

DECOUVRIR ET APPROFONDIR DES NOTIONS MATHÉMATIQUES À L'AIDE DU PLANÉTAIRE HUMAIN

Vincent HEUSSAFF

Professeur des écoles, École Arthur Rimbaud Chanteloup-les-Vignes
IREM de Paris
vincent.heussaff@ac-versailles.fr

Assia NECHACHE

Maître de conférences, CY Cergy Paris Université
LDAR, IREM de Paris
Assia.nechache@cyu.fr

Emmanuel ROLLINDE

Professeur des universités, CY CERGY PARIS UNIVERSITÉ
LDAR, IREM de Paris
Emmanuel.rollinde@cyu.fr

Résumé

Le planétaire humain est un outil permettant de faire vivre aux enfants le mouvement des planètes autour du Soleil avec leur corps. En 2021-2022, nous avons mené un projet pluridisciplinaire (Pacte) avec cinq classes de REP+ du CP au CE2. L'objectif était de réaliser un film d'animation sur le mouvement des planètes du système solaire. Pour cela, il a fallu réaliser un modèle réduit du planétaire humain pour les prises de vues. Ce travail a permis d'aborder différentes notions mathématiques notamment la proportionnalité. Ce travail a mis en avant le potentiel du planétaire humain en tant qu'objet singulier permettant l'introduction ou la consolidation de notions mathématiques. Celles-ci sont parfois complexes à aborder avec les élèves de ces niveaux d'enseignement et dans le cadre spécifique de l'éducation prioritaire. La question de la pertinence de l'usage du planétaire humain comme outil pour aider les élèves à mieux appréhender la notion de proportionnalité est discutée.

I - INTRODUCTION

Lors de l'année scolaire 2021-2022, un projet pluridisciplinaire a été mené avec cinq classes de REP+ de l'école Arthur Rimbaud de Chanteloup-les-Vignes dans le cadre d'un financement Pacte¹ (Projet Artistique et Culturel en Territoire Educatif)(pour sa description détaillée voir Annexe I).

Tel qu'il a été conçu, ce projet visait la réalisation par les élèves d'un court film d'animation en stop motion avec deux parties : une première abordant les caractéristiques (taille, couleur, masse, présence ou non d'une atmosphère) des planètes du système solaire, une seconde présentant le mouvement des planètes autour du Soleil. Le travail sur cette seconde partie a été basé sur l'utilisation et la compréhension du planétaire humain. Il a permis la découverte ou la consolidation de notions mathématiques dont notamment la proportionnalité.

Dans les paragraphes suivants, il sera question de discuter la potentialité du planétaire humain pour la découverte ou la consolidation de différentes notions en mathématiques. Pour favoriser les échanges et

1 Circulaire_academique_EAC_21-22_VD_1412466

débattre sur cette question, l'atelier a été organisé suivant trois parties. Dans un premier temps, nous avons présenté en collectif, les enjeux du projet et le planétaire humain en invitant les participants à des déplacements sur le planétaire humain en grandeur réelle (voir paragraphe suivant pour sa description).

Puis, nous avons proposé aux participants un premier temps de travail en groupe pour identifier les notions mathématiques potentiellement mises en jeu dans le cadre de l'utilisation de cet outil. Après une mise en commun, nous avons proposé un deuxième temps de travail en groupe pour discuter de la manière dont le planétaire humain peut être utilisé pour aborder la proportionnalité. Après un temps de mise en commun et d'échanges, nous avons poursuivi en exposant la manière dont la proportionnalité a été abordée dans le cadre du projet Pacte. Nous avons enfin débattu sur l'intérêt de l'usage du planétaire humain dans l'apprentissage des mathématiques à l'école primaire et dans le cadre de la formation des professeurs des écoles.

II - LE PLANÉTAIRE HUMAIN

Le planétaire humain est un outil pédagogique permettant aux enfants de vivre le mouvement des planètes autour du Soleil avec leur corps. Cet outil permet de contextualiser des notions de physique et de mathématiques via l'astronomie et une approche incarnée (Rollinde, 2019a ; <http://planetaire.overblog.com>), ou encore de « faire des mathématiques en plein air en marchant dans le Système Solaire » (Abboud & Rollinde, 2021, p. 37). Il a été diffusé en France et en Europe par l'association F-HOU (Rollinde et al., 2016 ; <http://handsonuniverse.org/france>).

1 Les objets représentés

Le planétaire humain représente les différentes positions des quatre planètes les plus proches du Soleil dans un référentiel héliocentrique (elles constituent le système solaire interne). Chacune dispose d'un code couleur afin de pouvoir suivre la succession de ses positions lorsqu'elle tourne autour du Soleil (médaillons de couleur selon la couleur de la planète), formant ainsi son orbite discontinue (Cf. Figure 1). Mercure figure en gris, Vénus en jaune, la Terre en bleu et Mars en rouge. Le Soleil est positionné au centre dans l'un des foyers des ellipses que forment les orbites de tous les objets du système solaire. L'orbite d'une comète (Encke) est également représentée sur le planétaire humain (en vert). La position de départ est représentée par l'image de la planète. Elle correspond à la position relative de la planète par rapport au Soleil à la date figurant en légende (21 mars 2019 sur le modèle de la figure 1). L'intervalle de temps entre deux positions est également noté en légende (15 ou 16 jours terrestres selon les modèles de planétaire). Dans la suite de l'article, la durée « jour terrestre » est notée « jour » uniquement. Par contre, la mention d'une « année », durée associée à une révolution d'une planète autour du Soleil, sera toujours associée au nom de la planète considérée.

S'agissant d'une représentation à échelle réduite du système solaire interne (les quatre planètes telluriques – Mercure, Vénus, Terre et Mars, situées avant la première ceinture d'astéroïdes autour du Soleil), il faut souligner plusieurs points d'importance. Premièrement, si les échelles de distance sont respectées, ce n'est pas le cas pour les échelles de taille des planètes comme du Soleil. Deuxièmement, la période de révolution n'est, a priori, pas un multiple exact de l'échelle de temps. Ainsi, les planètes ne reviennent pas exactement à la même position de départ. L'important pour la chorégraphie sur le planétaire est de ne pas avoir un dernier pas trop différent des précédents. Seule la Terre peut revenir à son point de départ si l'échelle de temps est définie à partir d'une fraction d'une année terrestre (1/24 d'une année terrestre est égale à 15,3 jours, cette échelle sera indiquée « 15 jours » dans la suite de l'article). Pour Mercure, une durée de 16 jours entre deux points conduit à 5,5 intervalles sur une révolution (88 jours). Une deuxième série de 5 points grisés est alors ajoutée pour aboutir à deux révolutions (2X88 jours=11X16 jours). Pour Vénus, Mars ou la Terre, le décalage est suffisamment faible par rapport à la durée entre deux points pour ne pas avoir besoin d'un second tour.

La représentation du Système Solaire, espace à trois dimensions, sur un dessin à deux dimensions, peut poser question. Cependant, les orbites des objets du Système Solaire sont essentiellement coplanaires, pour des raisons de symétrie liées à la force de gravité (radiale). Il est donc raisonnable de ne pas tenir compte des différentes inclinaisons des plans orbitaux. Cependant, l'absence de troisième dimension va poser des difficultés pour expliquer certains phénomènes, telles que les saisons (dues à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre) ou les « transits planétaires » (voir Rollinde, 2019b).

2 Format et choix de représentation

Les choix de représentation effectués conduisent à l'existence de différents formats pour le planétaire humain. Le modèle que l'on qualifiera de classique consiste en une bâche de 3m par 6m logeant assez aisément dans une salle de classe standard. Il est également facilement transportable dans une valise permettant son utilisation dans différents lieux au cours d'une année. Un format plus important (12m par 12m) permet de faire également figurer l'orbite de Jupiter ainsi qu'une comète supplémentaire (Churyumov-Gerasimenko) mais demande plus d'espace et est bien moins facilement transportable. Plusieurs planétaires humains ont également été peints dans des cours d'école ou d'autres lieux. Cela permet de faire figurer également les autres planètes du système solaire mais suppose son utilisation sur le lieu de construction limitant la diffusion de cet outil. Des modèles au format A3 permettent également un réinvestissement de ce qui a été vu lors des séances sur le planétaire humain mais ne permettent pas d'utiliser la dimension kinesthésique de cet outil.

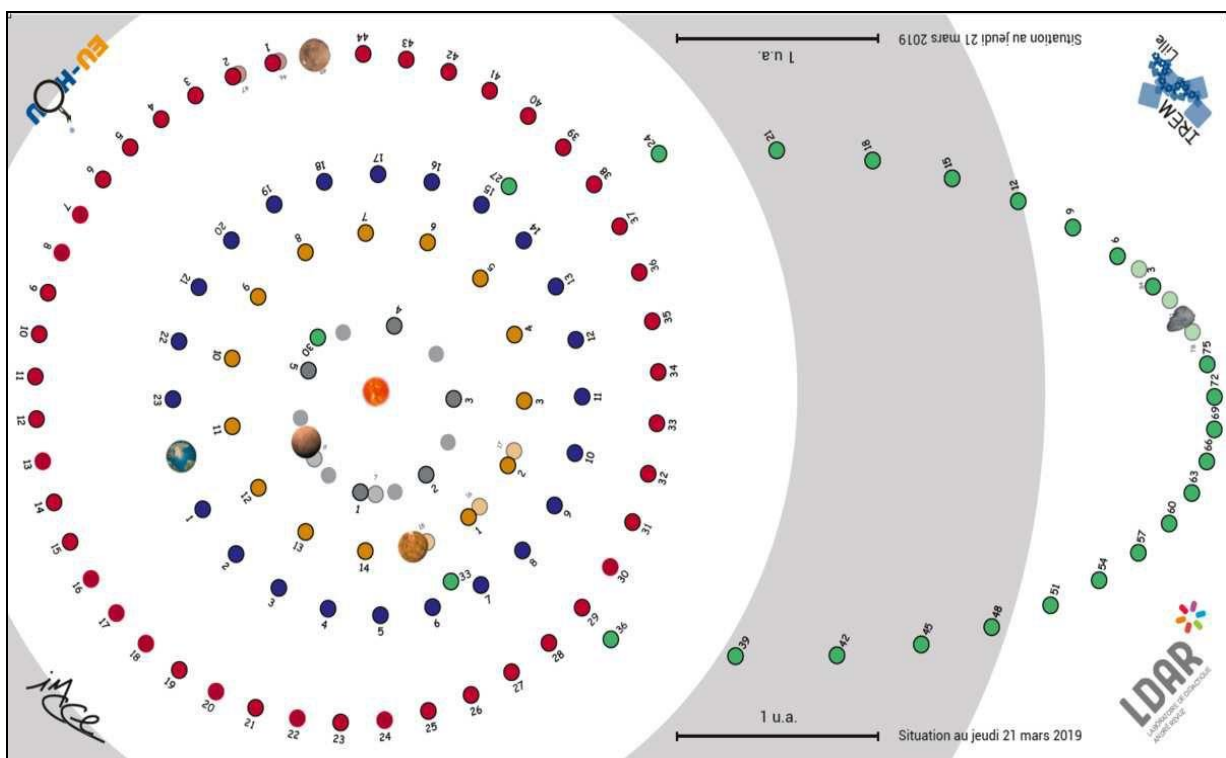


Figure 1. Image du planétaire.

