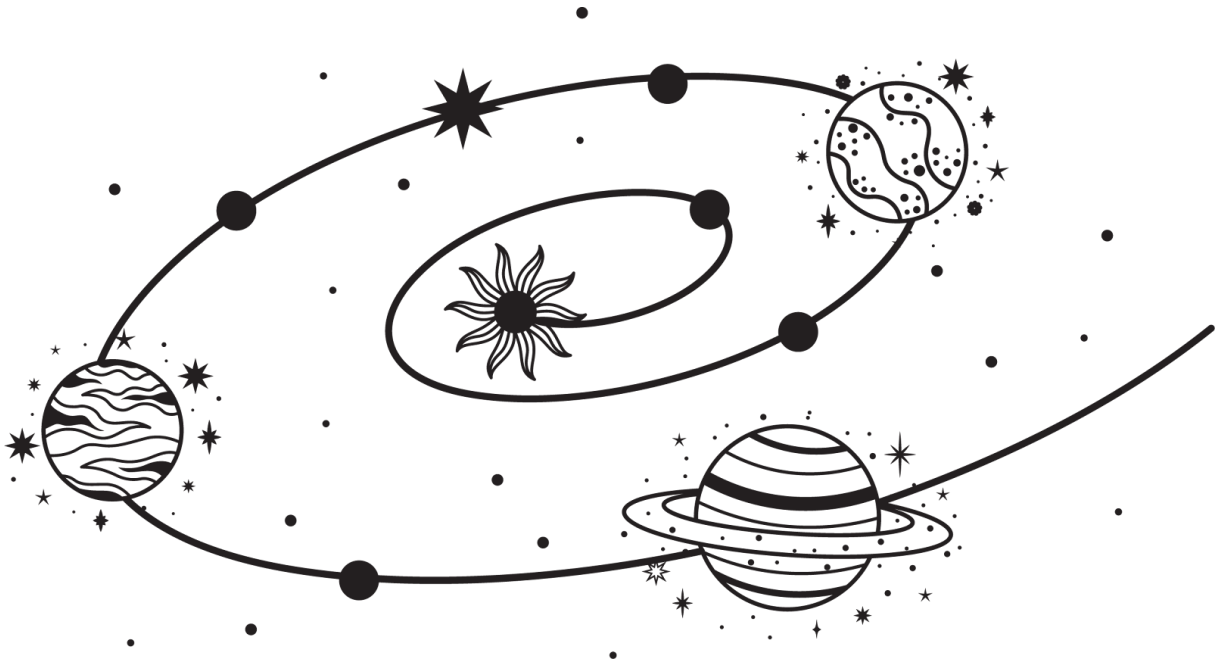


ARISTARCHUS

APPROCHE THÉORIQUE D'ARISTARCHUS



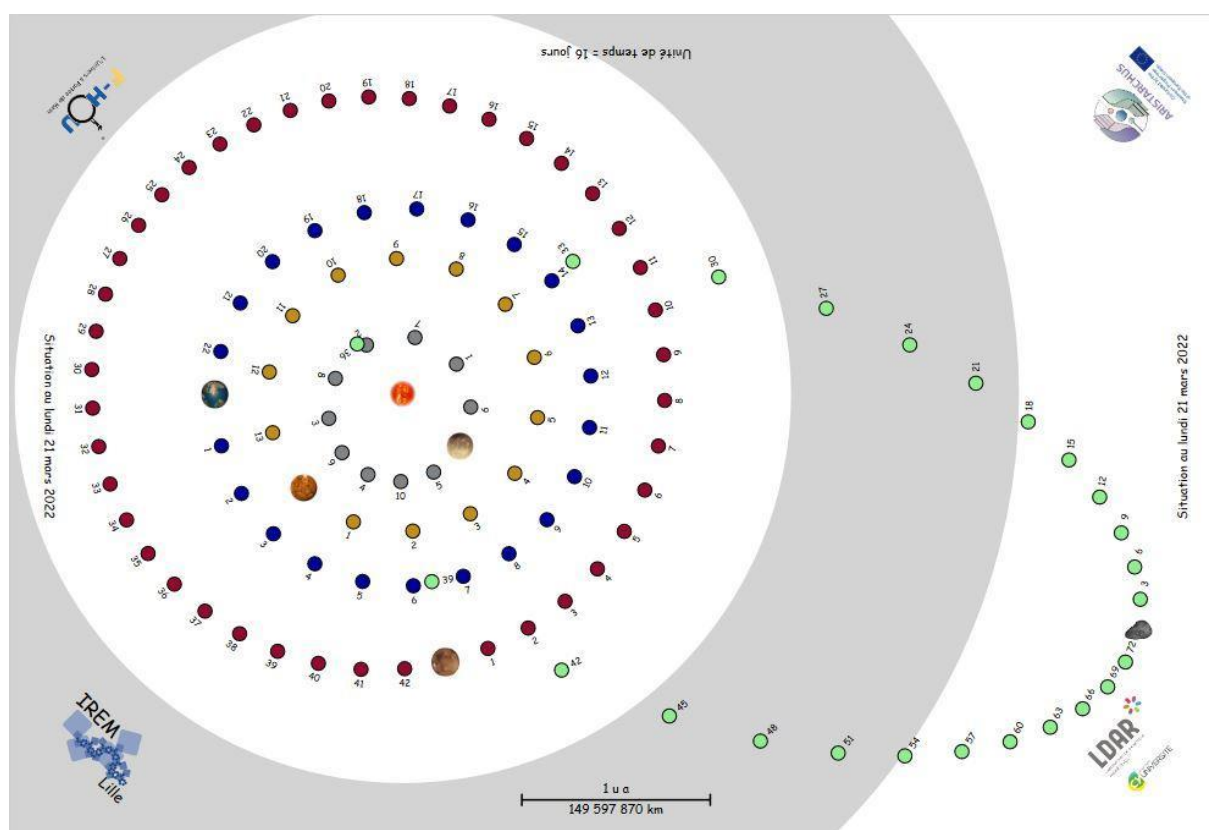
APPROCHE THÉORIQUE D'ARISTARCHUS

Projet Européen Aristarchus

Octobre 2024

L'astronomie intéresse les apprenants de tous âges, et l'enseignement de l'astronomie est présent dans les programmes scolaires de nombreux pays (Salimpour et al., 2021). Le planétaire humain vise à faciliter l'émergence d'un modèle scientifique du Système solaire dans les écoles, du primaire au secondaire, en intégrant le mouvement physique et les expériences sensorielles dans les méthodologies éducatives.

Dans toutes les sessions présentées par le projet ARISTARCHUS, l'apprentissage se déroule comme un processus d'enquête. Grâce à ce processus, la bûche du planétaire humain devient une scène où les corps humains et les corps célestes interagissent et se transforment les uns les autres. Cette démarche s'inscrit dans une "approche enactive" où "l'apprenant se déplace d'une nouvelle manière" (Abrahamson et Sánchez-García, 2016).



Le planétaire humain en langue française de 3,4*6 mètres carrés.

