émises par un quasar (tellement éloigné que les ondes émises sont considérées comme planes). En raison de la petite taille de la Terre, la précision de mesure du temps est cruciale (quelques picosecondes) et les horloges atomiques des antennes sont un outil indispensable au bon fonctionnement de cette technique. Cela permet dans un premier temps de mesurer la position des quasars. Ceux-ci étant très éloignés de la Terre, leur position peut être considérée comme fixe, et on peut donc à l'inverse mesurer la position des antennes avec une précision de

quelques millimètres ! Il est alors possible d'étudier le mouvement des plaques tectoniques ou des déformations géologiques. C'est également cette technique qui a permis de faire la fameuse image d'un trou noir publiée en 2019.

Utilisé depuis les années 1960, le réseau d'antennes de la NASA évolue pour s'adapter aux nouvelles technologies, aux débits nécessaires toujours plus élevés (passage aux transmissions optiques) et être de plus en plus précis. Il a de beaux jours devant lui et peut servir de support pour une panoplie d'exercices à faire avec les élèves !

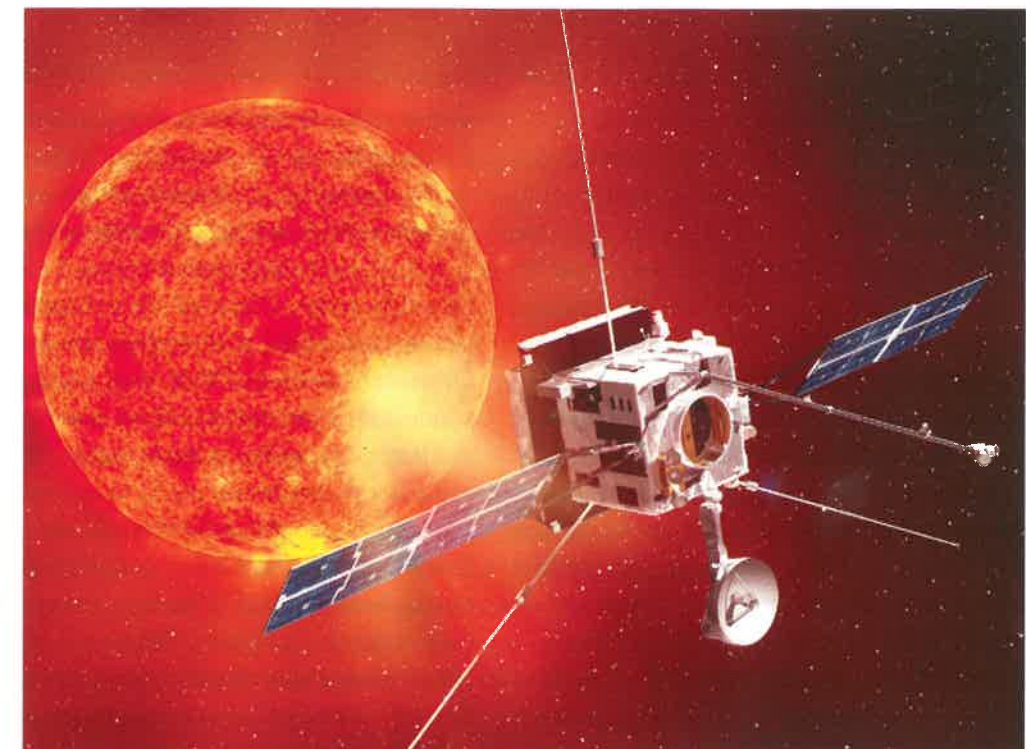


Évolution des débits de communications entre 1955 et 2025.

À L'ÉCOLE, RETROUVER LA POSITION DE LA SONDE SOLAR ORBITER (À PARTIR D'UNE IMAGE PRISE PAR CELLE-CI)

Joël Lebras (Planète Science)

Séquence de médiation scientifique réalisée à l'école Mendès-France de Créteil, classe de Madame Laetizia Sisco, dans le cadre d'Interventions en Temps Scolaire (ITS) mis en place par la Maison des Jeunes et de la Culture, avec l'aide de la Municipalité. Le médiateur émane du réseau Planète Sciences.



