

MAHA ABOUD, ASSIA NECHACHE, EMMANUEL ROLLINDE

**L'ASTRONOMIE DANS LA FORMATION DES ENSEIGNANTS DU
PREMIER DEGRE : UN CONTEXTE INTERDISCIPLINAIRE POUR
FAVORISER LES ENSEIGNEMENTS EN MATHÉMATIQUES ET EN
SCIENCES**

Abstract. Astronomy in primary teacher training: an interdisciplinary context to foster mathematics and science education. We examine how to foster a better appreciation of mathematics and science among trainee school teachers in order to improve their engagement in the teaching of scientific disciplines. To this effect, we adopt an approach based on the “polyvalence” of the school teacher. Through a training program based on interdisciplinarity between mathematics and sciences, in the context of astronomy, we study the related professional development in the pathways of two groups of trainee teachers. These two case studies show the importance of mastering scientific knowledge in the implementation of a “polyvalence” that allows two disciplines to enrich each other without excluding each other. This constraint often implies focusing the trainer's intervention on disciplinary knowledge more than on pedagogical and curricular knowledge.

Keywords. Interdisciplinarity, primary school, mathematics, astronomy, pre-service training

Résumé. Nous interrogeons la manière de développer une meilleure appétence aux mathématiques et aux sciences des professeurs des écoles stagiaires afin d'améliorer leur engagement dans l'enseignement des disciplines scientifiques. Pour cela, nous adoptons une approche basée sur la polyvalence du professeur des écoles. A travers un dispositif de formation ayant comme entrée l'interdisciplinarité mathématiques-sciences, dans le contexte de l'astronomie, nous étudions le développement professionnel correspondant dans les parcours de deux groupes de professeurs stagiaires. Ces deux études de cas montrent l'importance de la maîtrise de savoirs scientifiques pour la mise en place d'une polyvalence qui permette à deux disciplines de s'enrichir sans s'exclure. Cette contrainte implique souvent de focaliser l'intervention du formateur sur le plan des connaissances disciplinaires plus que sur ceux des connaissances pédagogiques et curriculaires.

Mots-clés. Interdisciplinarité, école primaire, mathématiques, astronomie, formation initiale

Introduction et contexte

En France, les professeurs de l'école primaire sont polyvalents et enseignent toutes les disciplines scolaires. Cette polyvalence est questionnée dans les nouveaux programmes de l'école, notamment en ce qui concerne l'enseignement des

disciplines scientifiques. En effet, les professeurs des écoles n'ont pour la plupart pas eu de formation universitaire scientifique. Le rapport Villani-Torossian (2018) souligne que 80 % parmi eux sont issus des filières relevant des humanités en licence et précise qu'« un tiers des professeurs des écoles déclare ne pas aimer enseigner les mathématiques » (Villani-Torossian, 2018, p. 6). Les évaluations internationales, tels que TIMSS 2019 soulignent que par rapport aux autres enseignants européens, les enseignants français sont fréquemment mal à l'aise pour enseigner les disciplines scientifiques. Ceci pose à la fois la question du rapport des professeurs des écoles au savoir en mathématiques et en sciences et celle de leur capacité à mettre en place une polyvalence réelle relevant de ces disciplines.

Plusieurs recherches font également ces mêmes constats (cf. par exemple Baillat et al., 2001 ; Decroix et al., 2019 ; Chenevotot et al., 2019). Certaines soulignent qu'ils présentent des faiblesses conceptuelles et montrent une certaine anxiété face aux mathématiques ce qui les amène à concevoir des mathématiques réduites à un ensemble de règles et de calculs (Marchand, 2010 ; Houdement, 2013). D'autres relèvent que la trajectoire universitaire de ces professeurs avant leur arrivée en formation initiale ne rend pas réaliste la possibilité de maîtriser l'ensemble des disciplines à enseigner (Baillat et al., 2001 ; Philippot, 2013). De fait, des choix vont alors se faire quant à la démarche de polyvalence, qui ne seront pas nécessairement en faveur des disciplines scientifiques. Il est intéressant aussi de citer Develay (1995) qui affirme qu'« en tant qu'élève, l'attrance disciplinaire initiale qui est souvent à l'origine de l'orientation du professeur de l'enseignement primaire porte fréquemment sur les sciences herméneutiques plutôt que sur les sciences formelles et empirico-formelles » (Develay cité par Chenevotot et al., 2019, p.87). Ainsi un enjeu fort de la formation initiale des professeurs des écoles est de faire évoluer leur rapport à ces savoirs disciplinaires tout en leur permettant de s'approprier certains savoirs didactiques correspondants (Barrier et al., 2016).

Etant nous-mêmes chercheurs-formateurs d'enseignants, nous nous interrogeons sur la manière de favoriser une meilleure appétence aux mathématiques et aux sciences des professeurs des écoles stagiaires (PES) et ceci afin d'améliorer leur engagement dans l'enseignement des disciplines scientifiques. Nous nous situons dans une approche intégrée de l'enseignement des « STEM » (Sciences, Technologie, Engineering, Mathematics ; voir à cet effet la revue de littérature de White et Delanay, 2021). Nous choisissons le contexte de l'astronomie du fait que cette discipline est considérée comme une « porte d'entrée » vers les sciences (*gateway to Sciences*) à tout niveau d'étude et à travers le monde (Salimpour et al., 2021). De plus, lorsqu'il s'agit de projets scientifiques menés à l'école, les mathématiques sont souvent convoquées en interaction avec une ou plusieurs des sciences expérimentales. Selon un sondage réalisé par Strajnic et Rollinde (2021), les projets mis en place par des enseignants, du secondaire essentiellement, ont très souvent pour objectif pédagogique la démarche de modélisation qui met justement en lien mathématiques et sciences expérimentales.

Dans nos recherches antérieures (Aboud et al., 2021) portant sur le développement de la pratique de polyvalence scientifique chez les PES nous avons fait le constat que ces derniers mettent bien en œuvre des séances faisant appel à la polyvalence mais en mobilisant peu les sciences et pas les mathématiques. Les situations qu'ils préparent sont parfois riches et variées mais leurs mises en place

montrent des lacunes dans leurs propres connaissances scientifiques ce qui ne leur permet pas de soutenir la construction des connaissances chez les élèves. Dans cet article, nous rendons compte d'une formation prenant comme entrée l'interdisciplinarité mathématiques-sciences et se situant dans le contexte de l'astronomie. Notre postulat est que ce contexte va favoriser l'appétence pour les sciences et que cette entrée va donner du sens à certaines connaissances scientifiques et à leur enseignement ainsi que permettre une réflexion sur les liens entre les disciplines scientifiques (dans le sens des STEM). Cette étude prend sa source dans une démarche de collaboration entre formateurs de mathématiques et formateurs de sciences qui vise à mettre en place un dispositif de formation ayant pour enjeu principal de faire vivre aux PES une approche interdisciplinaire en formation. Ces derniers auront alors à concevoir et mettre en place dans leurs classes une séquence interdisciplinaire et d'en faire une analyse réflexive. En outre, l'entrée par les dispositifs de formation permet en particulier d'interroger différents aspects de la formation (Lajoie et Tempier, 2019), notamment la place et les types des savoirs à l'œuvre, qu'ils soient disciplinaires, didactiques ou pédagogiques. Cette entrée permet aussi d'interroger à la fois l'activité des formés et celle des formateurs.