Nous veillons à ce que les sessions proposées dans le projet soient aussi accessibles que possible afin de favoriser l'inclusion de tous les élèves. Cette accessibilité passe par le support d'activité proposé (le planétaire humain) mais aussi par les ressources mises à disposition des enseignants pour compléter les séances. Le support planétaire offre aux élèves une variété de moyens d'action et d'expression (oraux et écrits, mais aussi physiques et moteurs). Son caractère atypique et sa capacité à fournir une validation externe peuvent également constituer un véritable levier pour engager les élèves dans les tâches proposées. De plus, les fiches de séances mettent en évidence une série d'éléments que les enseignants peuvent utiliser pour s'adapter aux besoins de leurs élèves, tels que la liste des prérequis, les obstacles inhérents à la séance et les prolongements possibles.

Références :

Abrahamson, D. et Sánchez-García, R. (2016). L'apprentissage se déplace d'une nouvelle manière : La dynamique écologique de l'enseignement des mathématiques. *Journal of the Learning Sciences*, 25(2):203-239.

Salimpour, S., Bartlett, S., Fitzgerald, M. T., McKinnon, D. H., Cutts, K. R., James, C. R., Miller, S., Danaia, L., Hollow, R. P., Cabezon, S., et al. (2021). The gateway science : A review of astronomy in the oecd school curricula, including china and south africa. *Research in Science Education*, 51:975-996.

