



HAL
open science

Modèles et simulations en astronomie au cycle 3

Leila Chever-Piegay, Laurie Claparède

► **To cite this version:**

Leila Chever-Piegay, Laurie Claparède. Modèles et simulations en astronomie au cycle 3. Education. 2023. dumas-04558167

HAL Id: dumas-04558167

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04558167>

Submitted on 24 Apr 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

MASTER MEEF mention 1er degré
« Métiers de l'enseignement, de l'éducation et de la formation »
Mémoire de 2ème année
Année universitaire 2022 - 2023 Université de Montpellier

Modèles et simulations en astronomie au cycle 3

Leila CHEVER-PIEGAY
Laurie CLAPAREDE

Directrice du mémoire : Valérie MUNIER

Assesseur : David CROSS

Soutenu le /06/2023

Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire. Tout d'abord, nous souhaitons sincèrement remercier notre directrice de mémoire Valérie MUNIER pour son soutien, ses conseils et sa disponibilité. Nous adressons aussi nos remerciements aux enseignants de la faculté d'éducation de Montpellier qui ont répondu à nos questionnements et qui nous ont fourni des outils pour la construction de notre mémoire. Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance à l'enseignante Isabelle SCHMIDT qui nous a accueillies dans sa classe et nous a permis de réaliser notre étude. Nous remercions également les élèves de sa classe pour leur participation et leur collaboration. Nous tenons une attention particulière à l'école élémentaire Valene qui nous a prêté des ordinateurs portables indispensables au bon déroulé de nos séances. Nous souhaitons enfin remercier le personnel du laboratoire de la faculté d'éducation de Montpellier pour nous avoir prêté le matériel nécessaire à la réalisation de notre séquence.

Résumé

Dans ce mémoire, nous questionnons l'intérêt de l'utilisation de la simulation numérique et de la modélisation avec des objets matériels pour enseigner l'astronomie. S'il semble y avoir un consensus sur le fait que la modélisation permet d'acquérir les savoirs visés, en revanche les avis divergent pour l'utilisation de la simulation. Nous faisons l'hypothèse que ces approches peuvent être complémentaires. Pour tester cette hypothèse une séquence d'astronomie sur l'alternance jour/nuit a été réalisée dans une classe de CM2 séparée en deux groupes. Chaque demi-classe a suivi une procédure différente, simulation puis modélisation et inversement. Nos résultats montrent que les deux séances sont complémentaires. Cependant la modélisation est plus efficace pour comprendre le phénomène et doit être faite en premier.

Mots clés : simulation numérique, modélisation, astronomie, alternance jour/nuit, complémentaire

Abstract

In this research papers, we question the interest of using numerical simulation and modeling with material objects to teach astronomy. If there seems to be a consensus on the fact that modeling allows to acquire the targeted knowledge, on the other hand, opinions diverge for the use of simulation. We hypothesize that these approaches can be complementary. To test this hypothesis, an astronomy sequence on day/night alternation was carried out in a class of CM2 separated in two groups. Each half class followed a different procedure, simulation then modeling and vice versa. Our results show that the two sessions are complementary. However, modeling is more efficient to understand the phenomenon and should be done first.

Keywords : numerical simulation, modeling, astronomy, day/night alternation, complementary

SOMMAIRE

Introduction.....	1
I. Cadre théorique	2
A. L'enseignement de l'astronomie.....	2
1. Textes officiels	2
2. Contenus scientifiques	3
B. Qu'est qu'une conception ?	5
C. Qu'est-ce que la modélisation ?	6
D. Qu'est-ce qu'un modèle ?	6
1. Définition	6
2. Modèles et apprentissage.....	7
E. Simulation	8
1. Définition	8
2. Simulations numériques et apprentissages.....	9
3. Logiciels de simulation numérique.....	10
a) Stellarium	11
b) Celestia.....	12
II. Problématique.....	13
III. Cadre expérimental.....	14
A. Méthodologie	14
B. Recueil de données.....	16
C. Description des évaluations, entretiens et questionnaire	17
D. Simulation numérique.....	18
E. Modélisation avec des objets matériels.....	20
IV. Analyse et résultats	23
A. Analyse a posteriori du déroulement de la séquence.....	24
B. Analyse des résultats	25
a) Les conceptions initiales.....	25
b) L'impact des séances de modélisation avec des objets matériels et avec simulation numérique sur l'acquisition des savoirs	26
c) Comparaison de l'avancée des connaissances des deux séances.....	27
d) L'impact d'une seconde séance sur l'acquisition des savoirs.....	28
e) L'impact des deux procédures testées sur l'acquisition des savoirs à court et moyen terme.....	30
f) Comparaison de l'évolution des savoirs des deux groupes lors de la séquence.....	32
C. Avis des élèves	33
Conclusion	37
Bibliographie.....	39
ANNEXES.....	43