Les analyses, présentées dans ce texte, de la mise en œuvre de ce dispositif de formation s'attachent en premier à identifier les facteurs qui sont en jeu dans la complexité liée à l'interdisciplinarité chez les PES. Elles visent ensuite à identifier les éléments du développement professionnel qui émergent au cours du dispositif en les illustrant via des études de cas. Cette étude exploratoire, est ainsi pour nous un préalable pour mieux poser des questions de recherche autour de la tension entre l'identité polyvalente du PES, qui a tendance à privilégier les éléments de nature pédagogique à ceux de nature didactique, et la nécessaire prise en compte des savoirs disciplinaires pour les apprentissages lors de la conception et la mise en œuvre de projets ou de séquences interdisciplinaires.

Dans ce qui suit, nous commençons par présenter quelques éléments sur l'interdisciplinarité, notamment mathématiques-sciences, dans l'enseignement à l'école primaire. Nous donnons en particulier des pistes sur l'exploitation du contexte de l'astronomie. Nous décrivons ensuite le dispositif de formation que nous avons conçu et mis en place à cet effet avant de présenter et d'analyser les parcours de deux groupes de PES au sein de ce dispositif. Nous terminons par une discussion sur les questions soulevées par la mise en œuvre du dispositif de formation aussi bien du côté des PES que du côté des formateurs ainsi que par des perspectives pour la poursuite de cette recherche.

1. L'interdisciplinarité dans l'enseignement et la formation au premier degré

Les disciplines ont un rôle crucial dans la construction des concepts traduites chez les élèves. Lorsqu'il s'agit d'appréhender le monde et sa complexité réelle, le recours à un décloisonnement des savoirs devient alors indispensable pour affronter les problématiques en lien avec cette réalité complexe. Comme le précisent Roy et al. (2019), « il n'y a pas d'interdisciplinarité sans référence explicite à des disciplines ». Autrement dit, l'interdisciplinarité n'existe que par des contenus formalisés et des démarches d'apprentissages rattachés à au moins deux disciplines mises en relation. Elle requiert des interactions entre ces disciplines, et dépasse leur

simple juxtaposition pour mettre en œuvre « la collaboration et l'intégration entre des disciplines spécifiques autour d'un objet commun » (White et Delanay, 2021).

1.1 La pratique de l'interdisciplinarité et la formation des enseignants

Du point de vue de la pratique de l'interdisciplinarité à l'école, Lenoir et Sauvé (1998) définissent l'interdisciplinarité dite scolaire comme étant « la mise en relation de deux ou de plusieurs disciplines scolaires qui s'exerce à la fois aux niveaux curriculaire, didactique et pédagogique et qui conduit à l'établissement de liens de complémentarité ou de coopération, d'interpénétrations ou d'actions réciproques entre elles sous divers aspects (finalités, objets d'études, concepts et notions, démarches d'apprentissage, habiletés, etc.), en vue de favoriser l'intégration des processus d'apprentissage et des savoirs chez les élèves » (p.121).

Selon Y. Lenoir, les injonctions curriculaires de l'enseignement du premier degré insistent sur « la place centrale d'une formation à l'interdisciplinarité scolaire dans les dispositifs de professionnalisation des enseignants ». Il s'agit alors d'empêcher un enseignement disciplinaire cloisonné. C'est pourquoi, Y. Lenoir souligne la nécessité de développer chez les futurs enseignants des compétences professionnelles suivant trois plans horizontaux : curriculaire, didactique et pédagogique (cf. figure 1, et Roy et al., 2019, p.5).

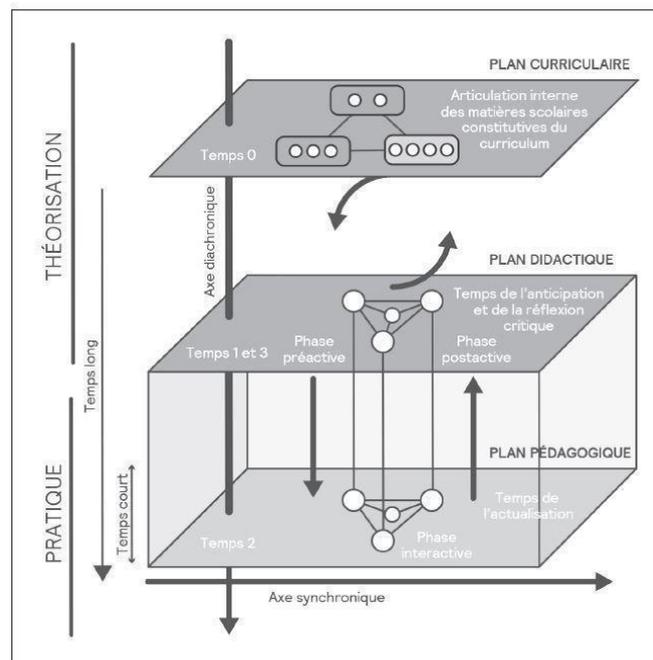


Figure 1. Les trois niveaux organisationnels de l'interdisciplinarité (Lenoir, 2020)

Chacun de ces plans correspond à un niveau organisationnel de l'interdisciplinarité scolaire. Le plan de *l'interdisciplinarité curriculaire* se situe au niveau de l'analyse des programmes scolaires en se focalisant sur certains éléments en lien avec les disciplines tels que : la place et le rôle de chacune des disciplines, leur structure taxonomique ainsi que leurs objets d'étude et d'apprentissage et les liens d'interdépendance, de complémentarité ou de convergence entre ces disciplines

allant dans le sens d'une « structure interdisciplinaire à orientations intégratrices » (Lenoir et Sauvé, 1998, p. 110). Le plan de *l'interdisciplinarité didactique* se situe au niveau de l'organisation et la planification du contenu mais aussi de l'intervention de l'enseignant au cours des deux phases pr active et postactive. Le plan de *l'interdisciplinarité pédagogique* se situe au niveau de la mise en œuvre du contenu dans la classe (phase interactive). Il s'agit alors de l'actualisation de l'interdisciplinarité didactique en classe. Cette dernière « assure la mise en pratique du ou des modèles didactiques interdisciplinaires insérés dans les situations élaborées, mais cette mise en pratique ne peut s'effectuer sans obligatoirement tenir compte d'un ensemble d'autres variables qui agissent et interagissent dans la dynamique d'une situation d'enseignement-apprentissage réelle » (Lenoir, 1995, p. 10).