Histoire du planétaire humain

Les planétariums - une projection du ciel en forme de dôme - sont souvent utilisés pour montrer le mouvement des planètes autour du Soleil (Brazell et Espinoza, 2009 ; Plummer et al., 2015). Les planétaires, modèles mécaniques du Système solaire, sont des alternatives appropriées. Un planétaire mécanique représente les planètes sous forme de sphères en 3D et reproduit leurs mouvements à l'aide d'un ensemble de dispositifs mécaniques. Un planétaire humain est une représentation matérielle plane, une carte spatio-temporelle, des mouvements de certains des corps du Système solaire autour du Soleil par le biais d'une série de disques situés à leurs positions respectives à différents moments dans une seule image statique (une chronophotographie).

Toujours dessinées dans le cadre héliocentrique (le Soleil étant au repos, la référence du mouvement des autres objets), elles représentent avec précision des orbites elliptiques conformes aux lois de Kepler. La distance entre la Terre et le Soleil est généralement d'un mètre, ce qui permet aux participants de jouer le rôle de planètes se déplaçant autour du Soleil. Il permet ainsi une approche incarnée et interdisciplinaire, combinant des connaissances en astronomie, en cinématique, en géométrie et en analyse.

Le premier planétaire humain créé à échelle humaine est au Japon (Dinic Astropark), puis un second a été créé à l'Observatoire d'Armagh (Asher et al., 2007). Le dispositif japonais utilise des orbites circulaires, tandis que le planétaire d'Armagh est une représentation très précise des orbites elliptiques incluant des planètes jusqu'à Saturne et deux comètes. Depuis 2015, l'association [F-HOU](#) a développé un large réseau de planétaires humains en France et à travers le monde. Différentes séquences pédagogiques ont été mises en place et analysées dans différents articles de recherche par l'équipe de recherche LDAR-CY de l'ESMEA.

Le projet ARISTARCHUS a poursuivi cet effort de recherche et de diffusion ([voir la carte en ligne](#) ainsi qu'une description et des photos de toutes les planétaires du monde [ici](#)).

- *Références :*

Asher, D., Bailey, M., Christou, A. et Popescu, M. (2007). Le planétaire humain : Un nouvel outil pédagogique pour l'astronomie. *Astronomy Education Review*, 5(2):159-176.

Brazell, B. D. et Espinoza, S. (2009). Méta-analyse de la recherche sur l'efficacité des planétariums. *Astronomy education review*, 8(1).

Plummer, J. D., Schmoll, S., Yu, K. C., et Ghent, C. (2015). Un guide pour mener des recherches éducatives dans le planétarium. *Planetarian*, 44(2):8-24.

- *Références ESMEA :*

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

Rollinde, E. (2017). Apprendre la science à travers l'astronomie appliquée. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 17(2):237-252.

Rollinde, E. (2019). Enacting planets to understand occultation phenomena. arXiv preprint arXiv:1910.09403.

Rollinde, E., Decamp, N. et Derniaux, C. (2021). Should frames of reference be enacted in astronomy instruction ? *Physical Review Physics Education Research*, 17(1), 013105.

Rollinde, E. et Maisch, C. (2023). Les orbites planétaires sont-elles circulaires ? *Grand N, Revue de mathématiques, de sciences et technologie pour les maîtres de l'enseignement primaire*, (111):5-39.

Rollinde, E., Nechache, A., et Abboud, M. (2022). Etude du travail géométrique autour des ellipses avec le planétaire humain. Septième symposium d'Etude sur le Travail Mathématique-ETM7-Strasbourg.

- *Références d'ARISTARCHUS :*

Loch, M., Ubben, M. et Rollinde, E. (2023). Embodied Cognition and Minds in Orbit (Cognition incarnée et esprits en orbite). Conférence *Sciences in the flesh, embodiment in science education*. [Poster en ligne](#)

LOCH, M. A., UBBEN, M. S., & ROLLINDE, E. La marche des planètes. Concepts des élèves sur le Système solaire. Document [en ligne](#)

Karampelas, K., Pyrini, A., Sarrigeorgiou, G., Tsolakidis, K., Rollinde, E., Ubben, M., ... & Pantela, N. (2024). ARISTARCHUS-ARTISTIC REALITY IN SCHOOL EDUCATION : ENACTED, REFLECTIVE AND COLLABORATIVE LEARNING WITH THE HUMAN ORRERY SPACE. *Conférence ICICTE 2024*. [Version en ligne](#)

La conception du planétaire humain

Vous trouverez ici les principales conventions utilisées dans l'ensemble des planétaires humains.