Plusieurs choix d'unités de temps ont été fait. Le plus courant correspond à 16 jours. Il est également possible de diviser avec exactitude l'orbite de la Terre en un nombre donné de positions. Cela présente l'avantage de revenir exactement à la même position pour la Terre au bout d'une révolution, mais produit une unité de temps non entière plus difficile à appréhender pour les élèves. Un second choix correspond alors à une année terrestre divisée en 24 intervalles, qui peut être considérée égale à 15 jours, et peut ainsi avoir une utilité en cycle 2 dans la construction des unités de temps. Nous y reviendrons par la suite.

Concernant l'unité de longueur, le choix le plus courant est de représenter la distance Terre-Soleil (définition d'une unité astronomique) par un mètre, ce qui facilite les conversions d'échelle par la suite.

3 Utilisation

Le travail sur le planétaire humain commence par une première séance de découverte dont le descriptif est présenté en Annexe 2. Lors de celle-ci, les enfants vont d'abord découvrir l'outil en identifiant les différents éléments présents dessus (planètes, médaillons de couleur figurant les différentes positions des planètes au cours du temps, comètes, unités de temps et de longueur).

Une analyse détaillée de cette séance fera l'objet d'une publication en cours de préparation. Il apparaît dès à présent que les élèves de cycle 3 sont capables de retrouver tous les éléments en se déplaçant librement sur le planétaire humain (pour les élèves de cycle 2, certains éléments peuvent être laissés de côté pour être évoqués si besoin plus tard. C'est notamment le cas pour l'unité de longueur).

(i) Les noms des planètes se retrouvent collectivement car il y a toujours quelques élèves qui ont plus de connaissance en astronomie que les autres. L'absence de la Lune pose toujours une difficulté. L'enseignant doit alors faire comprendre qu'elle est trop proche de la Terre, et se trouve « sous » le disque de la Terre. Le mouvement des planètes d'un disque à un autre est assez rapidement proposé par les élèves et ne pose pas de soucis (il se rapproche du jeu de la marelle).

(ii) L'échelle de longueur est déjà travaillée dans des séances de mathématiques. Les élèves essayent de retrouver une longueur équivalente (parfois en écartant les jambes et en se déplaçant avec un écart « constant ») et peuvent mettre un certain temps avant de proposer la distance Terre-Soleil. L'enseignant peut laisser libre cette recherche en notant lorsque les longueurs proposées n'ont pas de sens spécifique (par exemple la longueur entre deux disques quelconques, ou entre deux planètes alors que les planètes vont se déplacer). Le Soleil ne bouge pas, et la distance Terre-Soleil est – en première approximation – constante. Cette distance prend ainsi du sens pour définir une échelle de longueur.

Enfin (iii) l'échelle de temps est assez facilement reliée à la durée pour aller d'un disque à un autre. Sa valeur est indiquée sur le planétaire dans l'option des « 16 jours ». Dans l'option des « 15 jours », l'échelle de temps n'est pas indiquée. L'enseignant pourra demander – après avoir discuté de l'échelle des distances – quelle est la durée associée à un pas entre deux disques. Cela correspond à un exercice de division qui peut être complexe ($365,25 / 24$) ou simplifié si les élèves font un choix pertinent d'unité de temps (12 mois / 24).

Une fois les différents éléments explicités aux élèves, les élèves sont invités à réaliser la chorégraphie des planètes. Pour cela, ils devront se déplacer sur le planétaire humain en respectant certaines règles. La première correspond au sens de révolution des planètes sur leur orbite qui est indiqué par la numérotation des différentes positions. La seconde concerne le rythme de déplacement. Il est ainsi demandé de se déplacer sur le médaillon de couleur suivant à chaque clap dans les mains ou en utilisant un métronome. Lors des premières chorégraphies, les élèves ont tendance à s'arrêter à chaque disque, et à faire un pas rapide en entendant le « clap ». L'objectif est de les amener à un mouvement continu au cours duquel ils feront un pas entre deux claps et poseront un pied sur un disque à chaque « clap ». Le rythme doit être choisi de manière à ce que Mercure (la planète la plus rapide) ne doive pas courir et que Mars (la planète interne la plus lente) ne soit pas trop lente.

Lors de la séance découverte, les élèves ne peuvent être tous en même temps sur le planétaire humain. Dans l'idéal, il devrait y avoir un élève sur le Soleil et un sur chaque planète soit cinq élèves en tout sur un modèle de taille classique. Il est toutefois possible de mettre plus d'élèves en action avec deux élèves sur Vénus, et jusqu'à quatre pour la Terre et six pour Mars. Toutefois, cela réduit la lisibilité du mouvement et les conclusions sur la variation de la vitesse en fonction de la distance au Soleil que les élèves pourront en tirer. Il est possible également de faire se déplacer un petit groupe d'élèves sur chaque planète successivement en gardant le même rythme pour leur permettre de ressentir plus clairement les

différentes vitesses (Rollinde, 2019a²). C'est pourquoi, l'optimal est de travailler lors de ces séances avec un groupe de 10 à 15 élèves. La moitié sera alors sur le planétaire humain tandis que l'autre moitié se retrouvera dans le rôle d'observateurs avant d'échanger les rôles.

Il est important de souligner que les deux rôles sont essentiels à la compréhension des différences entre les déplacements des planètes : la variation de leur vitesse (Rollinde, 2019a), la forme de leur orbite (Rollinde & Maisch, 2023), le passage d'une planète devant l'autre (Rollinde, 2019b). Ils doivent à la fois expérimenter avec leur corps mais aussi regarder le mouvement en tant qu'observateurs extérieurs. L'objectif principal de cette première séance découverte est de mettre en exergue que plus une planète est proche du Soleil, plus elle se déplace rapidement. Cette conclusion vient rapidement et naturellement des élèves au cours de la séance.

Cette séance peut se mener avec des élèves allant du cycle 2 au cycle 4 et même des adultes. Il est également envisageable de la réaliser en fin de cycle 1 en prenant le temps de construire la chorégraphie (par exemple sur plusieurs séances plus courtes) et en mettant de côté les notions trop complexes comme les unités de mesure de longueur. Le temps consacré à cette séance sera plus important avec des personnes moins âgées. Typiquement environ 45 minutes en cycle 2 pour seulement une quinzaine ou une vingtaine de minutes avec des adultes.

À ce stade, il est possible de voir l'intérêt de disposer d'un planétaire humain avec les orbites de Jupiter voir des autres planètes. Si cela demande plus d'espace, les conclusions sont encore plus facilement visibles et il est possible de travailler avec un groupe d'élèves plus important notamment si le planétaire humain se trouve en extérieur.

Cette première séance de découverte permet d'enclencher un travail qui conduira à aborder différentes notions mathématiques, objet de la partie suivante dans laquelle seront également détaillées certaines séances qu'il est possible de réaliser avec les élèves (voir les Annexes 2 à 5).

III - TRAVAIL SUR LES NOTIONS MATHÉMATIQUES

Lors de l'atelier les participants ont échangé par groupes autour des notions mathématiques qui peuvent potentiellement être traitées avec le planétaire humain en fonction du niveau de classe et de l'intérêt de cet outil. Les notions (selon les domaines mathématiques) identifiées ont été exposées et discutées lors de la mise en commun. La question des niveaux d'enseignement concernés a également été discutée donnant lieu à une proposition de programmation. Ci-dessous, nous exposons les notions identifiées par les participants auxquelles nous avons ajouté des compléments et des précisions (voir également Abboud & Rollinde, 2021).

1 Nombres

1.1 Les notions abordées et l'intérêt spécifique du planétaire humain

Le planétaire humain représente le mouvement des planètes par rapport au Soleil par une succession de médaillons numérotés (cf. Figure 1). Il est ainsi possible de travailler sur la suite numérique jusqu'à 44 pour les planètes et 75 pour la comète. Cette dernière, permet d'introduire le comptage de 3 en 3 qui s'avère nécessaire pour en réaliser la chorégraphie correspondante.

Par ailleurs, le rapport de proportionnalité entre les années sur chaque planète permet d'envisager l'utilisation de la division euclidienne. Il est ainsi possible de se poser la question : si je suis sur la position 43 de Mars, sur quelle position vais-je être pour les autres planètes ? Le planétaire humain constitue alors

2 Pour une version abrégée et en français du « dictionnaire du planétaire » proposée par Rollinde (2019), voir le site planetaire.overblog.com

un cas concret et ludique d'utilisation de la division euclidienne. Au sein d'une progression inter-degré, il s'agit d'un support intéressant par son originalité apte à motiver les élèves à rentrer dans la tâche.

1.2 Lien avec les programmes du cycle 2 au cycle 4

Le travail sur la suite numérique ne fait intervenir que des nombres inférieurs à 50. Il peut donc être proposé en introduction dès la MS ou GS, puis en consolidation au début du CP. Concernant la division euclidienne, son utilisation ne peut être envisagée qu'en cycle 3.

2 Grandeurs et mesures

Il s'agit certainement du domaine des mathématiques apparaissant comme le plus naturellement lié à l'usage du planétaire humain. L'intérêt de l'usage du planétaire humain dans le cadre de la construction de concepts de grandeurs et de mesures, en particulier pour les élèves en début du cycle 2, a été souligné lors de l'atelier.

2.1 Les notions abordées et l'intérêt spécifique du planétaire humain

Mesure du temps et unités de durée :

Comme indiqué précédemment, le planétaire humain permet de vivre avec son corps le mouvement des planètes autour du Soleil. Ce mouvement est à l'origine de la définition de deux unités de mesure du temps. La première est l'année soit la durée de révolution de la Terre autour du Soleil. La deuxième est le jour soit la durée de rotation de la Terre sur son axe. Les heures correspondent à une division (arbitraire) d'un jour en 24 parties égales. L'unité de la minute (et par suite de la seconde) n'est pas reliée à un phénomène astronomique mais à une nouvelle division arbitraire de l'heure en 60 parties égales. Nous notons que ce choix de 24 et de 60 divisions peut être relié à des spécificités de notre corps : nous avons 3 phalanges sur chaque doigt, qui peuvent être comptées avec le pouce sur les 4 doigts restants, soit $3 \times 4 = 12$, 12h de journée et 12h de nuit ; si vous faites cette opération cinq fois en comptant de 1 à 5 avec les doigts de l'autre main, vous arrivez à $5 \times 12 = 60$. Enfin, les unités temporelles du siècle et du millénaire sont des constructions arbitraires, mais reliées à notre système décimal, correspondant respectivement à 100 et 1 000 années. Le planétaire étant une représentation de la Terre dans un système centré sur le Soleil, il est surtout utile pour le travail sur les unités de mesure du temps que sont l'année et le jour.