Les trois plans organisationnels de l'interdisciplinarité scolaire sont censés s'actualiser de manière dynamique et itérative dans les pratiques de classe (cf. les doubles flèches, ascendante et descendante, dans la figure 1).

1.2 L'interdisciplinarité mathématiques-sciences avec le contexte de l'astronomie

Nous nous concentrons maintenant sur le contexte spécifique des programmes de l' cole élémentaire qui incluent des éléments d'astronomie dans tous les pays de l'OCDE (Salimpur et al., 2021) ; la proportion est plus faible à l' cole secondaire. Cependant, ils sont souvent factuels et ne participent pas toujours à cette dimension intégrative de l'astronomie. Dans le contexte français, les programmes de l' cole primaire et documents d'accompagnement en mathématiques et en sciences proposent depuis 2016 une réorganisation mettant l'accent sur l'interdisciplinarité et le lien entre la démarche d'investigation en sciences et la résolution de problèmes en mathématiques. Les deux démarches impliquent des observations, des questionnements, des manipulations, des hypothèses. Il s'agit alors de savoir traduire la réalité en modèles mathématiques pour revenir ensuite à la réalité. L'observation du monde va permettre de produire des représentations de l'espace et de construire des repères temporels, d'ordonner des  v nements (en lien avec la construction du nombre également).

Le thème « grandeurs et mesures », en cycle 2¹, invite à utiliser des outils mathématiques pour résoudre des problèmes concrets, afin de donner du sens à ces différentes grandeurs. Les références utilisées pour chaque grandeur sont tout d'abord ego-centrées (basées sur le vécu de l'élève), pour aller ensuite vers les unités du Système International (indépendante du vécu). L'astronomie permet de répondre à ces objectifs pour les grandeurs associées au temps (ou à la durée) et à l'espace. Les rythmes cycliques du temps (alternance des jours, des mois, des années) sont repérés à l'aide d'une horloge, puis par les frises chronologiques en lien avec l'histoire. L'astronomie, à travers l'observation du Soleil, de la Lune et des étoiles permet de poser des marqueurs de l'heure, du mois (lunaire) et de l'année respectivement. Ces objets du ciel sont à la fois éloignés de l'expérience

¹ Nous prenons en particulier le cas du cycle 2 car les parcours des PES étudiés plus loin correspondent à des enseignements ayant eu lieu dans ce cycle.

perçue quotidiennement par l'élève, mais « plus proches » de lui que les événements de l'Histoire.

Le thème du « repérage dans l'espace » (positions sur un quadrillage, angles, ...) est également une question fondamentale pour les astronomes. L'école doit amener l'élève à prendre conscience qu'un autre que soi peut sur un même phénomène avoir un point de vue différent du sien. C'est à la fois un dépassement de l'égoïsme à travers le développement de compétences spatiales (Cole et al., 2018) et l'évolution vers la capacité à vivre au sein de groupes. Il s'agit donc de questionner les repères et de définir des repères qui ne sont pas nécessairement ceux de l'élève. Pour cela, l'observation des objets du ciel dans les repères terrestre (celui de l'élève), héliocentrique (celui de la science institutionnalisée) et géocentrique (bien souvent rejeté) fournit une situation idéale pour l'enseignement de ce thème dans le primaire (Blanquet et Picholle, 2018) et le secondaire (Rollinde et al., 2021), pour les élèves comme pour les enseignants.

Les marqueurs astronomiques de temps et d'espace permettent effectivement de fournir des références allo-centrées pour ces notions mathématiques. Il y a donc bien une possible intégration des didactiques des deux disciplines à travers le contexte de l'astronomie sur le plan curriculaire. Il s'agit maintenant d'examiner si les PES peuvent s'emparer de ce contexte sur le plan curriculaire et s'ils peuvent alors vivre pleinement une situation de polyvalence intégratrice sur les plans didactique et pédagogique également.

2. Dispositif de formation : cycle de l'étude collective d'une séance

Le dispositif de formation conçu s'insère dans un processus de développement professionnel inspiré de celui des *Micro-Teaching Lesson Study* (Fernandez et Robinson, 2006). Les MLS, dispositif de recherche collaborative, visent le développement des compétences professionnelles des professeurs, travaillant par petits groupes, en formation initiale (ibid.). Il engage les professeurs dans un cycle itératif d'étude visant à concevoir, mettre en œuvre et analyser une leçon sur un sujet donné. En prenant appui sur les études autour des MLS, nous supposons que ce dispositif aura un impact sur la prise de conscience par les PES de l'importance de la phase de préparation et en particulier de la prise en compte d'éléments de didactique (des mathématiques et de la physique) impliqués.

Ce dispositif a été mis en œuvre pendant l'année universitaire 2021-2022 au sein d'une unité d'enseignement Polyvalence/transversalités, sous forme de 8 séances de travaux dirigés de 3 heures, permettant aux PES de co-construire une séance/séquence et mener des analyses (*a priori* et *a posteriori*). Les PES sont répartis en groupes (2 ou 3 PES par groupe) ayant le même niveau ou cycle d'enseignement dans leurs classes de stage. Le dispositif alterne des TD au sein de l'INSPE et un travail sur le lieu de stage des PES. Il se déroule suivant 10 phases (figure 2) avec des objectifs spécifiques.

Les trois niveaux interdisciplinaires (au sens de Lenoir) et leur articulation sont pris en compte dans différentes phases du dispositif. Ainsi, le niveau curriculaire intervient principalement dans les phases 1 et 2, pour analyser l'objet d'étude. Le niveau didactique est central dans les phases 2, 4 et 6. Enfin, le niveau pédagogique intervient dans les phases 3 et 5. L'articulation des niveaux curriculaire et

didactique se produit au cours de l'analyse a priori (phase 2) alors que l'articulation des niveaux didactique et pédagogique se produit essentiellement au cours des analyses a posteriori.

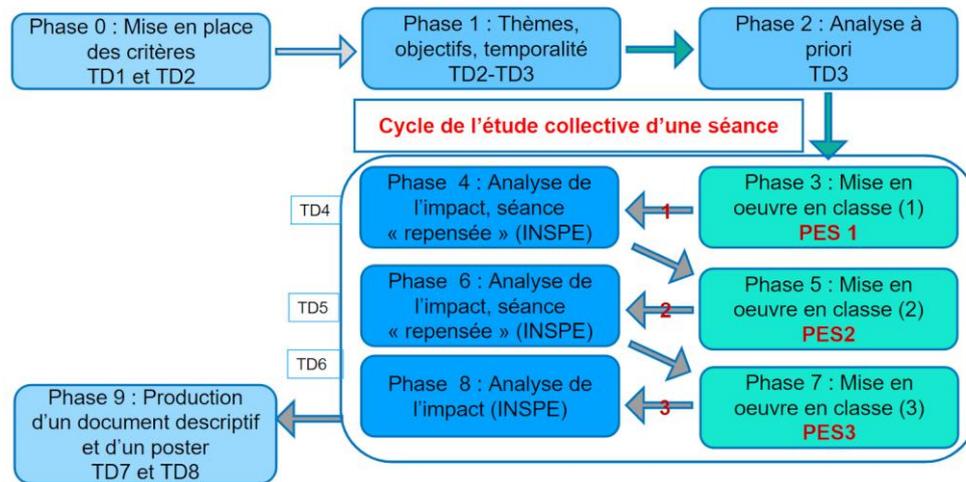


Figure 2. Les phases du dispositif de formation à la polyvalence disciplinaire

Les phases 5 et 7 puis 6 et 8, sont respectivement identiques aux phases 3 et 4 dans un processus cyclique, avec une implémentation dans la classe d'un autre PES du groupe.