Solar Orbiter est une sonde d'exploration solaire lancée en février 2020, ayant pour but de mieux connaître l'activité et l'environnement solaires, notamment sur le plan des ondes radio et plasma, des températures et des champs magnétiques. Cette science ne pouvant concerner le premier degré de l'enseignement, c'est la trajectoire de la sonde qui a intéressé notre classe. Le défi posé par cette séquence était de retrouver la position de la sonde à une date où celle-ci avait pris une photo où trois planètes étaient visibles, cela dans un programme d'activité centré sur la découverte du Système solaire (cycle 3).

La première étape consiste à consolider chez les élèves la représentation du Système solaire et de son fonctionnement. La seconde, à observer et interpréter l'image pour en déduire la position de la sonde.

Après remontée des représentations initiales, il s'avère que les deux niveaux (CE2 et CM2) ont des connaissances comparables et que les différences sont individuelles. Ils

connaissent la structure générale du système, la position centrale du Soleil, le nombre de planètes et les deux mouvements principaux de la Terre. Ils savent que le Soleil est une étoile.

Dans un premier temps, l'ordre des planètes est rappelé et partagé, en portant l'attention sur la place de la Terre, puis un schéma très sommaire a été réalisé au tableau par les enfants. Consignes :

- commencer par la dernière planète pour être certain de pouvoir les faire entrer toutes ;
- ne pas chercher à respecter les rapports de distances ;
- laisser néanmoins une distance plus large entre la quatrième et la cinquième planète ;
- indiquer par des flèches le sens de révolution (connu de certains élèves).

Nous avons remarqué que le chemin à parcourir par chacune (sa circonférence), est de plus en plus long à mesure qu'on s'éloigne du Soleil. Nous n'utilisons pas « Pi », qui n'est pas du niveau des CE2, mais seulement

une estimation à l'œil et un appel au raisonnement. Au tableau, on peut utiliser cet artifice : mimer un marcheur avec l'index et le majeur et suivre les orbites en comptant les « pas ».

Dans un second temps, nous procédons au petit « jeu » bien connu, dans la cour de l'école : « La Ronde des Planètes ». Il consiste à faire jouer aux enfants le rôle des planètes en termes de révolution, autour d'un Soleil symbolisé. On met en place les quatre premières planètes d'abord avec des consignes lâches (« à mon top, tournez autour du Soleil »). Comme très rapidement l'entropie gagne, on demande aux élèves de proposer des améliorations ; assez vite les révolutions s'organisent et finissent par ressembler, dans son principe, au Système solaire. On constate qu'une chose est d'avoir, pour un élève de l'élémentaire, intégré un schéma du Système solaire, une autre est d'intégrer son « fonctionnement ». On isole enfin les positions remarquables : opposition, conjonctions, pour finir par l'alignement du 21 décembre : l'adulte, qui connaît les positions, place lui-même les élèves aux bonnes places. On échange au besoin les places entre « acteurs » et « observateurs » pour que les constats soient partagés : vues de la Terre, Jupiter et Saturne sont alignées et paraissent très proches.

Forts de cette expérience, les élèves refont avec plus d'assurance le schéma du système au tableau puis sur



une feuille, et replacent les planètes dans la position remarquable du 21 décembre 2020. Nous y traçons la droite marquant l'alignement rarissime Terre-Jupiter-Saturne (ci-dessus, la règle indique l'alignement).

Seconde étape, l'innovation consistait, à partir de ces acquis consolidés, à interpréter une image prise par Solar Orbiter en novembre 2020 assez finement pour replacer la sonde à sa place approximative entre les planètes à la date de l'image (planètes et dates mentionnées en anglais). La séquence a commencé par la visualisation (sur écran puis impression papier individuelle), de la photo prise par Solar Orbiter (ci-dessous), et son interprétation : planètes (indiquées), étoiles. L'image en question, ci-dessous, (non encore publiée à l'époque et utilisée ici avec l'autorisation des chercheurs), a été obtenue grâce à l'un des P.I. (Principal Investigators) et parrain de la classe



dans le cadre du suivi pédagogique de l'Observatoire de Paris (Milan Maksimovic). Les planètes visibles sur l'image ont été identifiées par les scientifiques.