Or, il est difficile de se représenter mentalement le mouvement de la Terre autour du Soleil car il se déroule à une échelle de temps (comme de longueur) qu'il est difficile de percevoir. Le planétaire humain permet donc aux enfants d'expérimenter ce mouvement afin de mieux le comprendre. Il va également leur permettre de comparer les mouvements des différentes planètes pour réaliser que les définitions des unités d'année et de jour sont « geo-centrées » : elles sont associées au mouvement de la Terre. Si nous habitons sur une autre planète, ces mêmes unités seraient reliées de la même manière à la révolution et à la rotation de cette planète. Mais elles n'auraient pas la même durée. Il s'agit alors pour les élèves de se décentrer tout d'abord de leur propre expérience – qui ne permet pas d'envisager les mouvements de la Terre – puis de leur lien fort avec la Terre. Par conséquent, il faudrait toujours préciser la planète sur laquelle est définie l'année ou le jour. Par souci de simplicité, lorsque rien n'est indiqué, il s'agit dans la suite de l'année terrestre et du jour terrien.

L'année :

La séance proposée pour la mesure d'une année sur différentes planètes, est décrite plus en détail en annexe 3. L'image d'un gâteau d'anniversaire est placée sur la position de départ de chaque planète. Un élève se place sur un des gâteaux en jouant le rôle d'un enfant qui vient de naître. Il se déplace alors sur l'orbite et doit s'arrêter (ou ses camarades doivent lui dire de s'arrêter) le « jour » de son anniversaire, qui correspond à la position de départ. La classe comprend ainsi que la durée d'un tour complet, soit sa durée de révolution, correspond à une année sur chaque planète. Cela permet de rendre concret cette notion mathématique en la jouant (acteur) et en la visualisant (observateur).

En proposant aux élèves de comparer les âges en fonction des planètes, il est possible de faire prendre conscience aux élèves, qu'une même durée se mesure différemment en fonction de la planète sur laquelle on se trouve, donc selon l'unité d'année utilisée. Quatre élèves sont placés sur la position de départ de Mercure, Vénus, Terre et Mars. Ils jouent le rôle d'enfants qui viennent de naître. Ils vont alors se déplacer *pendant la même durée* et leurs camarades vont compter leur âge respectif dans l'année associée à leur planète. Lorsque l'élève sur la Terre a fait un tour, donc pendant une année terrestre, l'élève sur Mercure a fait un peu plus de 4 tours, soit 4 années mercuriennes; l'élève sur Vénus a fait un tour et demi (il n'a fêté qu'un anniversaire – il est né il y a un an vénusien et demi) ; l'élève sur Mars a fait la moitié d'un tour (il n'a pas encore un an martien). Ainsi, 1 année terrestre = 4 années mercuriennes = 1,5 année vénusienne = 0,5 année martienne. Ces valeurs seront plus précises à mesure que la durée observée est grande. Ainsi, 5 années terrestres correspondent à 21, 8 et 2,5 années respectivement pour Mercure, Vénus et Mars. Plus la planète est proche du Soleil, plus la durée de révolution est petite, plus le nombre d'années pour une même durée de déplacement sera important. Nous pouvons noter (pour des classes plus âgées) que la période exacte des planètes n'est pas un multiple de la durée d'un pas. Il peut être intéressant de travailler sur le décalage entre la position véritable des planètes sur leurs orbites et la position sur le planétaire (voir Abboud & Rollinde, 2021).

Un point essentiel à comprendre pour les élèves est que ce n'est pas la durée mesurée qui change mais l'unité (année martienne, terrestre, etc) dans laquelle cette mesure est exprimée. Une année sur Terre n'est pas la même qu'une année sur Mars ou sur Mercure car la valeur d'une année dépend de la planète sur laquelle on se trouve (la durée de révolution augmente à mesure que l'on s'éloigne du Soleil). Or, ce point est particulièrement difficile à appréhender notamment pour des élèves en cycle 2. Ils trouvent ici une explication concrète et visuelle tirée de l'expérimentation avec son corps.

Le jour :

La même situation se retrouve pour la mesure d'un jour, divisée en deux parties journée/nuit. Le planétaire ne permet pas de travailler la variation des durées de la journée et de la nuit, qui nécessite de montrer l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre. Dans la séance détaillée en annexe 4, il est demandé à plusieurs élèves placés sur l'orbite de la Terre, d'imaginer un humain qui serait placé sur leur nez, et de se positionner de telle sorte à ce qu'il « fasse jour » sur Terre pour cet humain. Ils doivent ainsi comprendre que cela suppose que le Soleil se trouve en face d'eux. L'observation des positions de chacun, initialement toutes différentes, permet un travail collectif jusqu'à ce que tous les élèves soient face au Soleil. Ils doivent alors se positionner pour qu'il « fasse nuit » pour cet humain, puis tourner pendant 24h, 12h, etc... Cette chorégraphie permet d'introduire la rotation de la Terre sur elle-même et de rendre concret l'alternance jour/nuir. Il est ainsi plus facile pour eux de comprendre l'origine de cette mesure de durée et son lien avec notre planète. De la même façon que pour une année, il est important de parler des autres planètes en explicitant le fait qu'une journée sur Terre ne correspondra pas à la même durée qu'une journée sur Mars. Nous pouvons prendre l'exemple de Mercure pour laquelle la durée de rotation est égale (approximativement) à celle de sa révolution. C'est le cas également de la Lune par rapport à la Terre. Ainsi, Mercure et la Lune voient toujours le Soleil et la Terre, respectivement, depuis la même face. Encore une fois, c'est ici la valeur de l'unité de mesure qui change selon la planète considérée.

Dans le cadre d'un travail régulier sur le planétaire humain, celui-ci peut notamment servir de support pour un rituel autour de la date du jour. Cela permet tout au long de l'année de se rendre compte de la révolution de la Terre et de percevoir l'échelle de temps qui y est associée. Cela nécessite toutefois un travail préalable sur le planétaire humain afin de s'assurer de la compréhension pour chaque élève de ce que ce dernier représente.

Mesure de longueurs :

Il est possible d'aborder les notions d'échelles et d'unité de longueur notamment à travers l'unité astronomique qui est spécifiquement utilisée dans le cadre du système solaire. L'unité astronomique peut

être définie au niveau de l'école primaire et du collège comme la distance moyenne entre la Terre et le Soleil.

L'intérêt d'utiliser le planétaire humain réside alors dans l'appréhension de grandes distances qui sont difficiles à percevoir. Le choix fait sur le planétaire humain est de représenter la distance Terre-Soleil par la longueur de 1 m. A cette échelle, la Lune serait à une distance de 2 millimètres de la Terre. Ainsi, la Lune n'est pas représentée sur le planétaire car elle serait « en-dessous » du médaillon de la Terre. Ceci peut permettre de faire réfléchir à la taille apparente de la Lune qui est aussi grande que celle du Soleil (ce qui explique les éclipses solaires). La Lune a un diamètre 1 000 fois plus petit que le Soleil, et se trouve à une distance 1 000 fois plus proche de la Terre que le Soleil (avec des nombres entiers).

De la même manière, les objets du Système Solaire qui sont pourtant très grands à l'échelle « naturelle » d'un élève, auraient un diamètre (en ordre de grandeur) de 10 mm pour le Soleil, 1 mm pour Jupiter et de 0,1 mm pour la Terre. Elles ne peuvent donc pas être représentées sur le planétaire. Pour éviter toutes confusions, tous les médaillons sont dessinés avec le même rayon. Ainsi, la présence de nombreux médaillons (pour toutes les positions le long de l'orbite) et leur taille bien supérieure à la taille réelle peut induire l'impression de proximité entre les planètes et d'un espace largement rempli alors que la réalité est inverse. De plus, en se croisant lors de la réalisation de la chorégraphie des planètes sur le planétaire humain, les élèves peuvent se toucher les uns les autres renforçant cette fausse conception d'un système solaire largement rempli par les planètes.

Cette impression erronée peut être remise en cause notamment avec les applications de réalité augmentée qui pourraient permettre d'effectuer des « zoom-in » et « zoom-out » afin de percevoir les différentes échelles de taille et de distance entre le diamètre des planètes et leur distance par rapport au Soleil.

Mesure de vitesses et accélération :

Le planétaire humain représente le mouvement des planètes autour du Soleil. De ce fait, il est possible de percevoir la signification de la grandeur vitesse (voire de l'accélération) et ainsi de faire le lien avec les grandeurs qui la composent, à savoir la durée et la longueur. L'objectif de la séance de découverte est de faire découvrir, ressentir, le fait que plus une planète est proche du Soleil, plus cette dernière se déplace rapidement sur son orbite. Cette perception est directement reliée à la différence ressentie ou observée des déplacements des élèves sur les différentes orbites. Les élèves vont également ressentir que la vitesse de la comète Encke varie au cours de son orbite.

Cependant, le lien avec les deux composantes de la vitesse ne doit pas se faire sur une description globale des orbites. Ainsi, Mercure se déplace plus rapidement que les autres planètes, la longueur de son orbite (soit le chemin parcouru) est plus courte et la durée d'une année sur Mercure est plus courte que sur les autres planètes. Par conséquent, les deux composantes (le numérateur et le dénominateur de la fraction « vitesse ») étant plus petites, il n'est pas possible de conclure. Mercure pourrait aller moins vite alors que son trajet est plus court en longueur et en durée.

Pour associer la notion de durée et de longueur à une comparaison de vitesse, il faut s'intéresser aux deux positions successives des planètes, qui sont séparées par *la même durée* et comparer alors deux longueurs parcourues pour une même durée. Ainsi, visuellement ou en mesurant, pour une même durée (15 ou 16 jours terrestres), la distance entre deux médaillons de couleur est plus petite en s'éloignant du Soleil : la distance entre deux positions de Mercure est plus grande qu'entre deux positions de Vénus qui elle-même est plus grande qu'entre deux positions de la Terre et ainsi de suite. Aller plus vite correspond bien au fait de parcourir une plus grande distance sur une durée donnée.

Pour identifier cette fois l'impact de la composante durée, il est possible de réaliser la chorégraphie à l'aide d'un métronome avec différents rythmes. Avec leur corps, les enfants pourront ainsi se rendre compte que l'accélération du rythme (soit un pas de temps plus court) induit une vitesse plus importante

et réciproquement. Il faut bien préciser que cela ne change pas la vitesse réelle des planètes mais la vitesse associée à leur représentation sur le planétaire (changement du facteur de réduction de l'échelle de temps). Il est certain que le planétaire humain n'est pas essentiel à la réalisation d'un tel exercice. Toutefois, il présente l'avantage de partir d'une chorégraphie représentant un mouvement concret et surtout préalablement travaillée lors d'une séance précédente.