Au cours des différentes phases, les deux formateurs jouent un rôle d'accompagnateur dans le travail de co-construction.

Phase 0 : Mise en place des critères de la polyvalence. Les PES vont vivre et analyser une situation mettant en jeu la polyvalence autour du planétaire humain (Abboud et Rollinde, 2021). Le planétaire humain (Annexe 1) permet d'observer le mouvement et la vitesse des planètes du Système solaire en se concentrant sur le lien entre distance, durée et vitesse. Trois ateliers sont proposés, avec comme matériels : des sphères pour représenter le volume des planètes, un planétaire imprimé en format A3 avec des bouchons et un planétaire « humain » (dessiné sur une bâche 3 m × 6 m). En faisant réfléchir sur différentes échelles de volume et de distance, cette séance mobilise des concepts de mathématiques (échelle, repérage) et de sciences (représentation du Système solaire) ainsi que des concepts communs (la vitesse). Lors de la synthèse, les étudiants observent l'intégration des disciplines et établissent les critères utilisés par la suite pour évaluer leurs propres séances.

Phase 1 : Choix d'un thème de polyvalence et des objectifs d'apprentissage. Chaque groupe de PES s'accorde sur un thème, les objectifs d'apprentissage, ainsi que les différentes disciplines mises en jeu. Ils réalisent une analyse curriculaire afin de mettre en évidence les liens d'interdépendance, de complémentarité ou de convergence entre les disciplines mobilisées dans la séquence.

Phase 2 : Planification et analyse a priori de la séance. Il s'agit de construire le contenu qui permet d'atteindre les objectifs d'apprentissage fixés et de mener une analyse *a priori* de ce contenu en précisant les connaissances, compétences (relevant des disciplines mises en jeu) nécessaires pour réaliser les tâches prescrites. Les PES doivent également anticiper les obstacles et/ou difficultés des

élèves, ainsi que les consignes, les relances, les questions possibles, et les supports adaptés. La séquence sera prête pour être étudiée dans le cycle d'étude collective des phases 3 à 8.

Phase 3 : Implémentation d'une séance dans la classe. Un des PES membre du groupe met en œuvre une séance de la séquence co-construite et analysée entre pairs pendant la phase 2 dans sa propre classe. Il doit prendre des notes concernant le déroulement effectif, ses interventions, les aides qu'il a éventuellement proposées et le guidage des élèves.

Phase 4 : Analyse a posteriori et re-planification de la séance. Chacun des PES du groupe ayant mis en place la séance dans sa classe (lors de l'une des phases 3, 5 ou 7) fait part du déroulement effectif de la séance à l'aide de différents supports. Les échanges entre les pairs permettent alors de faire une analyse a posteriori, et d'évaluer l'écart entre ce qui a été prévu dans l'analyse a priori et ce qui a été effectivement mis en place. Cela permet par la suite d'ajuster et de repenser la séance afin d'être implémentée dans une autre classe (par un autre PES).

Phase 9 : Production d'un document descriptif et d'un poster. A partir des analyses a priori et a posteriori qui ont été effectuées tout au long du dispositif de formation, chacun des groupes conçoit un document qui doit pouvoir être lu par un autre PES et servir d'exemple de séance interdisciplinaire.

3. Présentation succincte de la mise en œuvre

Deux groupes de 20 professeurs des écoles stagiaires ont suivi le dispositif de formation. Les contraintes institutionnelles de la formation initiale et les différents formateurs en charge des groupes ont impliqué des différences entre le dispositif pour les deux groupes.

3.1 Groupe sciences et mathématiques

Le premier groupe (appelé C6) est encadré par deux des auteurs de cet article, un didacticien des sciences et une didacticienne des mathématiques. La séance préparée par chaque sous-groupe devait inclure des sciences et des mathématiques, mais le contexte de l'astronomie ne pouvait pas être imposé selon la maquette de la formation. Les thèmes choisis par les différents sous-groupes ont été les suivants : déplacement d'un robot en tant qu'objet technique (repérage dans le plan) ; création d'un menu journalier avec mesure des rations journalières en calories (unité et calcul) ; observation du mouvement du Soleil sur 24 h (repérage dans l'espace et le temps) ; métamorphose de la chenille (le vivant, repérage dans l'espace). A travers ces choix nous constatons que seul un sous-groupe a choisi l'astronomie comme thème.

Ce sous-groupe est constitué de deux PES. L'étudiante « L » a fait la première année du master de préparation au professorat des écoles (MEEF1) après des études littéraires. Elle a en charge une classe de CE1/CM1 lors du stage. L'étudiant « J » a également fait la première année du master, après une licence STAPS. Il a en charge une classe de CM2.

3.2 Groupe arts et planétaire

Le second groupe (appelé C5) est encadré par un des auteurs de cet article, didacticien en sciences, et une formatrice en arts. Le dispositif de formation débute par la même séance sur le planétaire (phase 0). Pour les phases 1 et 2, il est rajouté la contrainte d'une séance associant arts et sciences via le planétaire avec une incitation à intégrer les mathématiques comme faisant partie des sciences. Les thèmes choisis par les différents sous-groupes ont été les suivants : carte du Système solaire, distance au Soleil et faits astronomiques ; dessin d'observation de la Lune (pas de mesure) ; observation des ombres et mesure de tailles ; mouvement circulaire, chronophotographie (pas de mathématiques) ; mouvement du Soleil et de Mars dans les référentiels hélio- et géo-centrique (création de cartes). Nous choisissons d'analyser le travail du sous-groupe ayant choisi ce dernier thème. En effet, ce thème peut être considéré comme proche de celui du sous-groupe L-J du groupe C6 ce qui permettra des comparaisons entre les deux.

Ce sous-groupe est composé de trois PES (P1, P2, P3). L'étudiante P1 a fait un Master arts plastiques, tourisme, immobilier et a en charge une classe de CE2. L'étudiante P2 possède un DUT gestion logistique, informatique et une licence sciences de l'éducation. Elle a également en charge une classe de CE2. L'étudiante P3 détient une maîtrise d'histoire contemporaine. Elle a en charge une classe de CE1.

4. Parcours des deux sous-groupes

Nous présentons et analysons dans la suite les parcours des deux sous-groupes (L-J et P1-P2-P3) tout au long du cycle d'étude du dispositif de formation.