1. Pour faciliter les conversions, l'échelle de longueur a été fixée à un mètre d'une unité astronomique (UA) pour un planétaire humain.
2. Différentes catégories d'objets du Système solaire sont représentées sur la plupart des planétaires humains : les planètes (naines), les comètes et les astéroïdes.
 - Planètes. Lorsqu'un planétaire humain est installé dans un grand espace, presque toutes les planètes peuvent être représentées. Le plus grand planétaire à ce jour, installé dans un collège français, montre les planètes jusqu'à Saturne et inclura bientôt l'orbite d'Uranus, à environ 10 UA du Soleil. Les planétaires imprimées ne montrent généralement que les orbites des planètes intérieures (Mercure, Vénus, Terre et Mars, jusqu'à 1,6 UA du Soleil).
 - Les comètes. Les orbites d'une comète (sur bâche) ou de deux comètes (dans une cour) sont généralement représentées : la comète Encke dont l'orbite s'étend jusqu'à 4 UA à son aphélie (position la plus éloignée du Soleil) et Churyumov-Gersaminenko qui atteint l'orbite de Jupiter (à 5,7 UA du Soleil).
 - Astéroïdes et planètes naines. La ceinture principale d'astéroïdes est une région en forme de tore (rayon de 2 à 3 UA du Soleil), située entre Mars et Jupiter, qui contient un grand nombre de corps solides de forme irrégulière appelés astéroïdes ou planètes mineures, beaucoup plus petits que les planètes. Sur l'Orrery, elle est représentée par un anneau gris en 2D ainsi que par l'orbite de la planète naine Cérés (si la taille de la bâche est suffisante).
3. Chaque orbite est représentée par une série de disques d'une seule couleur avec des numéros associés. La durée entre une position numérotée i et la position numérotée $i+1$ est constante pour toutes les orbites (on l'appelle le pas de temps, Δt). Dans certains cas, la série numérique passe de trois à trois (Encke) ou alterne sur deux périodes (Mercure). Ce point est abordé plus loin.
4. Les disques liés à la position des objets à une "date initiale" spécifique sont légèrement plus grands et, dans le cas d'une bâche imprimée, représentent l'image des planètes ou de la comète. Les disques relatifs au Soleil sont également légèrement plus grands. Pour clarifier le fait que les tailles ne sont pas à l'échelle, tous les disques qui représentent un objet ont la même taille.

Chaque élève se déplace sur une orbite spécifique à un rythme fixé par une autre personne (généralement l'instructeur) qui frappe régulièrement dans ses mains. Entre deux battements de mains, toutes les planètes se déplacent simultanément d'un nombre à l'autre, tandis que le Soleil reste au repos (dans le cadre héliocentrique).

Un modèle savant précurseur du Système solaire

Les connaissances qui entrent dans la conception du planétaire humain sont adaptées à l'enseignement et à l'apprentissage dans les classes considérées (écoles primaires et secondaires). Les différences avec le modèle scientifique ne génèrent pas d'idées fausses, pour autant qu'elles soient explicites et connues de l'enseignant et de l'apprenant. Un tel modèle est appelé modèle didactique précurseur du Système solaire. Ci-après, il est appelé "modèle du planétaire" en abrégé.

Si l'on considère uniquement la dynamique newtonienne du Système solaire, les objets interagissent à travers les forces gravitationnelles d'un système à N corps, N étant supérieur à 3. Par conséquent, leur trajectoire exacte ne peut pas être calculée analytiquement. La carte du planétaire est construite grâce à un programme implémenté par F. Recher (IREM de Lille) qui obtient les positions réelles de n'importe quel objet à n'importe quelle date via le site web de l'IMCCE. Cette position tient donc compte des interactions entre les N -corps dans un espace 3D.