Nous notons que l'impact de la longueur et celui de la durée sur la vitesse peuvent être introduits tout aussi efficacement – et peut être plus simplement – dans le contexte d'une course sur une ligne droite. L'utilisation du planétaire peut être conçue comme un réinvestissement de cette relation à trois variables (vitesse, longueur, durée) dans un nouveau contexte.

2.2 Lien avec les programmes du cycle 2 au cycle 4

L'utilisation du planétaire humain est particulièrement intéressante lors de la construction des différentes grandeurs, qui se fait au début du cycle 2. Cela est particulièrement vrai pour les notions d'année et de journée dont les définitions arbitraires peuvent ainsi trouver une explication et une origine. Il est important à cet âge de rendre concret ces notions autrement abstraites et difficiles à appréhender. Il est à noter que la séance jour/nuit devrait intervenir après celle sur les années. En effet, si le planétaire humain permet d'expérimenter la différence d'unité de mesure en fonction de la planète sur laquelle on se trouve dans le cadre d'une année, il ne permet pas de le faire pour la journée, le mouvement de rotation n'étant pas figuré sur ce modèle. Il est alors possible de faire le lien avec la séance précédente avec un transfert de connaissance. Si la définition d'une année dépend de la planète sur laquelle on se trouve, il en est de même pour celle d'une journée. En effet, chaque planète a sa propre durée de révolution (année) et de rotation (journée). Il existe par ailleurs des applications de réalité augmentée permettant de se figurer cette différence de rotation en comparant la rotation de chacune des planètes. Ainsi, l'application *Foxar* peut être utilisée, en faisant attention au fait que les distances entre les objets ne sont pas toujours représentées à l'échelle. L'équipe du projet européen ARISTARCHUS³ travaille actuellement à la réalisation d'une application adaptée dédiée à un usage complémentaire du planétaire humain. Ces applications permettent de compléter utilement le travail réalisé sur le planétaire humain.

Concernant le principe des échelles (de longueur ou de durée), le fait de relier une grandeur réelle à la même grandeur sur une représentation peut être initié dès le cycle 2, mais correspond plus à un travail de cycle 3. De plus, les calculs qui peuvent être proposés pour relier les distances (voire les tailles) en kilomètres vers des distances en unités astronomiques ne peuvent venir qu'une fois acquise la maîtrise des nombres au-delà des milliers, donc à partir du cycle 3 ou cycle 4. De même, la perception du lien entre vitesse, longueur et durée peut être réalisée dès le cycle 2 mais la formalisation de cette relation ne peut être l'objet d'un travail qu'en fin de cycle 3, et sa description sous forme d'une relation de proportionnalité plutôt en cycle 4.

Ainsi, l'utilisation du planétaire humain concernant les grandeurs et mesures peut se planifier sur un parcours allant du cycle 2 jusqu'aux cycles 3 et 4. La définition d'une année et d'une journée s'ancre dans les programmes de début de cycle 2 au moment où se construit le lien entre la grandeur, la mesure et l'unité de mesure. Le travail peut ensuite se poursuivre en se formalisant année après année vers le travail sur les échelles de longueur puis celui sur les vitesses pour aboutir à une explication complète des mouvements de rotation et de révolution des planètes en fin de cycle 3 ou au début du cycle 4.

Nous notons enfin que ces séances permettent un travail plus large sur l'acte de mesurage. La valeur numérique associée à la mesure d'une grandeur (le *mesurande*) nécessite de définir une unité (*un étalon*). La valeur de cette unité impacte la valeur numérique associée au *mesurande* mais ne change évidemment pas la mesure elle-même. Ainsi, les élèves peuvent percevoir qu'une même durée peut être exprimée en

3  <http://aristarchusproject.eu>

années terrestres, mercuriennes, vénusiennes ou martiennes. L'acte de mesurage, capital dès le début du cycle 2, relie grandeur et numération (qui sera repris plus loin). Il peut être régulièrement réinvesti tout au long du parcours scolaire d'un élève.

3 Géométrie plane

3.1 Les notions abordées et l'intérêt spécifique du planétaire humain

Plusieurs notions en géométrie peuvent être abordées à l'aide du planétaire humain.

Cercle :

La notion la plus évidente est peut-être celle de cercle ainsi que toutes les définitions qui y sont liées (cordes, arc de cercle, diamètre, périmètre). En effet, au premier abord, il s'agit de la forme apparente des orbites. Toutefois, en regardant plus attentivement, des particularités apparaissent notamment pour les orbites de Mercure et de Mars. Si toutes les orbites sont en réalité elliptiques avec le Soleil situé dans l'un des foyers, à cette échelle, cela ne se voit réellement que pour Mercure, Mars et bien sûr la comète. Si le planétaire humain est un contexte trop complexe pour introduire ces notions, il constitue au contraire un bon exemple d'application de notions précédemment découvertes à travers d'autres activités. Un déroulé de séance est proposé en annexe 5 dans laquelle il est question de déterminer si les orbites des planètes forment des cercles centrés sur le Soleil (Rollinde & Maisch, 2023). Cette séance aborde alors les définitions possibles du cercle en tant qu'ensemble de points (définition discrète) ou en tant que figure tracée par le compas (définition continue).

Une fois ce travail réalisé, il est possible d'aborder les questions d'arc de cercle, de diamètre, de lien avec le périmètre, de définition d'une ellipse et donc du cercle par contraste avec le précédent. Toutes ces activités trouvent ainsi une application concrète dans le cadre d'une démarche scientifique à partir de la question suivante : quelle est la forme des orbites des planètes ? Et de l'hypothèse qui en découle : certaines orbites sont des cercles centrés autour du Soleil. Il est important de préciser que, pour Vénus notamment, l'échelle des distances et la précision des instruments de mesure ne permettent pas toujours de contredire un modèle d'orbite circulaire (alors qu'aucune orbite – réelle ou représentée sur le planétaire – n'est exactement un cercle d'excentricité nulle).

Disque et point :

Les positions des planètes sont représentées par des disques (médailles de couleur). Or, à l'échelle de distance du planétaire humain, la taille des planètes est toujours négligeable devant la distance entre la planète considérée et le Soleil. Ainsi, une planète qui est pourtant un astre « très grand » se décrit, à cette échelle, comme un point. Mais sa taille n'est pas nulle (définition mathématique d'un point) et un point « mathématique » ne peut pas se représenter. Le fait qu'une position soit représentée par un disque questionne encore plus l'acte de mesurage sur le planétaire humain que ce soit au format 3 m par 6m (bâche) ou en A3. Nous reviendrons sur cette question lors du travail sur la proportionnalité.

Ces discussions peuvent permettre de faire le lien entre la définition mathématique d'un point et la notion de position en physique, de traiter la question des ordres de grandeur et de l'approximation, et enfin des choix de représentation effectués pour la réalisation du planétaire humain.

Discret ou continu :

Le planétaire humain questionne également la ligne et sa représentation. En effet, l'ensemble des positions (points) occupées par une planète forme une ligne courbe fermée appelée orbite. Le planétaire humain présente cette orbite avec un ensemble discret de points pour chaque planète ce qui ne fait pas apparaître dans l'immédiateté l'orbite en elle-même. Pourtant, le mouvement réalisé par les élèves avec leur corps suit une ligne (fermée et continue) bien réelle. Cette expérimentation kinesthésique présente l'intérêt de faire le lien entre points et ligne en discutant de l'aspect discret ou continu d'une

représentation. Cette notion étant difficile à appréhender notamment en début de cycle 2, le planétaire humain constitue certainement un bon point de départ pour en discuter avec les élèves.

3.2 Lien avec les programmes du cycle 2 au cycle 4

Le travail sur la notion de point peut être abordé dès l'entrée en cycle 2. Dans le même cadre que la question des unités de temps que sont le jour et l'année, le planétaire humain constitue en effet un point d'entrée concret qui permet de découvrir les différents aspects de cette notion par ailleurs abstraite.

Le travail impliquant l'utilisation des cercles et des propriétés ne peut se faire qu'une fois la notion introduite et suffisamment stable pour la questionner. Ce peut donc être en toute fin de cycle 2 ou au début du cycle 3. Par ailleurs, le lien avec l'ellipse et sa définition mathématique permet de prolonger le travail tout au long du cycle 3 et du cycle 4 (Rollinde, Nechache, Abboud, 2022). Un aboutissement de cela peut se trouver dans la redécouverte de la loi des aires de Kepler.

IV - LA PROPORTIONNALITÉ

1 Présentation brève de la séance de proportionnalité (extraite du projet)

L'objectif du projet était de filmer le mouvement animé des planètes. N'ayant pas de caméra capable de filmer les mouvements sur la bâche du planétaire, le travail proposé aux élèves était de construire, à partir d'une page A3 vierge, une version réduite des orbites du planétaire (ce que nous appellerons « le plan de prises de vues »). La première étape consistait donc à identifier les différences entre le planétaire humain et le plan de prises de vues initial (une page A3 vierge). Elles ont émergé assez facilement : la taille et les informations visuelles. L'objectif pour les élèves était donc le suivant : reproduire les figures présentes sur le planétaire sur le plan de prises de vues (vierge) en les rendant plus petites. Il s'agit donc de faire une réduction.

2 Travail des participants

Lors de cette partie, les participants ont commencé par répondre, par groupe de 4, aux questions suivantes : comment le planétaire permet-il d'aborder la notion de proportionnalité ? Quelle plus-value le planétaire apporte-t-il dans la découverte ou la consolidation de cette notion ? Lors de la mise en commun, la question de la proportionnalité est vite apparue comme une évidence chez les participants. Si le passage du format 3m par 6m au format A3 implique immédiatement pour des adultes formés à de telles procédures le recours à la proportionnalité, cela n'est pas le cas pour des enfants pour lesquels cette notion est en cours de construction. Ainsi, tout l'enjeu est d'explicitier ce processus afin de le rendre plus clair pour les élèves. Pour ce faire, des productions d'élèves ont été proposées et discutées de manière collective ce qui a permis d'apprécier les procédures mises en œuvre par les élèves.

3 Procédures mises en œuvre par les élèves

3.1 Plier

En reformulant l'objectif de la manière suivante : *il faut réussir à rendre les figures plus petites*, la solution qui consiste à plier le planétaire humain pour le rendre plus petit émerge naturellement chez les élèves. Il est alors a priori possible de comparer la taille du planétaire humain plié (la bâche de 3m par 6m) avec celle du plan de prises de vues (feuille A3). Cependant, pour des raisons pratiques de manipulation de la bâche, le pliage ne peut se réaliser que sur la longueur (ou la largeur). L'objectif devient de réussir à plier le planétaire humain dans le sens de la longueur afin que sa longueur devienne inférieure à celle de la feuille A3. Il est important de noter que la largeur ne va pas varier au cours de ce processus. Ainsi, ce qui est au départ un problème de réduction de surface est ramené à celui d'une réduction de longueur.