Nous examinons la mobilisation par les PES de leurs connaissances en mathématiques et en sciences, ainsi que leur projection dans les connaissances à construire chez leurs élèves (plan didactique) lors des phases 2, 4, 6. Lors des phases (4, 6, 8) de retour réflexif sur l'implémentation dans les classes, nous nous centrons en particulier sur les savoirs disciplinaires effectivement mis en jeu et sur les difficultés des PES dans la mise en œuvre de la séance. Nos analyses se situent à la fois dans le plan pédagogique et didactique.

Nous étudions aussi les caractéristiques de l'approche qu'ils adoptent de la polyvalence en général et de l'interdisciplinarité mathématiques-sciences en particulier. Notons ici que l'étude présentée dans cet article fait partie d'une recherche en cours, l'ensemble des données n'a pas encore été exploité. En ce qui concerne l'appropriation par les PES des niveaux d'organisation interdisciplinaire, nous renvoyons le lecteur à l'analyse détaillée présentée par Nechache et Rollinde (2024).

Les données ont été recueillies au cours des moments clés de la formation sous forme de : traces de préparation et de bilans, interviews des stagiaires, échanges avec les formateurs lors des phases 4, 6, 8 et écrits de synthèse finale (phase 9). Les interviews et échanges ont été enregistrés et retranscrits intégralement.

4.1 Le parcours du sous-groupe L et J

L et J ont travaillé ensemble tout au long des phases du dispositif. Ils ont élaboré une séquence de deux séances (en CE1-CM1 et CM2) portant sur le thème « Alternance jour et nuit et le cycle des saisons » visant la compréhension du système Terre-Soleil.

L et J définissent l'objectif de leur séquence ainsi : « thème sur le système solaire [...] avec comme intégration à la fois des mathématiques sur les notions d'angle et de fraction et en sciences sur la connaissance du système solaire des saisons et le cycle jour nuit ». Les interviews sur lesquels nous nous basons font surtout référence à ce qui a été montré ou fait avec les élèves. Cependant, L et J parlent surtout des éléments de savoirs, sur le plan curriculaire, et peu de la mise en place effective. Ceci ne nous permet pas d'être certain de ce qui s'est effectivement passé dans la classe.

Description de la séquence élaborée et de sa mise en place

Séance 1. Les élèves repèrent la position du Soleil dans le ciel le matin puis en fin de journée. Les CE1/CM1 (classe de L) ont réalisé un schéma des positions du Soleil. L a ensuite recueilli leurs réponses (très diverses) pour savoir si la Terre ou le Soleil tourne en une journée, et si le Soleil se « couche ». L'objectif de L dans cette séance est de faire émerger le fait que c'est la Terre qui tourne (nous y reviendrons plus loin). Elle propose alors une illustration avec un globe qui tourne autour de son axe et une lampe fixe. Les CM2 (classe de J) ont travaillé sur les angles (à partir de la ligne de l'horizon) directement. J déclare : « un angle est aigu lorsque le Soleil est au matin lorsqu'il vient de se lever ; on arriverait quasiment à un angle droit lorsque le Soleil est à son zénith et un angle obtus en fin de journée ». La classe de CM2 n'a pas de difficulté à prédire la position du Soleil l'après-midi après l'avoir observé le matin et à midi. Les CM2 répondent dans leur ensemble que la Terre tourne autour du Soleil. Se basant sur les apports donnés en formation, J veut faire émerger le fait que cela dépend du point de vue.

Séance 2. Les CE1/CM1 sont dans la cour, et vont utiliser l'ouverture de leurs bras pour repérer les positions relatives, un élève représentant la Terre, un autre le Soleil (cette pratique est en lien avec les ateliers menés sur le planétaire en phase 0). L insiste sur une des situations vécues : la Terre tourne sur elle-même et voit (sur le planétaire) que le Soleil n'éclaire pas toujours les mêmes parties de son corps ce qui expliquerait l'alternance jour/nuit par la rotation de la Terre. Les CM2 vont faire la même expérience « incarnée » que les élèves de L, mais en allant plus loin sur la mesure des angles. L'élève va observer le mouvement du Soleil projeté sur le plan de l'horizon. Un bras de la Terre est toujours dirigé vers la projection du Soleil sur l'horizon. L'autre bras est fixe par rapport au sol (lorsque la Terre est fixe et que le Soleil tourne autour) ou suit le regard de l'élève (lorsque la Terre tourne sur elle-même). Les angles mesurés entre les deux bras sont les mêmes dans les deux cas. La définition des angles utilisés par J n'était pas claire dans l'interview ; elle a été reconstruite par les auteurs de l'article pour aider le lecteur à visualiser la mise en scène (cf. l'illustration en annexe 3). Il a complété cette séance avec une expérience similaire mais basée sur un mouvement linéaire pour montrer à nouveau que le même mouvement peut être décrit selon différents points de vue.

Connaissances et savoirs scientifiques des PES

Le savoir essentiel du point de vue des sciences est la relativité du mouvement selon le point de vue adopté. J note que ses élèves « ont compris que le Soleil se déplaçait car on l'avait vu à deux endroits différents » mais que les élèves « avaient du mal sur le fait de savoir qui se déplace la Terre ou le Soleil ». Il a alors « essayé de mettre en place une petite expérience » (la suite de la séance 2 avec un mouvement linéaire). J a bien conscience de l'apport spécifique des connaissances sur les angles en mathématiques : « utiliser les angles pour pouvoir schématiser concrètement ». Lorsque le formateur confirme « en termes d'angle ça fait exactement la même chose que ce soit la Terre qui tourne sur elle-même ou le Soleil autour de la Terre », J répond : « et c'est là l'intérêt des maths pour expliquer la science, d'apporter un outil pour quantifier ».

Au cours des phases d'analyse de la séquence (4, 6, 8), J demande régulièrement des confirmations ou clarifications aux formateurs. Il a besoin de stabiliser son savoir. Au contraire, L a des connaissances issues de son vécu scolaire antérieur. Elles rentrent en conflit avec les expériences qu'elle vit au cours de la formation et des mises en place dans les classes. J va devenir au fur et à mesure une aide pour faire évoluer L dans son propre rapport à ce savoir et sa gestion de ce conflit. En effet, l'analyse des discussions entre J et L et avec les formateurs révèlent une évolution dans les connaissances de L, mais qui ne semble toutefois pas stable. Tout d'abord, lorsque les élèves disent que le Soleil ne bouge pas, L considère que ce n'est pas conforme à la réalité du vrai Soleil, et va utiliser le globe pour le montrer. Dans la séance 2, L n'utilise pas de mesures d'angles, ce qui serait en effet difficile pour des CM1. Elle ne cherche pas non plus à comparer les angles, ce qui aurait été possible. Elle déclare : « On va dans la cour et on positionne un enfant qui a fait le Soleil et l'autre enfant qu'était la Terre avec son bras on a formé des angles droits pour vraiment regarder qu'effectivement c'est la Terre qui tourne c'est elle qui se déplace ». Lorsque le formateur lui demande « à quoi ont servi les angles », elle répond « à leur montrer que c'est la Terre qui tourne ». L refuse de changer son point de vue, et surtout d'utiliser le regard mathématique pour comparer les deux points de vue. Lorsque J propose : « Tu aurais pu mettre un enfant qui représente la Terre et le Soleil qui l'éclaire au fur et à mesure de sa journée et qui tournait sur lui-même [L : ah le Soleil tu penses] oui le Soleil tourne autour de la Terre avec le même angle ça aurait fait la même expérience c'est simplement le point de vue qui aurait changé ». L ajoute alors « oui le point de vue c'est ça que moi j'ai eu des difficultés quand on a fait l'analyse on en a parlé après, je ne voyais pas comment expliquer que ça dépend du point de vue ». L'intervention d'un pair semble avoir un effet important sur L, au moins pour qu'elle prenne conscience et exprime ses propres difficultés.