1. Puisque le planétaire est imprimé ou tracé au sol, il doit s'agir d'une représentation en 2D, même si les orbites du Système solaire ne sont pas coplanaires. Par conséquent, toutes les positions 3D sont projetées sur le plan orbital de la Terre autour du Soleil, appelé plan de l'écliptique. Nous notons que les prédictions d'alignement de deux planètes avec le Soleil (un transit de la plus intérieure devant la plus extérieure) sont alors plus fréquentes (voir Rollinde, 2019, pour plus de détails).
2. L'aspect discret de l'orbite dans la chronophotographie (avec un ensemble de disques au lieu d'une ligne continue) ne doit pas générer une chorégraphie d'arrêt et de marche successifs de la part des élèves. Ils doivent continuer à bouger leurs jambes dans l'intervalle entre deux claps, car les objets célestes sont toujours en mouvement.
3. Nous revenons maintenant au choix du pas de temps (Δt). Deux options sont généralement proposées.
 - $\Delta t = 1/24^e$ de l'année terrestre (ou environ 15 jours terrestres). Cela permet à la Terre de revenir exactement au point 0 après une révolution. Le pas de temps ne sera pas inscrit sur le planétaire humain puisqu'il peut être dérivé grâce au mouvement de la Terre le long de son orbite. Notons que la durée du dernier pas qui atteint le disque 0 n'est pas égale à Δt pour les autres planètes puisque leur période n'est pas un multiple exact de Δt . Pourtant, il s'avère que la durée de ce dernier pas n'est pas si différente des autres, ce qui permet de marcher en douceur tout au long de l'orbite pour tous les objets.
 - $\Delta t = 16$ jours terrestres. Dans ce cas, il y a 23 disques sur l'orbite de la Terre et le pas de temps est indiqué sur le planétaire humain. La durée correspondant à une période orbitale le long de l'orbite de la Terre sur le planétaire humain serait alors de 368 jours. Par conséquent, le dernier pas sur l'orbite de la Terre a une durée d'environ 13 jours terrestres.
 - Le cas de Mercure est particulier. Sa période orbitale est d'environ 88 jours. Avec le choix de $\Delta t = 16$ jours, une période orbitale correspond à 5,5 pas. Une deuxième série de disques est donc ajoutée pour faire 11 pas avant d'atteindre la position 0. Les deux séries alternent le long de l'orbite. Avec le choix de $\Delta t = 1/24^e$ d'année, 88 jours correspondent à 5,78 pas, donc le dernier pas n'est pas si différent des autres, et une seule période orbitale est dessinée.
 - Les comètes vont beaucoup plus lentement lorsqu'elles sont loin du Soleil (aphélie), et beaucoup plus près du Soleil (périhélie). Pour éviter que les disques ne soient trop proches les uns des autres à l'aphélie, on ne dessine qu'un disque sur trois (disques verts). Il faut donc faire trois pas pour aller d'un point à l'autre.
4. Enfin, les orbites du Système solaire ne sont pas stables et changent sur une longue période, environ 10 000 ans pour l'orbite de Mercure et 400 000 ans pour l'orbite de la Terre. Les trajectoires de chaque objet sur le planétaire peuvent donc être considérées comme stables sur la période de temps qui sera considérée dans le contexte éducatif, typiquement une douzaine de périodes orbitales au maximum.

Références

Rollinde, E. (2019). Enacting planets to understand occultation phenomena. arXiv preprint arXiv:1910.09403.

Weil-Barais, A. (2022). *Qu'est-ce qu'un modèle précurseur ?* Dans Precursor models for teaching and learning science during early childhood, pages 11-32. Springer.

La théorie de l'enquête

Selon la théorie de l'enquête introduite par J. Dewey (Barrow, 2006 ; Thievenaz, 2019). " Les êtres humains se développent et grandissent en rétablissant des transactions avec leur environnement afin de rester en continuité avec lui. Lorsqu'une rupture se produit et que l'équilibre de l'activité est perturbé ou rompu, le sujet s'engage dans un comportement intelligent visant à retrouver une continuité dans le cours de son activité. " Pour ressentir une telle gêne, il faut que les apprenants aient un but à atteindre ou une action à réaliser.

Sur le planétaire humain, les apprenants doivent être capables de se déplacer sur la bûche comme s'ils étaient des planètes. Cette action nécessite de comprendre les signes (disques, échelles...) et de les relier à des actions motrices, ce qui "produit de nouvelles formes de connaissance dans le processus". Nous attendons des apprenants qu'ils suivent le schéma de recherche de chaque signe : 1) la situation indéterminée ; le doute ; 2) la mise en place du problème ; 3) la détermination de la solution du problème ; 4) le raisonnement ; 5) l'opérationnalité des faits-significations.