Il peut être intéressant, notamment en cycle 3, de réaliser la même procédure pour la largeur de la bâche. Une fois les réductions de la longueur et de la largeur effectuées, il est alors possible de revenir avec les

élèves à la question de la réduction d'une surface et de discuter la valeur du facteur de réduction de la surface par rapport à celles de la longueur et de la largeur.

Le pliage naturellement proposé par les élèves est un pliage en deux parties superposables dans le sens de la longueur ce qui revient à réduire la longueur comme la surface d'un facteur deux. Les élèves se rendent compte alors que plier la longueur une seule fois ne suffit pas, et proposent de recommencer ce pliage. La question est alors de savoir combien de fois il est nécessaire de plier de la sorte le planétaire humain afin que sa longueur soit contenue dans celle de la feuille A3. Les pliages successifs et les vérifications permettent de suivre l'ensemble du processus de réduction de manière concrète. La limite visuelle du moment où la procédure de pliage doit s'arrêter correspond au moment où la longueur du planétaire plié est plus petite que celle de la feuille au format A3. Cela se produit au bout de **quatre pliages successifs** soit un **facteur de réduction de la longueur de 16** (la longueur de 6m est alors réduite à une longueur de 37,5 cm).

Ce pliage présente l'intérêt de visualiser le facteur de réduction de la longueur. En effet, pour les enfants, en pliant la bâche en deux parties superposables, on a bien réduit d'un facteur deux la longueur. Quand nous replions encore en deux, ils trouvent naturellement un facteur 4. Par contre, lors du troisième pliage, la réponse généralement donnée par les élèves est un facteur de réduction de 6 au lieu de 8. Ils utilisent en effet un modèle additif et non multiplicatif pour le facteur de réduction. Il est alors possible de compter les plis pour vérifier et corriger cette hypothèse. On peut ensuite prédire par l'utilisation des doubles le prochain facteur de réduction. En pliant une quatrième fois, on plie ainsi en 16 soit le double de 8 ce qu'il est possible de vérifier en comptant encore une fois les plis formés sur la bâche.

Au cycle 3, il est également possible de formaliser la procédure en mettant en avant le comportement multiplicatif et non additif du facteur de réduction. Ainsi, plier trois fois une longueur c'est obtenir un facteur de réduction de $2 \times 2 \times 2 = 8$ et non $2 + 2 + 2 = 6$. Il peut aussi être intéressant d'évoquer la réduction de la surface pour comprendre que réduire longueur et largeur d'un facteur 2 c'est réduire la surface d'un facteur 4. Cela permet de retravailler le lien entre longueurs et surface. Une dernière étape pourrait alors être de réfléchir au facteur de réduction de la surface de la bâche au cours du processus mis en œuvre. Avec un facteur de réduction de 16 pour la longueur et pour la largeur, la surface du modèle réduit du planétaire est ainsi réduite d'un facteur $16 \times 16 = 256$.

3.2 Mesurer à l'aide d'une corde

Une fois le facteur de réduction identifié, il faut être en mesure de reporter les informations. Le rôle de l'enseignant est alors d'explicitier la manière de récupérer et reporter des informations d'un support à un autre. Un medium simple est la corde. Le Soleil est placé sur la feuille A3. Pour chaque médaillon de couleur figurant sur le planétaire humain, il faut couper des cordes à la longueur correspondant à la distance entre le Soleil et ce médaillon. Pour retrouver la longueur réduite, il faudra alors plier la corde de la même manière que ce qui a été fait pour la longueur de la bâche, soit quatre fois pour obtenir le facteur de réduction de 16. Un premier point est placé à l'aide de cette corde dont une des extrémités est placée sur le Soleil. La direction entre le Soleil et ce premier point est laissée libre. Les points suivants sont placés successivement comme intersection de deux arcs de cercle. Le premier arc de cercle est centré sur le Soleil avec un rayon égale à la longueur de la corde mesurée sur le planétaire (puis réduite) entre le Soleil et le point à tracer. Le second arc de cercle est centré sur le point précédent avec comme rayon la distance entre les deux positions successives de la planète considérée.

En pratique, nous verrons dans le paragraphe suivant qu'il est possible de simplifier la construction pour les orbites planétaires (sauf pour Mercure) en faisant l'approximation d'orbites circulaires. Ainsi, il est possible de tracer avec la corde repliée un cercle centré sur le Soleil avec un rayon correspondant à la distance réduite d'un facteur 16 entre le Soleil et n'importe laquelle des positions de la planète. Une fois ce cercle tracé, il suffit de choisir une position de départ puis de reporter à l'aide d'une seconde corde la

longueur réduite de la distance entre deux positions successives d'une planète en faisant l'approximation qu'elles sont égales sur toute l'orbite de la planète. Cette méthode ne fonctionne pas pour Mercure dont l'orbite est nettement elliptique.

Lors des différentes prises de mesure de longueur sur le planétaire humain, il apparaît rapidement une difficulté. En effet, la position de la planète à un moment donné est indiquée par un médaillon de couleur représenté géométriquement par un disque. C'est pourquoi, les élèves s'interrogent sur la manière de placer les extrémités de la corde : sur un bord du disque ? Au centre ? Dans ce cas, où se trouve le centre ? Cela renvoie alors à la définition géométrique d'un point (cf. section III).

C'est à travers ce questionnement que peut se construire la notion de point en lien avec la position, et la notion d'incertitude lorsque ce point est représenté par un disque. La représentation du point comme une croix (intersection de deux droites) apparaît alors comme préférable pour visualiser sa position dans l'espace.

Ce processus de mesure à l'aide de cordes peut apparaître laborieux et chronophage. S'il permet en théorie de reproduire en réduction le planétaire humain, cela demande un travail long et rébarbatif peu adapté aux élèves de cet âge et aux contraintes de la classe. Il s'agit en effet de récupérer les longueurs entre le Soleil et chaque position pour ensuite plier la corde quatre fois avant de la repositionner. Il peut également être imprécis du fait de plusieurs paramètres : corde insuffisamment tendue lors de la prise de mesures et du pliage, coupure au ciseau imprécise, erreur de pliage se répercutant sur les quatre pliages successifs. Toutefois, ce processus assure aux élèves une compréhension de la réduction et de sa mise en œuvre notamment en début de cycle 2 lorsque la maîtrise d'autres outils de mesure n'est pas encore suffisante. Il n'est donc pas pertinent de mener ce travail jusqu'au bout de manière exhaustive avec les élèves. Seule une démonstration du principe sur quelques positions suffit.

Nous notons ici que le fichier numérique du planétaire humain peut être mis à disposition des enseignants qui ne souhaiteraient pas mettre en place cette procédure, mais voudraient uniquement disposer d'un planétaire au format A3. Il est alors possible de l'imprimer directement au bon format.

3.3 Mesurer à l'aide d'un mètre

En fin de cycle 2 et au cycle 3, le passage par la corde peut aider à visualiser le processus de réduction. Des premiers essais peuvent toutefois faire apparaître la limite de l'utilisation des cordes et la nécessité d'utiliser un outil plus adapté. À cet âge, l'utilisation du mètre sera certainement proposée par les élèves et ceci avant la solution des cordes pour reporter les mesures. Ce cheminement permet d'identifier l'intérêt de mesurer avec un instrument de mesure. A partir de la valeur numérique et de l'unité associée à cet instrument, il est alors permis de réaliser toutes les opérations possibles sur les nombres : additionner, soustraire, multiplier et donc diviser.

Le lien avec le processus de pliage de la corde peut aider les élèves à comprendre pourquoi la division est utilisée dans le cadre d'une réduction. Il est possible de prendre la moitié du nombre puis une nouvelle fois la moitié et ainsi de suite jusqu'à obtenir un facteur de réduction de 16. Cela permet aux élèves de percevoir l'intérêt de l'abstraction permise par les mathématiques. On ne plie plus un objet (la bâche) mais on prend la moitié d'un nombre d'unités mesuré directement sur le planétaire humain. Cela est alors plus facile à faire et plus rapide.

De la même manière que pour les cordes, cette méthode de mesure implique une discussion sur la question du point. Elle permet aussi d'aborder la question de l'erreur de mesure. Cela peut se réaliser par des mesures d'une même longueur entre deux positions par différents élèves afin d'obtenir un échantillon de mesures suffisant d'une même longueur. Toutes les mesures sont-elles valables ? La discussion est intéressante au sein de la classe pour comprendre qu'à part les mesures éloignées de la moyenne et donc aberrantes, toutes sont valables. Ainsi, la mesure n'a de sens qu'avec l'erreur associée. Il ne s'agit pas d'un nombre exact et immuable mais du résultat d'un processus réalisé par l'homme dépendant de différents

facteurs. Le facteur humain bien évidemment, l'appareil de mesure également mais aussi tout un tas d'autres qu'il est possible de discuter en classe. L'explicitation de cette réflexion n'est probablement possible qu'en fin de cycle 3, voire en cycle 4.

3.4 Convertir

Dans le cadre du projet, seule importait la représentation des orbites des quatre planètes. Ainsi il n'était pas nécessaire que l'orbite de la comète Encke figure sur le plan de prises de vues. Or, cette dernière induit une augmentation significative de la longueur du planétaire humain. Pour une représentation sur une feuille A3 des orbites des quatre planètes seulement, un facteur de réduction de 10 est suffisant. L'intérêt de ce facteur de réduction est de travailler à l'aide d'un tableau de conversion en faisant le lien avec la numération. Une fois les mesures prises, leur conversion et leur changement d'unité constitue une mise en pratique intéressante de l'utilisation d'un tableau de conversion. Il permet de discuter des échelles et de l'unité de longueur la plus adaptée à chacune d'elles.

3.5 Reproduire

La dernière étape consistait à tracer les positions des planètes sur le plan de prises de vues (format A3). Comme expliqué ci-dessus, la procédure de réduction est trop longue. Nous avons alors proposé une procédure basée sur l'approximation d'orbites circulaires, pour les orbites de Vénus, de la Terre et de Mars. Ce travail, réalisé par les élèves de CE2, requérait l'utilisation d'un compas. L'enseignant doit préciser aux élèves que les orbites des planètes ne sont en réalité pas circulaires (il peut préciser ou non le mot « elliptique »). Toutefois, cette approximation est satisfaisante pour la Terre comme pour Vénus à l'échelle du planétaire humain et plus encore de sa réduction sur une feuille A3. Pour s'en convaincre, les élèves peuvent comparer les distances au Soleil de plusieurs points de l'orbite. Ils peuvent également comparer l'espacement des points tout au long de l'orbite, qui est approximativement constant. Cela s'explique par un raisonnement en plusieurs étapes (qui n'a pas besoin d'être explicité aux élèves) : la vitesse de la planète ne dépend que de sa distance au Soleil ; la distance au Soleil est approximativement constante, donc la vitesse est approximativement constante ; la durée entre deux points est constante, donc la distance parcourue est également approximativement constante. Il est également possible de laisser les élèves se rendre compte d'eux mêmes au cours de la prise de mesures que les valeurs obtenues (distances au Soleil et entre deux positions) sont presque égales pour ensuite introduire l'approximation des orbites circulaires.