L'approche adoptée de la polyvalence

Nous voyons dans la séquence construite par L et J que la mise en place d'une expérience nécessite un milieu bien construit pour passer au-delà de la perception première (naturelle) qui est induite par l'environnement. Ainsi, l'implémentation de la séance par L (dans la phase 3) est dominée par les sciences, avec un objectif de savoir formel (la Terre tourne sur elle-même). L ne semble pas bien comprendre le repérage par les angles, qui aurait permis de se rendre compte de l'équivalence

des points de vue. De plus, les mathématiques sont pour elle un outil qui est mal maîtrisé. Au contraire, l'implémentation par J (dans la phase 5) prend en compte un travail de mesures mathématiques comme élément de preuve d'une observation ou d'une hypothèse. L'angle est utilisé pour faciliter le repérage dans l'espace, et faire prendre ainsi conscience de l'équivalence des points de vue. Ce dialogue entre les disciplines est rendu possible par la compréhension fine des savoirs en jeu par J, ce qui n'était pas le cas pour L.

4.2 Le parcours du sous-groupe P1-P2-P3

Le groupe P1-P2-P3 décrivent leur séquence selon ces termes : « créer une visualisation artistique des mouvements du Soleil et de Mars observés depuis la Terre (référentiel géocentrique), à partir de la carte du planétaire qui représente les mouvements observés depuis le Soleil (référentiel héliocentrique) ».

Description de la séquence élaborée et de sa mise en place

Séance 1. Les PES recueillent les représentations des élèves sur le mouvement du Soleil et leur demandent de réaliser un premier croquis basé sur leur imaginaire. Ils réalisent également un support pour la carte finale avec différents outils (plumes, encres de chine...).

Séance 2. Les élèves se déplacent sur le planétaire humain selon un rythme sonore avec des prises de photos de différents points de vue.

Séance 3. A partir du planétaire imprimé, les élèves réalisent une carte par petit groupe. Ils déplacent le centre d'un calque sur chaque point de la Terre, et marquent les positions successives du Soleil et de Mars. Sur le planétaire, le Soleil est au centre et la Terre se déplace par rapport au Soleil. Sur le calque, la Terre est au centre et le Soleil se déplace par rapport à la Terre. L'annexe 2 montre un exemple de réalisation.

Connaissances et savoirs scientifiques des PES

Le lien entre le repérage sur une carte et la relativité du point de vue est apparu dès le début de la réflexion du groupe sur l'utilisation du planétaire (dans la phase 2). Selon les PES, « la carte qu'on va faire est placée dans l'idée d'expérimenter différents points de vue [pour] qu'ils comprennent [...] qu'on voyait le mouvement d'où on est en fait. » Le principe d'une photo prise depuis le Soleil en séance 2 a pour but de montrer selon P3 différents points de vue (Soleil vers la Terre qui se déplace puis Terre vers Soleil et de dessus).

Lors de la description de la séance 3, la formulation initiale de P3 est de montrer le mouvement de la Terre par rapport au Soleil. P3 réalise son erreur après l'insistance du formateur qui montre le planétaire en disant qu'il s'agit déjà de la Terre par rapport au Soleil dans le référentiel héliocentrique. Cela ne révèle pas une erreur de compréhension de P3, mais l'importance des habitudes de langage. En effet, P3 confirme juste après : « Non on ne copie pas la carte, on reporte la position ». Cependant, le résultat obtenu reste difficile à accepter. Lorsque le formateur résume l'équivalence des deux mouvements, P1 est sceptique : « le Soleil verra la Terre passer devant et être derrière et la Terre verra le Soleil passer devant et être derrière. [P1 : « ah... »] Est-ce que ça vous perturbe ça ?

[P1 : « oui »]. P3 est plus avancé dans sa réflexion : « Soit il est sur sa place et il tourne sur 24 h soit il se déplace et fait une photo dans la même direction et il verra donc la même chose ». Mais P1 reprend : « Mais nous on est euh système héliocentrique ». Le dialogue se conclue par l'échange entre P3 : « C'est le point de vue, ce qui [...] et on insiste avec la photographie » et P2 : « Ben le repère quoi ».

Les deux concepts centraux de cette activité, repérage sur un quadrillage en mathématiques et relativité du mouvement en sciences, sont bien compris en fin de formation par, au moins, deux des trois PES du groupe.

L'approche adoptée de la polyvalence

L'activité proposée ici sur la carte du planétaire est bien représentative d'une activité de polyvalence, intégrant pour un objectif concret et artistique (la réalisation d'une nouvelle carte) des mathématiques (repérage de points sur un plan) et des sciences (relativité du mouvement). Du point de vue du déroulé de la séance (phases 4, 6, 8), l'apport de l'art a été fondamental pour valoriser l'imaginaire des élèves, et pour favoriser la concentration dans l'activité. Cet aspect « créatif » est bien distingué par les PES de l'aspect « rigoureux et scientifique ». En mathématiques, la tâche consiste à « placer des points les uns par rapport aux autres, et de contrôler les positions des points précédemment placés, être capable de travailler avec précision ». Dans le domaine des sciences, les apprenants vont comparer différents modèles de la même réalité et vont ainsi travailler à la fois le principe de la révolution d'un astre et la relativité du mouvement.

5. Discussion

Selon Kahn (2000), deux finalités marquent l'enseignement à l'école primaire : l'éducation et la transmission des savoirs. Il s'agit donc de gérer à la fois la classe en ayant des élèves attentifs et créer un environnement propice aux apprentissages, ce qui est difficile à réaliser lorsqu'il s'agit d'un enseignant débutant. Le parcours des PES dans la formation décrite ici montre bien que le savoir n'a pu prendre de l'importance qu'à travers les interventions des formateurs au moment de la présentation de la consigne initiale et dans les médiations opérées au cours du retour réflexif sur l'expérience.