Ce modèle exige des apprenants qu'ils observent, "ce qui implique de solliciter tous les sens et d'entrer en contact direct avec les choses, c'est une phase concrète et accessible" (Zask, 2017). On peut distinguer différents types d'observations :

- l'observation spontanée (identifier la cause du problème - obstacle matériel ou cognitif - afin de le surmonter)
- l'observation réflexive : recherche d'un moyen de transformer la situation existante, création de nouveaux outils
- l'observation en vue de la collecte de données, guidée par nos hypothèses
- l'observation pour tester une hypothèse ou une idée,
- Observation directe ou à l'aide d'instruments
- L'observation "à la puissance 2", celle des conséquences des observations initiales en termes d'effets concrets, de pratiques situées ou de résultats existentiellement ressentis.

En résumé, "les élèves apprennent à observer en vue (1) de découvrir la nature des perplexités auxquelles ils sont confrontés, (2) de déduire des explications hypothétiques pour les choses incompréhensibles que leurs observations révèlent, et (3) de tester les idées ainsi suggérées. En bref, l'observation acquiert une nature scientifique".

Dans le cadre du planétaire humain, nous faisons l'hypothèse que cette investigation implique une activité perceptivo-motrice de la part des élèves sur la bûche ; nous supposons que ces observations sont basées sur l'implication du corps de l'apprenant, à travers l'imbrication de mouvements, de gestes et de paroles (Lapaire, 2022).

Références

Barrow, L. H. (2006). Une brève histoire de l'enquête : From dewey to standards. *Journal of Science Teacher Education*, 17(3):265-278.

Lapaire, J.-R. (2022). *Le "corps apprenant" : une notion centrale en mal d'inclusion*. Dans (eds.) Charbonneau, C., Duval, H., *Le corps dans l'enseignement-apprentissage*. Québec : Presses de l'Université Laval.

Thievenaz, J. (2019). La théorie de l'enquête de John Dewey : actualité en sciences de l'éducation et de la formation. *Recherche et formation*, (92):9-17.

Zask, J. (2017). S'entraîner à observer. *Questions Vives. Recherches en éducation*, (27).

Le planétaire humain, d'une bâche à une scène

La rencontre avec le planétaire humain est considérée comme une situation propice à l'observation et à l'enquête. Nous supposons qu'elle fonctionne comme un "espace mixte" (Fauconnier, 2008), qui intègre un minimum de 3 espaces :

- le lieu physique choisi pour mettre en place et réaliser les activités (par exemple, une cour, un terrain de jeu, une salle de classe) ;
- l'espace signifié et culturel du Système solaire (tracé au sol, imprimé sur une bâche ou sur une feuille A3),
- et l'espace social de la salle de classe (où l'apprentissage est organisé de manière institutionnelle).

Les apprenants font l'expérience de ces trois espaces conjointement et simultanément. Les participants se tiennent debout, marchent et se déplacent dans leur environnement immédiat - qu'ils reconnaissent clairement comme l'espace physique proximal. Ce faisant, ils mettent en scène des objets célestes lointains, des positions et des mouvements qui appartiennent normalement à l'espace astronomique. Ce second espace est à la fois réel - il existe en tant que fait - et fictif : sa réalisation est un produit de l'imagination. Les participants sont également vus en train de répondre aux invites de l'instructeur et de s'engager dans des activités, reconnaissant ainsi le statut de l'HO en tant qu'espace d'enseignement et d'apprentissage.

Les trois espaces - physique, astronomique et éducatif - se fondent clairement dans un seul espace expérientiel : l'espace du planétaire mélangé, avec son propre ensemble de règles sémiotiques, de propriétés de mouvement et de fonctionnement cognitif. Ce qui vaut pour l'espace vaut également pour le corps. Les participants réagissent physiquement et socialement à la coprésence des autres corps humains. On les voit également incarner symboliquement des corps célestes, dans le cadre de la fiction cinétique du planétaire. En se conformant aux directives physiques données par l'instructeur et en s'engageant dans les tâches de raisonnement, la perception, le mouvement et la connaissance des participants s'en trouvent renforcés.

Les corps se comportent manifestement comme des "corps apprenants" (Lapaire, 2022). Ainsi, tout comme nous avons trois espaces intégrés, nous avons trois corps intégrés, qui se fondent en un seul : le corps d'apprentissage mixte, avec ses propres codes comportementaux, ses schémas de mouvement et son activité réflexive.