Les élèves vont donc tracer l'orbite de chaque planète soit un cercle correspondant à la réduction du diamètre mesuré sur le planétaire humain (voir figure 2). Puis, chaque position a été construite de proche en proche en partant d'une position de départ arbitraire et en utilisant l'espacement constant entre deux positions tout au long de l'orbite. Cette longueur a donc été mesurée, réduite, puis reportée (voir figure 3) sur le cercle correspondant à l'orbite (voir figure 4).



Figure 2. Tracé de l'orbite



Figure 3. Longueur à reporter



Figure 4. Report de longueur le long de l'orbite

Pour Mars cependant, l'approximation est plus grossière. En effet, par la mesure, les élèves ont pu trouver des différences significatives entre deux positions successives, pour les duos les plus proches et les plus éloignés du Soleil. Afin de rendre le processus de construction plus simple, ils ont utilisé une valeur moyenne (entre la plus grande et la plus petite) des valeurs de rayon et d'espacement entre chaque position. Ceci a permis de retrouver le même nombre de positions (42) sur la réduction que sur le planétaire humain.

Pour Mercure, les écarts étaient bien trop importants du fait de l'excentricité de l'orbite. Cela se voit d'ailleurs à l'œil. La construction a donc été réalisée selon la procédure décrite plus haut, soit par mesure, réduction puis construction de chaque point individuellement. Si le processus de réduction dans ce cas spécifique a été explicité aux élèves, il a toutefois été réalisé directement par les enseignants étant donné sa complexité. Il est toutefois envisageable de le faire réaliser par les élèves en fin de cycle 3 ou cycle 4 une fois la maîtrise acquise de construction d'un point par l'intersection de deux arcs de cercle de rayons différents.

4 Synthèse du groupe sur le travail de la proportionnalité à l'aide du planétaire humain

4.1 L'intérêt de ce travail

Le planétaire humain est en lui-même une représentation du mouvement des planètes autour du Soleil en réduction. Son utilisation implique nécessairement de parler de la question d'échelle et des choix de représentation qui ont été faits pour sa réalisation. Il s'agit ainsi d'une bonne introduction pour un travail sur la proportionnalité afin de comprendre par une nouvelle réduction, ou un agrandissement, le processus qui a été mis en œuvre pour sa construction. Cette étape permet d'enrichir la compréhension du planétaire humain en mettant l'accent sur l'échelle de longueur qui est certainement la plus difficile à appréhender. Cette mise en projet autour d'une utilisation concrète permet également de mettre en évidence le modèle multiplicatif et non additif de la proportionnalité ce qui peut faire l'objet d'une institutionnalisation.

Par ailleurs, les élèves se retrouvent confrontés dans le cadre de ce travail au processus de mesurage : qu'est-ce qu'une mesure ? Qu'est-ce qu'une unité de mesure ? Qu'est-ce qu'une erreur de mesure ou la précision d'une mesure ? Qu'est-ce qu'une approximation satisfaisante ? Comment convertir une mesure ? Les élèves doivent être confrontés à des difficultés dans l'acte de mesurage pour se poser ces questions et éventuellement pour les résoudre pour certains d'entre eux. Effectivement, l'évaluation d'une approximation ou la discussion de l'erreur d'une mesure sont peu questionnées dans la classe.

De plus, l'usage du planétaire humain contribue à mettre en relation la mesure et la définition géométrique d'un point, élément essentiel dans l'apprentissage de la géométrie à l'école élémentaire.

4.2 À quel moment mettre en place ce travail ?

Ce travail sur la proportionnalité ne peut pas être effectué lors de la découverte, ni de l'utilisation du planétaire humain comme outil pédagogique. En effet, il ne s'agit pas de prendre en main cet outil mais de discuter des règles et choix présidant à sa construction. Pour en comprendre l'enjeu il faut donc se mettre dans « la peau du constructeur ». Il s'agit toutefois d'un approfondissement cohérent de l'utilisation du planétaire humain.

Cet enchaînement peut se proposer de deux manières. La première consiste à proposer la construction du planétaire humain dans une cour de récréation par exemple. En partant du modèle au format A3, il est possible d'en construire un agrandissement en fixant comme échelle visée : 1m égale à 1UA soit la distance Terre-Soleil. C'est cette échelle qui est utilisée pour le planétaire humain de 3m par 6m (format bâche). La seconde vise à la construction d'un format A3 à partir du planétaire humain 3m par 6m (format bâche). Il s'agit alors d'une réduction. Le déroulé peut alors correspondre à ce qui a été présenté précédemment.

L'intérêt d'avoir un planétaire au format A3 est qu'il permet un réinvestissement des notions abordées avec le planétaire humain de 3m par 6m en classe sans avoir à utiliser la bâche qui demande tout de même de l'espace et une organisation spécifique.

Dans les deux cas, il s'agit de travailler la proportionnalité dans le cadre géométrique avec la question de la réduction (ou de l'agrandissement) en lien avec la mesure, les unités de mesure, les conversions de mesures, les doubles ou les moitiés. Si cela peut difficilement se placer en début d'apprentissage de la proportionnalité, il s'agit certainement d'une bonne occasion pour réinvestir et consolider cette notion dans un contexte peu utilisé, celui de l'astronomie. Il est ainsi possible pour les élèves de « toucher du doigt » les enjeux et l'intérêt des mathématiques dans la construction de notre environnement.

V - CONCLUSIONS

1 Intérêt de l'utilisation du planétaire humain en classe

1.1 De manière générale

Le principal intérêt du planétaire humain est qu'il s'agit d'un outil ludique qui utilise le mouvement du corps pour faire vivre aux utilisateurs le mouvement des planètes du système solaire. Cela permet de rendre plus concret un mouvement abstrait car se déroulant à une échelle que l'esprit humain a du mal à appréhender. Il s'agit en effet de mouvements à l'échelle astronomique dans un espace essentiellement à deux dimensions qui ne fait pas partie du vécu quotidien d'un être humain. Il est ainsi possible d'explicitier des notions mathématiques qui sont difficiles à aborder. C'est notamment le cas des unités de mesure du temps que sont la journée et l'année en cycle 2 mais aussi la vitesse et son lien avec longueur et durée en cycles 3 et 4. Par ailleurs, le planétaire humain peut être un bon outil pour réinvestir et consolider des notions de géométrie (point, ligne, cercle, ellipse, etc) ou travailler sur la proportionnalité.

Il est intéressant de signaler que lors des séances successives, les élèves sont capables de redonner collectivement l'ensemble des conclusions faites lors des séances précédentes. De plus, les années suivantes, la plupart se rappelle avoir travaillé avec cet outil et est encore capable d'en redonner les principes de fonctionnement. Une conclusion similaire sur l'impact à long terme a été obtenue par (Rollinde et al., 2021) avec des élèves de lycée. Cela témoigne de l'impact de son utilisation sur le vécu des élèves. Des études en ce sens sont actuellement réalisées dans le cadre du projet Aristarchus (<http://aristarchusproject.eu>) et donneront lieu à des publications prochainement.

1.2 Dans le cadre spécifique de l'éducation prioritaire

Dans le cadre d'une utilisation en éducation prioritaire, il est essentiel de s'adresser à l'ensemble des élèves de la classe. Le planétaire humain présente pour cela plusieurs avantages. Le premier est qu'il ne

demande pas de prérequis scolaire. Cela permet à tous, notamment les élèves les plus en difficulté, de se sentir partie prenante de l'activité, de participer et de comprendre. Par ailleurs, l'aspect ludique de cette activité induit une participation volontaire de tous et un réel enthousiasme.

Il est également notable que l'apport d'un outil différent de ce qui est habituellement utilisé par les élèves en classe de même que l'aspect kinesthésique du planétaire humain induit une mémorisation accrue. En effet, après chaque séance, il est possible pour le collectif d'élèves de retrouver sans difficulté les grandes lignes de ce qui a été institutionnalisé lors de la séance précédente. Tout ceci sans réinvestissement des connaissances acquises à la maison. Il s'agit d'un point d'importance car si le manque de suivi à la maison n'est pas spécifique à l'éducation prioritaire, il est assurément plus prégnant dans ce contexte.

1.3 Pour des élèves allophones

Comme dit précédemment, l'un des intérêts du planétaire humain est de permettre de vivre le mouvement des planètes autour du Soleil avec son corps. Cette découverte peut ainsi se faire indépendamment de toute communication verbale que ce soit avec l'enseignant ou avec ses camarades. Ce support peut ainsi être source d'échanges visuels ou gestuels permettant au moins en partie de faire abstraction de la barrière de la langue. Il permet aussi de communiquer dans sa propre langue pour exprimer son ressenti sans pour autant que cela ne soit complètement incompréhensible pour les camarades présents.

1.4 Pour des élèves avec des difficultés de repérage dans l'espace

Dans le cadre de difficultés spécifiques de repérage dans l'espace, il peut être intéressant de passer par le méso-espace pour comprendre et situer des phénomènes (voir l'étude sur les changements de référentiels par (Rollinde et al., 2021)). Un travail de mise en relation entre planétaire humain sur bâche (3m par 6m) et planétaire humain en format A3 semble donc intéressant pour travailler les difficultés spécifiques de ces élèves. De même, la chorégraphie du mouvement des planètes répétée et réutilisée séance après séance peut permettre de construire des repères pour les élèves présentant des difficultés de repérage dans l'espace.

2 Points de vigilance

2.1 Le contexte artistique

Le travail réalisé dans le cadre de ce projet a pu l'être par la combinaison de plusieurs facteurs. Le premier, la motivation de l'équipe enseignante de l'école (merci à Mesdames Achtergall Amandine, Le Guillou-Declercq Carole, Leroy Lucile et Monsieur Oudjeddi Larbi). Le second, l'intervention de partenaires scientifiques de proximité et de qualité (le Parc aux étoiles de Triel-Sur-Seine). Le troisième, le financement de matériel par l'intermédiaire d'un projet Pacte. Ceci est d'importance car l'utilisation du planétaire humain implique un investissement financier non négligeable. L'achat d'un modèle de 3m par 6m demande un investissement d'environ 500-600 euros (de nouvelles possibilités d'impression permettraient de réduire la facture à environ 300 euros).