Le cas de L, en comparaison à celui de J et du second groupe, montre à quel point le rapport au savoir en jeu peut faire obstacle à une polyvalence effective (cf. section 2.1). Ainsi, le contexte de l'observation des mouvements relatifs (Terre-Soleil) est difficile du point de vue du savoir mis en jeu, malgré la tendance chez les professeurs des écoles à le privilégier comme thème lorsqu'ils abordent l'astronomie. Ils se réfèrent en particulier ici aux programmes de sciences en traitant l'alternance jour/nuit et les saisons, mais sans pour autant mobiliser des connaissances mathématiques leur permettant de décrire, valider ou interpréter leurs expériences et observations. Ils vont questionner ou décrire le monde avec des observations qui ne seront pas reliées à des modèles (Yvain-Prebiski et Chenais, 2019), et ne permettront pas à leurs élèves de s'engager dans une démarche d'investigation ou de résolution de problème.

Nous voyons ici, dans le cas particulier des mathématiques et des sciences, une difficulté de la mise en place de la polyvalence. Le contexte doit être riche pour permettre un regard pluriel des disciplines. Mais paradoxalement, cette richesse représenterait un obstacle lorsque les connaissances disciplinaires sont manquantes ou instables. Pour aller plus loin, il serait nécessaire d'avoir des données sur les conceptions des PES en amont de la formation pour pouvoir apprécier leur évolution tout au long de la formation.

Pour conclure, l'étude présentée ici était une recherche exploratoire. D'une part, elle a permis de mesurer la portée du dispositif de formation basé sur les *micro-teaching lessons studies* dans une optique de formation à la polyvalence. La tension entre l'identité professionnelle des enseignants du primaire et leur rapport au savoir disciplinaire se trouve confirmée dans ce contexte spécifique de formation. D'autre part, elle nous permet d'avancer que les contraintes temporelles de la formation initiale et le manque d'expérience professionnelle des PES ne permettent pas d'aller plus loin dans cette approche de la polyvalence. Les résultats obtenus nous incitent à prolonger notre recherche plutôt avec des enseignants expérimentés dans le contexte de formations continues ou de recherches collaboratives (Sanchez et Monod-Ansaldi, 2015). Notre question restera alors centrée sur les connaissances nécessaires à travailler pour permettre la pratique d'une polyvalence intégratrice mettant en jeu des disciplines scientifiques. Cette question sera travaillée à travers la conception de séances mettant en jeu plusieurs disciplines scientifiques et l'analyse de leur mise en place. Ce double travail collaboratif de conception et d'analyse de la mise en œuvre permettrait en retour le développement de connaissances scientifiques et didactiques de l'enseignant. Caractériser ce développement et étudier les conditions nécessaires à son émergence est au cœur de nos travaux en cours.

Bibliographie

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

ABBOUD, M., ROLLINDE, E., & NECHACHE, A. (2021). How to introduce pre-service teachers to mathematics and science subjects: the use of Human Orrery in teacher training. In P. S. Bretones, U. Eriksson & P. Russo (Eds.) *Proceedings of the Astronomy Education Conference: Bridging Research & Practice* (pp. 95-104). IAU-ESO- Universiteit Leiden - The Netherlands.

BAILLAT, G., ESPINOZA, O., & VINCENT, J. (2001). De la polyvalence formelle à la polyvalence réelle : une enquête nationale sur les pratiques professionnelles des enseignants du premier degré. *Revue française de pédagogie*, 134, 123-136.

BARRIER, T., MATHE, A.-C., & MITHALAL, J. (2016). Formation initiale des enseignants du premier degré en géométrie : quels savoirs ? *Annales de Didactique et de Sciences Cognitives*, 21, 317 - 342. <https://doi.org/10.4000/adsc.861>

BLANQUET, E., & PICHOLLE, É. (2018). Démarche d'investigation, pédagogie transmissive et principe d'autorité : l'exemple du système héliocentrique. *Recherches en éducation*, (34).

- CHENEVOTOT, F., GALISSON, M. P., & BAHEUX, C. (2019). Contribution à l'étude du rapport au savoir en mathématiques de neuf professeurs des écoles expérimentés. *Éducation et didactique*, 3, 83-108.
- COLE, M., COHEN, C., WILHELM, J., & LINDELL, R. (2018). Spatial thinking in astronomy education research. *Physical Review Physics Education Research [en ligne]*, 14(1), DOI:10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010139
- DECROIX, A.-A., CHENEVOTOT, F., GALISSON & M.-P., BAHEUX, C. (2019). Comparaison des rapports au savoir en mathématiques et en physique de professeurs des écoles In M. Abboud (Éd.), *Actes du colloque EMF 2018* (pp.142-150). Paris : IREM de Paris.
- DEVELAY, M. (1995). Apprentissage, Enseignement, Formation. *EPS* 1(72), 2-6.
- FERNANDEZ, M. L., & ROBINSON, M. (2006). Prospective Teachers' Perspectives on Micro-Teaching Lesson Study. *Education*, 127 (2), 203-215.
- HOUEMENT, C. (2013). *Au milieu du gué : entre formation des enseignants et recherche en didactique des mathématiques*. Note pour l'habilitation à diriger des recherches, Université Paris Diderot.
- KAHN, P. (2000), L'enseignement des sciences, de Ferry à l'éveil. *Aster : Recherches en didactique des sciences expérimentales*, 31(1), 9-35.
- LAJOIE, C., & TEMPIER, F. (2019). Introduction au numéro spécial sur les dispositifs de formation à l'enseignement des mathématiques. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 19, 83–86.
- LENOIR, Y. (1995). *L'interdisciplinarité dans l'intervention éducative et dans la formation à l'enseignement primaire : réalité et utopie d'un nouveau paradigme*. Sherbrooke : Faculté d'éducation (Documents du LARIDD, no 5).
- LENOIR, Y., & SAUVE, L. (1998). Note de synthèse. De l'interdisciplinarité scolaire à l'interdisciplinarité dans la formation à l'enseignement : un état de la question. *Revue française de pédagogie*, 125(1), 109-146.
- LENOIR, Y. (2020). L'interdisciplinarité dans l'enseignement primaire : pour des processus d'enseignement-apprentissage intégrateurs. *Tréma [en ligne]* (54).
- MARCHAND, P. (2010). Formation initiale des maîtres au primaire et en adaptation scolaire et sociale : quelle formation mathématique ? In Proulx, J. & Gattuso, L. (dir, 2010). *Formation des enseignants en mathématiques : tendances et perspectives actuelles* (pp.11-30). Sherbrooke (Québec) : Éditions du CRP.
- NECHACHE, A., & ROLLINDE, E. (2024). La pratique de la polyvalence chez les professeurs des écoles débutants en France. *Recherche et Formation* (à paraître).
- PHILIPPOT, T. (2013). Les enseignants de l'école primaire et l'interdisciplinarité : entre adhésion et difficile mise en œuvre. *Tréma*, 39, 62-75.
- ROLLINDE, E., DECAMP, N., & DERNIAUX, C. (2021). Should frames of reference be enacted in astronomy instruction? *Physical Review Physics Education Research [en ligne]* 17(1), DOI: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.013105.