Nous relevons sur l'image des indices, comme la place des planètes entre elles ou la position probable du Soleil ; celui-ci n'est pas visible mais nous supposons justement qu'il est à droite de l'image au vu du halo lumineux. Nous émettons des hypothèses sur la nature des autres points (étoiles), sur les différences importantes d'éclats d'une planète à l'autre. Les élèves interprètent correctement cette différence par les distances, avec un doute s'agissant de Mars vu sa taille. Nous notons au tableau ces informations.

Chaque élève trace un nouveau schéma partiel du Système solaire sur une feuille A4, avec seulement Vénus, la Terre et Mars. Le « défi » est de placer dans le schéma la Terre, Vénus, Mars et la sonde. Nous commençons par positionner la Terre sur son orbite à une place arbitraire mais la même pour tous, choisie par le médiateur. Les positions des deux autres planètes et de la sonde doivent en être déduites de celle-ci en utilisant l'ensemble des données issues de l'interprétation collective et notées au tableau, c'est-à-dire :

- Le Soleil est hors de l'image et à droite de celle-ci.
- La planète la plus proche de la sonde est Vénus.
- La deuxième planète la plus proche est la Terre.
- Mars est probablement la plus éloignée (hypothèse à vérifier).
- Vues de la sonde, les planètes Vénus, Terre et Mars doivent être visibles de gauche à droite dans cet ordre.

La première donnée permet d'isoler une moitié du système où devait se trouver la sonde.

La seconde donnée permet d'isoler une zone proche de l'orbite de Vénus.

Les troisième et quatrième données permettent d'éliminer des positions impossibles pour la Terre et Mars.

La cinquième donnée permet de « préciser » les positions de celles-ci une fois éliminées les positions impossibles. C'est ici le seul moment où les différences entre CM2 et CE2 soient apparues. À partir d'une consigne de procéder par approches successives et vérifications, le rôle du médiateur et de l'enseignante consiste à s'assurer que pour les positions que les élèves proposent, toutes les conditions sont bien remplies, et à suggérer d'améliorer l'hypothèse si ce n'est pas le cas. Les premiers élèves ayant réussi l'exercice sont amenés à aider les autres.

Cet exercice s'est révélé particulièrement ambitieux, exigeant des élèves qu'ils s'imaginent à la place de la sonde et voient le « paysage » planétaire comme elle le voyait. Cette capacité d'abstraction n'était sans doute pas entièrement acquise par tous ; cependant, les uns après les autres, ils ont correctement positionné la sonde, Vénus et Mars avec une approximation qui aurait permis, avec les outils adéquats, d'en trouver la médiane et d'en vérifier la pertinence sur le site de l'ESA (qui offre une animation en temps réel du voyage de la sonde).

Vu l'ambition affichée et le caractère expérimental de l'activité, les résultats obtenus par les élèves se sont révélés étonnamment corrects, c'est-à-dire dans un empan d'approximation permettant d'éliminer le hasard et d'être certain que le principe avait été compris. Bien entendu, certaines données manquantes comme la diagonale en degrés de l'image ne permettaient pas d'aller plus loin mais cela aurait été impossible avec des enfants de ces âges. Il semblerait que l'expérience gagne, d'une part à être reproduite avec des élèves du secondaire, et d'autre part à être menée avec d'autres élèves du cycle 3, afin de s'assurer que des résultats comparables puissent ou non être obtenus.

Les images prises depuis l'espace dans les productions du Clea

Dans les anciens numéros des Cahiers Clairaut (<http://clea-astro.eu/archives>).

(Tous les numéros de plus de 3 ans sont en libre accès sur notre site <http://clea-astro.eu>, archives des CC).

Panorama de la radioastronomie, CC 163 (2018), Julien Girard.

Images astronomiques, CC 156 (2016), Cécile Ferrari.

Les images sont-elles trompeuses ? CC 134 (2011), Daniel Kunth.

Instruments du futur : les enjeux, CC 128 (2009), Cécile Ferrari.

Une nouvelle classe de galaxies, CC 44 (1988), Lucienne Gouguenheim (galaxies en IR).

Le ciel infra-rouge observé par IRAS, CC 27 (1984), Lucette Botinelli.

Sur le site du CLEA (<http://www.clea-astro.eu>), onglet lunap

Vous trouverez des infos en cliquant sur les termes suivants de l'index :

Détection des ondes, Rayonnement gamma, Rayonnement IR, Rayonnement UV, Rayons X.