Il est également possible de construire le planétaire humain, dans une cour de récréation par exemple, pour une somme bien moindre. Quelques craies pour une version éphémère, quelques pots de peinture routière pour une version pérenne. Quoiqu'il en soit, cet investissement peut s'avérer rentable dans le cadre d'une utilisation sur plusieurs années (inter-école, inter-degrés) ou même dans une dynamique de circonscription. En effet, le planétaire humain de 3m par 6m est facilement transportable d'école en école pour une utilisation partagée sur l'ensemble de l'année scolaire.

2.2 Les limites du modèle utilisé

Il est important lors de l'utilisation du planétaire humain de connaître les limites de ce modèle de représentation. Premièrement, il s'agit d'une représentation plane qui ne prend pas en compte les écarts

par rapport au plan de l'écliptique notamment concernant la trajectoire de la comète. Deuxièmement, comme nous l'avons déjà mentionné, si les échelles de distance sont respectées, cela n'est pas le cas pour les tailles des planètes. Cela peut induire la conception erronée d'un espace relativement plein avec des planètes qui peuvent se toucher comme c'est le cas pour les élèves lors de leur déplacement sur le planétaire humain. Troisièmement, le choix des pas de temps implique que le retour à la position de départ ne soit en réalité pas exact pour la plupart des planètes. Cette erreur de quelques jours terrestres apparaît comme acceptable dans le cadre d'une compréhension globale des notions. Toutefois, l'utilisation du planétaire humain pour des activités mathématiques plus précises notamment dès qu'il s'agit de mesurer sur ce dernier ne peut faire l'impasse sur une discussion autour de cette question.

3 Diffusion

3.1 Dans les différents cycles : vers un travail inter-degrés

Comme nous avons pu le voir, le planétaire humain est utilisable depuis la fin de la maternelle jusqu'au lycée. Avec le même outil, il est possible de travailler des notions aussi différentes que complémentaires en approfondissant au fur et à mesure la compréhension du mouvement des planètes autour du Soleil. De plus, l'utilisation de cet outil pédagogique demande un certain investissement en temps car il faut d'abord au moins la séance de découverte pour pouvoir travailler sur d'autres notions en mathématiques en physique ou en sciences et vie de la Terre. Si les élèves ont travaillé dessus lors des années précédentes, cela permet de réaliser un gain de temps notable en se focalisant les années suivantes uniquement sur les notions objets de l'apprentissage. Par ailleurs, après avoir montré un vif intérêt lors des premières séances, il est possible à partir de la cinquième ou sixième séance de constater une certaine lassitude des élèves à travailler sur le même support. Cela plaide en faveur d'un apprentissage cyclique étalé sur plusieurs années avec un approfondissement progressif de l'apprentissage.

Cet outil se prête donc particulièrement au travail en inter-degrés sur une programmation en liaison école-collège-lycée qu'il est possible d'ébaucher. Après une première découverte sur la chorégraphie des planètes en fin de maternelle combinée par exemple avec un travail sur la suite numérique et les rondes, le travail en cycle 2 peut être consacré à la question des mesures de temps que sont le jour et l'année. En cycle 3, il est possible d'aborder la notion de cercle en la mettant en rapport avec l'ellipse puis de réaliser un travail autour de la proportionnalité. Outre cette notion, seront alors traitées des questions en géométrie (définition d'un point notamment) et en mesure (intérêt de la mesure, réalisation de la mesure, conversion de mesures). En cycle 4, il est possible de travailler sur la notion de vitesse et d'angle pour arriver au lycée à retrouver la loi des aires de Kepler.

3.2 Dans les écoles

Le planétaire humain est un outil qui apporte une réelle plus-value à l'enseignement de certaines notions notamment à l'école élémentaire. Pourtant, au premier abord, cet outil peut sembler trop complexe pour oser l'utiliser en classe. Cela peut être par manque de connaissance en astronomie et la peur de se retrouver avec des questions des élèves pour lesquelles il est difficile d'avoir une réponse. Cela peut aussi être lié à la multitude des possibilités d'utilisation de cet outil qui augure une prise en main longue et laborieuse.

C'est pourquoi, il est important de focaliser son utilisation sur des activités simples et centrées sur les connaissances où il apporte une réelle plus-value en fonction du niveau de classe de l'enseignant. Ces activités ne demandent alors pas de connaissances pointues en astronomie. Dans ce cadre, son utilisation est simple et l'outil rapide à mettre en place. Après une brève explication par un pair et avec des séances détaillées clés en main, il est tout à fait possible de mener une séquence (trois séances de 45 minutes environ) autour des unités de mesure du temps par exemple. Ceci peut être une première approche de l'enseignant avec cet outil pédagogique qui se suffit à elle-même ou peut déboucher par la suite sur un

travail plus approfondi avec les élèves qui peut s'étaler sur plusieurs années dans le cadre d'une démarche d'équipe.

3.3 Dans la formation des professeurs des écoles

Le planétaire humain est un outil intéressant à utiliser dans le cadre des formations initiale et continue des professeurs des écoles. Il offre un environnement de formation permettant une approche interdisciplinaire, articulant des notions relevant des mathématiques mais aussi de la physique. De telles formations sont conçues et mises en œuvre au sein du master MEEF1 (Abboud et al., 2022) et dans le cadre de formations continues (via le groupe Astronomie, IREMS de PARIS⁴).

3.4 Dans les lieux de culture scientifique

Le planétaire humain peut être utilisé suivant deux modalités. Une première version déplaçable (bâche de 3m par 6m) se prête particulièrement à la diffusion du savoir par le biais d'ateliers réalisés dans les écoles ou des manifestations hors sol. Une seconde version peinte sur le sol peut faire apparaître les orbites des planètes au-delà de Mars. Cette version peut alors être utilisée au sein de l'espace de culture scientifique en complément des activités proposées. Au sein d'un planétarium, il est par exemple possible de comprendre les mouvements observés dans le ciel comme la rétrogradation de Mars. Dans un musée dédié aux sciences en générale, il permet de réaliser des activités guidées à destination des scolaires ou bien être inclus dans un parcours de visite. Pour être utilisé en autonomie, il suffit de mettre à disposition des visiteurs des panneaux explicatifs sur les règles de la chorégraphie, un métronome à activer par le visiteur et un panneau permettant de mettre en mot ce que ce dernier aura ressenti lors de son utilisation autonome.

L'association F-HOU

Si vous souhaitez acquérir un planétaire, ou bénéficiez d'une formation ou d'une séance au sein de votre école ou musée, vous pouvez contacter l'association F-HOU, qui est à l'origine du développement du planétaire en France et aujourd'hui en Europe, ou le groupe Astronomie de l'IREMS de Paris.

Quoiqu'il en soit, à une époque où les connaissances scientifiques, notamment en astronomie, sont de plus en plus souvent remises en cause, l'utilisation d'outils kinesthésiques de diffusion scientifique apparaît comme un atout majeur dans la diffusion des sciences auprès d'un public le plus large possible.

VI - CREDITS

Ce projet a bénéficié du soutien de la Commission européenne dans le cadre du projet :

ERASMUS+/ARISTARCHUS(2021-1-FR01-KA220-SCH-000032478)

Cette publication n'engage que son auteur et la Commission ne peut être tenue pour responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans ce document.

VII - BIBLIOGRAPHIE

Abboud, M., Hoppenot, P., & Rollinde, E. (2019). Enhancing mathematics and science learning through the use of a Human Orrery. In Jankvist, U. T., Van den Heuvel-Panhuizen, M., & Veldhuis, M. (Eds.). (2019). *Proceedings of the Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education (CERME11, February 6 – 10, 2019)*. Utrecht, the Netherlands: Freudenthal Group & Freudenthal Institute, Utrecht University and ERME.

Abboud, M., & Rollinde, E. (2021). Les Mathématiques du Système Solaire en plein air. Le planétaire humain au collège. *Repères IREM*, (124), 37-62.

4 <https://irem.u-paris.fr/astro>

Abboud, M., Nechache, A. & Rollinde, E. (2022). Former les enseignants du primaire à une démarche interdisciplinaire mathématiques-sciences dans le contexte de l'astronomie. In M. Abboud et C. de Hosson (Eds.), *Rendez-vous en didactique : recherches, dialogues et plus si affinités* (pp.205-211). IREM de Paris - Université Paris Cité. ISBN : 978-2-86612-403-8.

Rollinde, E., Ferlet, R., Melchior et al. (2016). Enseigner la physique et les mathématiques autrement : EU-HOU, Hands-On Universe EU-HOU, Hands-On Universe. *Le Bulletin de l'Union des Professeurs de Physique et de Chimie*. <hal-02303711>

Rollinde, E. (2019a). Learning Science through enacted astronomy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17 (2), 237-252.

Rollinde, E. (2019b). Enacting planets to understand occultation phenomena. *JOE - Journal of Occultation and Eclipse*, ed. Dr. Soleiman Hosseinpour (6), p.11-19 <hal-02303664>

Rollinde, E., Nechache, A., Abboud, M. (2022). Étude du travail géométrique autour des ellipses avec le planétaire humain. *Septième symposium d'Étude sur le Travail Mathématique - ETM7* – Strasbourg. <hal-04238285>

Rollinde, E., Décamp, N., Derniaux, C. (2021). Should frames of reference be enacted in astronomy instruction? *Physical Review Physics Education Research*, 17 (1) <hal-03252842>

Rollinde, E., Maisch, M. (2023). LES ORBITES PLANÉTAIRES SONT-ELLES CIRCULAIRES ? : Une ingénierie didactique associant mathématiques et sciences en cycle 3. *Grand N*, 111, pp.5-39. <hal-04227613>

ANNEXE 1 (DÉROULEMENT CHRONOLOGIQUE DU PROJET)

1.1 Le contexte artistique – décembre 2021

Le projet a été introduit par le visionnage au cinéma Pandora d'Achères d'un film d'animation afin de faire découvrir aux élèves le contexte artistique du projet. Nous avons ensuite découvert en classe la technique spécifique du stop-motion qui allait ensuite être utilisée pour la réalisation du film.

1.2 Les caractéristiques des planètes – janvier 2022

La première intervention du parc aux étoiles réalisée par Madame Amandine Rault visait à faire découvrir aux élèves les caractéristiques des planètes du système solaire grâce à un atelier pédagogique proposé par cette structure.

1.3 Le mouvement des planètes – février à mai 2022

Durant cette seconde phase du projet, les élèves ont découvert en classe au cours d'une séance dédiée de quarante-cinq minutes le fonctionnement du planétaire afin de comprendre le mouvement des planètes autour du Soleil. Trois autres séances ont porté sur la réalisation du plan de prises de vues puis la construction des planètes en pâte à modeler.

1.4 La réalisation du film – juin 2022

Une seconde série d'ateliers proposée par le parc aux étoiles a permis la réalisation des prises de vues avec le logiciel audacity. Il s'agissait de positionner les planètes sur les repères figurant sur le plan de prises de vues et de les déplacer au fur et à mesure que les images étaient prises. La succession des images lors du montage permet alors d'obtenir le mouvement des planètes autour du Soleil. Nous avons ensuite rédigé en classe les textes de la bande son avant de l'enregistrer grâce au logiciel audacity.