ROY, P., SCHUBNEL, Y., & SCHWAB, C. (2019). Les représentations de la pratique interdisciplinaire chez de futurs enseignants suisses du primaire. *RDST. Recherches en didactique des sciences et des technologies*, 19, 49-85.

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., FAYE, M., TOMITA, A., MAX, C., DE KORTE, M., BAUDOUIN, C., BIRKENBAUMA, D., KALLERY, M., ANJOS, S., WU, Q., CHU, H., SLATER, E., & ORTIZ-GIL, A. (2021). The gateway science: A review of astronomy in the OECD school curricula, including China and South Africa. *Research in Science Education*, 51(4), 975-996.

SANCHEZ, É., & MONOD-ANSALDI, R. (2015). Recherche collaborative orientée par la conception : Un paradigme méthodologique pour prendre en compte la complexité des situations d'enseignement-apprentissage. *Éducation et didactique*, 2, 73-94.

STRAJNIC, J., & ROLLINDE, E. (2021). Un état des lieux des démarches. In E. Rollinde (dir.) *Astronomie pour l'éducation dans l'espace francophone*, p. 22-29. Édition Le Manuscrit.

VILLANI, C., & TOROSSIAN, C. (2018). *Rapport. 21 mesures pour l'enseignement des mathématiques*. Repéré à <https://www.education.gouv.fr/21-mesures-pour-l-enseignement-des-mathematiques-3242>

WHITE, D., & DELANEY, S. (2021). Full STEAM Ahead, but Who Has the Map for Integration? A PRISMA Systematic Review on the Incorporation of Interdisciplinary Learning into Schools. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 9(2), 9-32.

YVAIN-PRÉBISKI, S., & CHESNAIS, A. (2019). *Horizontal mathematization: a potential lever to overcome obstacles to the teaching of modelling*. In Eleventh Congress of the European Society for Research in Mathematics Education, Utrecht University, Feb 2019, Utrecht, Netherlands. ([hal-02409063](https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02409063))

MAHA ABBOUD

CY Cergy Paris Université, Université Paris Cité, Univ Paris Est Créteil, Univ. Lille, UNIROUEN, LDAR, F-95000 Cergy-Pontoise, France
maha.abboud-blanchard@cyu.fr

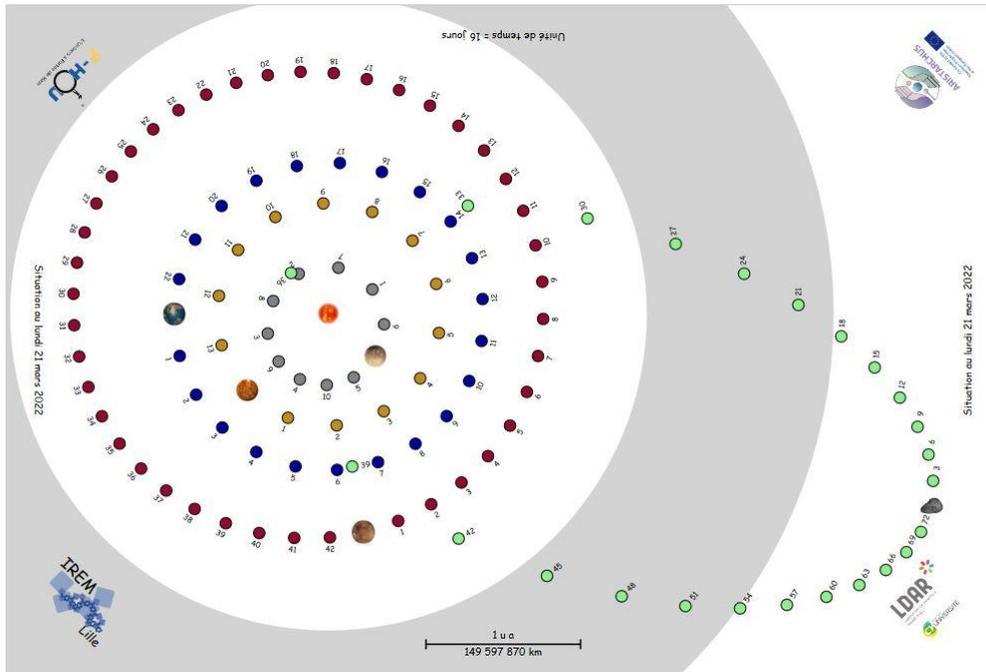
ASSIA NECHACHE

CY Cergy Paris Université, Université Paris Cité, Univ Paris Est Créteil, Univ. Lille, UNIROUEN, LDAR, F-95000 Cergy-Pontoise, France
assia.nechache@cyu.fr

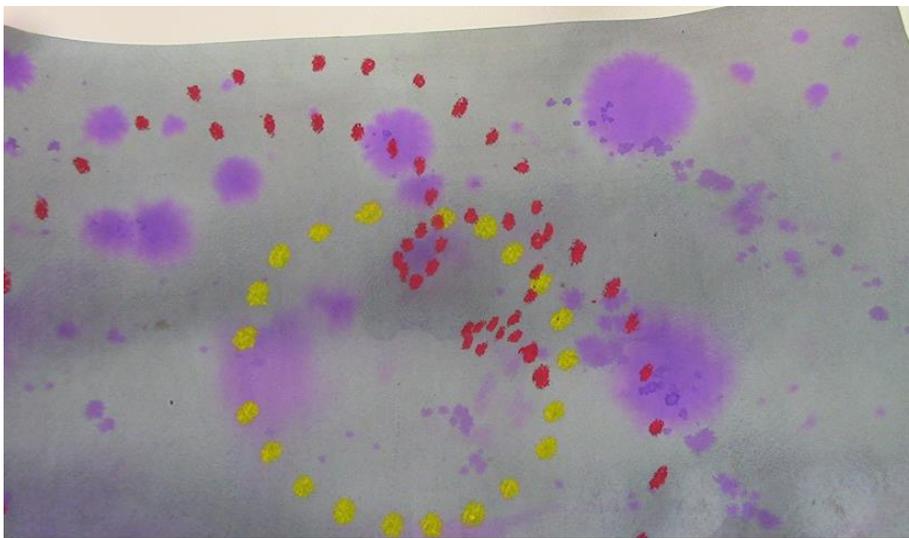
EMMANUEL ROLLINDE

CY Cergy Paris Université, Université Paris Cité, Univ Paris Est Créteil, Univ. Lille, UNIROUEN, LDAR, F-95000 Cergy-Pontoise, France
emmanuel.rollinde@cyu.fr

Annexe 1. Le planétaire humain



Annexe 2. Exemple de production issue de la séance réalisée par P1-P2-P3



Annexe 3. Illustration du travail sur les angles dans les séances de J et L