Références

Fauconnier, G. et Turner, M. (2008). *The way we think : Conceptual blending and the mind's hidden complexities (La façon dont nous pensons : le mélange conceptuel et les complexités cachées de l'esprit)*. Ouvrages de base.

Lapaire, J.-R. (2022). *Le "corps apprenant" : une notion centrale en mal d'inclusion*. Dans (eds.) Charbonneau, C., Duval, H., *Le corps dans l'enseignement-apprentissage*. Québec : Presses de l'Université Laval.

Une approche incarnée

En marchant sur le planétaire, l'apprenant agit pour percevoir, tente de faire des liens entre ses mouvements et ce qu'ils lui permettent de percevoir puis de comprendre. Expériences sensorielles et concepts scientifiques peuvent alors être reconnectés, notamment par une "attention consciente à la perception" (Wilson, 2002 ; Glenberg et al., 2013). Cette approche peut être qualifiée d'enactive ou incarnée (Varela et al., 1991) car l'apprenant, de son point de vue, n'est pas confronté à un environnement riche en informations, mais va faire émerger des significations qui dépendent de ses actions.

La théorie de l'enaction reconnaît le rôle de la perception et de l'action dans l'ancrage de la connaissance abstraite et estompe la séparation traditionnelle entre les processus sensorimoteurs et la pensée abstraite. En règle générale, l'hypothèse de travail est qu'en engageant le corps de l'apprenant dans une mise en œuvre physique (apprentissage incarné), les notions abstraites ou éloignées sont recadrées comme étant "tangibles" et proximales. Cela rend ces dernières plus accessibles et facilite l'émergence de structures de connaissances raffinées (Johnson-Glenberg & Megowan, 2017 ; Skulmowski & Rey, 2018 ; Abrahamson et al., 2020).

L'apprentissage incarné en général est un domaine de recherche relativement nouveau et plusieurs résultats soutiennent l'hypothèse de l'utilisation des mouvements et de l'action pour ancrer l'apprentissage à un niveau cognitif plus profond (Glenberg, 2010) et ainsi rendre des concepts plus abstraits intuitivement accessibles à des personnes d'origines diverses.

Pour en revenir au planétaire, un jeune apprenant, pas très grand, entouré d'autres apprenants, regardant le planétaire non pas "du ciel" mais à hauteur des yeux, perçoit certaines caractéristiques des planètes et des mouvements des autres apprenants. De plus, cette perspective révélerait le sens que cet apprenant attache à ces caractéristiques. Une telle approche permettrait de considérer le planétaire humain comme un espace d'actions encouragées que l'apprenant se construit progressivement avec l'aide de l'enseignant et des autres apprenants, et qu'il explore pour faire émerger progressivement un monde de significations.

Références

Abrahamson, D., Nathan, M. J., Williams-Pierce, C., Walkington, C., Ottmar, E. R., Soto, H. et Alibali, M. W. (2020). The future of embodied design for mathematics teaching and learning (L'avenir de la conception incarnée pour l'enseignement et l'apprentissage des mathématiques). Dans *Frontiers in Education*, volume 5, page 147. Frontiers Media SA.

Glenberg, A. M., Witt, J. K., et Metcalfe, J. (2013). De la révolution à l'incarnation : 25 ans de psychologie cognitive. *Perspectives on psychological science*, 8(5):573-585

Glenberg, A. M. (2010). *Embodiment as a unifying perspective for psychology (L'incarnation en tant que perspective unificatrice pour la psychologie)*. *Wiley interdisciplinary reviews : Cognitive science*, 1(4):586-596.

Johnson-Glenberg, M. C. et Megowan-Romanowicz, C. (2017). Embodied science and mixed reality : How gesture and motion capture affect physics education (Science incarnée et réalité mixte : comment la capture de gestes et de mouvements affecte l'enseignement de la physique). *Cognitive Research : Principles and Implications*, 2(1):24.

Skulmowski, A. et Rey, G. D. (2018). Apprentissage incarné : introduction d'une taxonomie basée sur l'engagement corporel et l'intégration des tâches. *Recherche cognitive : principes et implications*, 3(1):6.

Varela, F. J., Thompson, E., et Rosch, E. (1991). *The embodied mind : Cognitive science and human experience*. MIT press.

Wilson, M. (2002). *Psychonomic bulletin & review*. Six views of embodied cognition, 9:625-636.