1.5 La restitution aux parents – fin juin 2022

Lors d'un moment de porte-ouverte au sein de l'école permettant la présentation des différents projets proposés au cours de l'année scolaire menés par les classes de l'école, les parents ont pu visionner le film réalisé par les élèves ainsi que son making-of.

ANNEXE 2 (SÉANCE DE DÉCOUVERTE)

Prérequis : se déplacer en suivant un rythme, connaître la suite numérique jusqu'à 40.

Objectifs :

- Identifier les planètes du système solaire.
- Comprendre leur mouvement autour du Soleil.
- Comprendre que plus un objet est proche du Soleil, plus il se déplace rapidement.

Déroulement :

Phase 1 : découverte du planétaire. Individuel 5 min.

Consignes de sécurité :

- On marche sur le planétaire en chaussettes pour ne pas l'abîmer.
- On se déplace en marchant pour ne pas glisser et se faire mal.

Laisser librement les élèves découvrir le planétaire. *Consigne : déplacer vous sur le planétaire en gardant en tête ce que vous observez.*

Phase 2 : mise en commun. Collectif 10 min.

Retour sur la découverte du planétaire. Qu'avez vous observé ?

- Ils reconnaîtront la Terre et le Soleil peut-être certaines autres planètes. → passer en revue les planètes.
- Ils parleront aussi de caillou ou de météorite. → expliquer que c'est une comète et de quoi il s'agit brièvement et renvoyer à une séance ultérieure de réinvestissement.

Faire le point sur les planètes, donner leur nom et quelques caractéristiques.

Mettre en avant la présence de médaillons de couleur, chacun associé à une planète (position des planètes autour du Soleil). → les planètes tournent autour du Soleil. Il y a également des nombres.

Phase 3 : découvrir la trajectoire d'une planète : son orbite. Collectif 5 min.

Placer au moins deux élèves sur chaque planète sauf pour Mercure.

Consigne : nous allons reproduire le mouvement des planètes autour du Soleil. Pour cela il faut suivre la ligne correspondant à la couleur de sa planète. C'est ce qu'on appelle l'orbite de la planète.

Il est probable que les enfants n'aillent pas tous dans le même sens. Si ce n'est pas le cas, aller sur le planétaire pour suivre volontairement la trajectoire dans le mauvais sens afin de susciter le questionnement souhaité.

→ que se passe t-il ? → les planètes sont rentrées en collision. Est-ce-que ça arrive ? → non. Il y a donc un sens et elles tournent toutes dans le même sens. Comment le trouver ?

Les élèves parleront certainement des numéros. Si ce n'est pas le cas, les aiguiller.

Phase 4 : les règles de déplacement. Collectif 5 min.

Se déplacer sur le point suivant dès que j'entends taper des mains.

Particularité de Mercure : en faisant un tour de l'orbite, Mercure ne revient pas à la même position. Les points en gris clair correspondant aux positions pour le deuxième tour. Le troisième reprend les dispositions du premier. Faire un exemple avec les élèves.

Phase 5 : chorégraphie des planètes. Demi-groupe 2X5 min.

Un élève sur le Soleil. Un élève par planète (jusqu'à deux sur Terre et trois ou quatre sur Mars).

Consigne acteur : réaliser la chorégraphie des planètes en respectant les règles (sens et déplacement à chaque clap).

Consigne observateur : observer leur mouvement.

Question entre les deux groupes : qu'observe t-on ? → plus on est proche du Soleil, plus on se déplace vite.

Vérification de l'observation avec le second groupe.

Phase 6 : retour sur les observations effectuées. Collectif 10 min.

Qu'avons nous appris ? Qu'avons nous mis en évidence ?

Partir des réponses des élèves et étayer en employant le vocabulaire adapté.

Plus une planète est proche du Soleil, plus elle se déplace rapidement le long de son orbite.

Orbite = parcours (chemin) effectué par la planète autour du Soleil.

ANNEXE 3 (SÉANCE SUR LES ANNÉES)

Phase 1 : redécouverte du planétaire et chorégraphie. Collectif puis demi-groupe 15 min.

- 1) Rappel des différents éléments figurant sur le planétaire.
- 2) Reproduire la chorégraphie des planètes.
- 3) Retrouver les conclusions : plus on est proche du Soleil, plus le déplacement est rapide.

Phase 2 : année sur Terre. Collectif puis demi-groupe 15 min.

Faire placer les enfants autour des orbites. Chaque enfant a pour objectif de compter le nombre d'années de son binôme.

- 1) Poser un gâteau d'anniversaire sur Terre au point de départ de la chorégraphie.
- 2) Reproduire la chorégraphie des planètes. S'arrêter lorsque c'est son anniversaire. Que s'est-il passé ? Quel âge ai-je ?
- 3) Refaire un autre tour. Quel est mon âge maintenant ?
- 4) Expliciter la définition d'une année : durée nécessaire à la Terre pour revenir à la même position par rapport au Soleil.

Phase 3 : comparaison de la durée d'une année. Demi-groupe puis collectif 15 min.

- 1) Poser un gâteau d'anniversaire sur Mars et réaliser le même travail que sur Terre.
- 2) Même chose pour Vénus.
- 3) Faire tourner un ou deux élèves sur Terre, Vénus et Mars en même temps. Dès qu'un a une année de plus, on regarde quel est l'âge sur les deux autres planètes.
- 4) Tirer une conclusion : l'âge dépend de la définition d'une année et donc de la planète sur laquelle on se trouve. Faire le lien avec l'atelier précédent sur les caractéristiques des planètes.
- 5) La définition d'une année dépend de la planète sur laquelle on se trouve sa durée correspond à la durée d'une **révolution** de la planète autour du Soleil.

Attention : l'important est de comprendre que ce n'est pas la durée mesurée qui change mais l'unité de mesure dans laquelle elle est exprimée. L'année mercurienne dure moins longtemps que l'année vénusienne qui dure moins longtemps que l'année terrestre qui dure moins longtemps que l'année martienne.

ANNEXE 4 (SÉANCE SUR LE JOUR ET LA NUIT)

Phase 1 : redécouverte du planétaire et chorégraphie. Collectif puis demi-groupe 10 min.

- 1) Reproduire la chorégraphie des planètes.
- 2) Indiquer quand on arrive à une année.

Retrouver les conclusions des séances précédentes : plus on est proche du Soleil, plus le déplacement est rapide. Plus on est proche du Soleil, plus la durée d'une année est courte.

Phase 2 : jour et nuit. Collectif puis demi-groupe 10 min.

Nous avons découvert ce qu'est une année. Est-ce que vous connaissez d'autres mesures du temps ?

→ si les élèves ne la mentionnent pas, parler de la journée. Que se passe-t-il lors d'une journée ? → il y a des moments où il fait jour, d'autres où il fait nuit = alternance jour/nuit. Aujourd'hui nous allons essayer de comprendre comment cela fonctionne.

De quoi allons nous avoir besoin ? → Terre et Soleil. S'ils mentionnent la lune, parler de l'échelle et expliquer qu'elle serait trop proche de la Terre pour être représentée.

Placer 4 élèves sur l'orbite de la Terre également répartis (0, 6, 12 et 18) et un élève sur le Soleil.

Consigne pour ceux sur la Terre : se mettre en position pour qu'il fasse jour pour un humain placé sur votre nez (jour sur la Terre).

Consigne observateur : regarder la position de tous vos camarades.

Si difficulté, les relancer : que se passe-t-il quand il fait jour ? → on voit le Soleil.

Consigne Terre : se mettre en position correspondant à la nuit sur la Terre.

Consigne observateur : regarder la position de tous vos camarades.

Si difficulté, les relancer : que se passe-t-il quand il fait nuit ? → on ne voit pas le Soleil.

Question observateur : vos camarades sont-ils tous dans la même position ? Non → la Terre tourne sur elle-même.

Phase 3 : les moments de la journée. Collectif puis demi-groupe 15 min.

Récapitulatif : l'alternance jour/nuit s'explique par la rotation de la Terre sur elle-même.

Indiquer que la rotation se fait dans le sens des aiguilles d'une montre en montrant ce que cela signifie.

Placer 4 autres élèves sur la Terre et un autre sur le Soleil.

Consigne Terre : tourner sur vous-même pour représenter la rotation de la Terre et dites jour quand il fait jour et nuit quand il fait nuit.

Consigne observateur : repérer le moment où cela change.

Question observateur : à quel moment cela change-t-il ? → quand on commence à voir le Soleil.

Pour nous aider à repérer ce moment, nous allons tendre les bras et garder la tête bien droite en regardant droit devant.

Consigne Terre : tourner sur vous-même pour représenter la rotation de la Terre en tendant les bras. On s'arrêtera à certains moments importants.

Consigne observateur : identifier la position des différents moments de la journée.

Arrêter quand on commence à voir le Soleil = matin. Arrêter quand on commence à ne plus voir le Soleil = soir.

Avec un autre groupe.

Consigne Terre : se placer au matin. Puis le midi. Puis le soir. Puis en plein milieu de la nuit (minuit).

Consigne observateur : identifier la position des différents moments de la journée.

Vérifier la compréhension de chacun en fonction des positions.

Phase 4 : le mouvement de la Terre. Collectif 10 min.

Quels mouvements fait la Terre ? → **rotation** sur elle-même et **révolution** autour du Soleil. Insister sur la différence entre les termes de rotation et de révolution.

Rotation = définit la journée, révolution = définit l'année.

Combien de fois la Terre doit-elle tourner sur une année ? → 365 fois car une année = 365 jours.

Mettre en évidence l'unité de temps : 15 ou 16 jours entre 2 positions (points) sur le planétaire. Donc la Terre doit tourner 15 ou 16 fois sur elle-même en rejoignant le point suivant. Faire la démonstration puis demander à ceux qui le souhaitent d'essayer.

Phase 5 : quand voit-on Vénus ? Réinvestissement. Collectif puis demi-groupe 20 min.

- 1) Rappel alternance jour/nuit.
- 2) Placer un élève sur le Soleil, un sur la Terre et un autre sur Vénus. Attention, ils doivent être sur le même numéro.
- 3) *Consigne Terre : tourner sur soi-même pour représenter la rotation de la Terre.*
- 4) Quand voit-on Vénus ? Conditions : voir Vénus et ne pas voir le Soleil car sinon la lumière du Soleil masque l'éclat de Vénus. Identifier les moments de la journée où cela est possible (début et fin de nuit).
- 5) Même chose sur différentes positions Terre et Vénus.

Possibilité d'extension avec Mars par exemple. Quand voit-on Mars ?

ANNEXE 5 (SEQUENCE SUR LES CERCLES)

Voir Rollinde & Maisch (2023).