Introduction

L'astronomie est une science ancienne remontant à l'Antiquité qui intéresse aujourd'hui autant les enfants que les adultes. Pendant nos stages, nous avons constaté cet intérêt des élèves pour les sciences et plus précisément pour l'astronomie. Ceux-ci se posent de nombreuses questions sur les trous noirs, les comètes, les astéroïdes, l'univers... Pourtant des difficultés demeurent concernant l'explication de phénomènes plus accessibles comme l'alternance jour/nuit ou les saisons. Ces difficultés sont aussi présentes chez une partie du corps enseignant qui redoute de traiter ce thème au cycle 3. En outre, nous avons constaté lors de nos stages que certains élèves arrivent au collège sans avoir abordé le sujet de l'astronomie. En effet, l'enseignement des sciences était réalisé pour tous les élèves de cycle 3 par une seule enseignante qui ne traite à aucun moment le thème de l'astronomie.

Provenant de filières scientifiques et étant nous-mêmes passionnées d'astronomie, ce thème nous a paru intéressant pour notre mémoire. Avec le développement du numérique et d'internet, comprendre comment intégrer ces outils dans des séquences d'astronomie nous semblait pertinent. Nous nous sommes posé de nombreuses questions sur le rôle de la simulation numérique et de la modélisation avec des objets matériels lors d'une séquence d'astronomie. Cela nous a amenées d'une part à nous interroger sur l'utilisation de la simulation numérique : la simulation numérique permet-elle une meilleure acquisition des savoirs qu'une modélisation avec des objets matériels ? D'autre part, nous nous interrogeons sur la complémentarité de la simulation numérique avec la modélisation avec des objets matériels.

Afin de répondre à nos questionnements, nous étudions dans un premier temps la place de l'enseignement de l'astronomie au sein de notre système éducatif. Dans un second temps, nous précisons les connaissances scientifiques en jeu dans notre mémoire pour expliquer le phénomène d'alternance jour/nuit. Nous explicitons aussi les concepts didactiques que nous mobilisons en définissant notamment les notions de conception, modélisation, modèle et simulation. Nous précisons alors notre problématique et notre méthodologie qui consiste à concevoir, mettre en œuvre et analyser. Une séquence d'astronomie est organisée dans une classe de cycle 3, sa méthodologie est détaillée avant la présentation et la discussion des résultats.

I. Cadre théorique

A. L'enseignement de l'astronomie

L'astronomie est une discipline récente qui apparaît dans les programmes du collège en 1979 dans la rubrique « Optique » (Merle et Girault, 2003). Alors que l'enseignement des sciences est obligatoire à partir de 1882 sous Ferry (Kahn, 2000), l'astronomie n'apparaît à l'école primaire qu'en 1985. Selon Merle et Girault, elle était cependant enseignée depuis les années 60 par les enseignants et scientifiques. Aujourd'hui, le thème de l'astronomie figure dans les programmes nationaux (BOEN n° 31 du 30 juillet 2021) dès l'école primaire.

1. Textes officiels

Le thème de l'astronomie s'inscrit dans les programmes du cycle 3 (BOEN n° 31 du 30 juillet 2020) dans la partie dédiée à l'enseignement des sciences et technologie et plus précisément dans la partie « La planète Terre. Les êtres vivants dans leur environnement ». Dans cette partie, les connaissances et les compétences associées sont « Décrire les mouvements de la Terre (rotation sur elle-même et alternance jour/nuit, autour du Soleil et cycle des saisons). Les mouvements de la Terre sur elle-même et autour du Soleil ». Ainsi, les deux grands thèmes traités en astronomie sont l'explication de deux phénomènes observables par un observateur terrestre : l'alternance jour/nuit et le cycle des saisons.

L'utilisation de modèles est encouragée dans les programmes où il est question de « démarches scientifiques variées (modélisation, expérimentation, etc.) ». Les instructions officielles indiquent que ces démarches peuvent être autant des manipulations que des simulations. Ces recommandations sont amplement justifiées car en astronomie l'expérimentation directe est impossible. En effet, un observateur situé sur Terre peut observer le mouvement apparent du Soleil et des étoiles, mais ne peut pas observer la rotation de la Terre sur elle-même ou la révolution de la Terre autour du Soleil. De plus, il est impossible de manipuler directement en astronomie car les planètes et le Soleil ne peuvent pas être déplacés.

Ainsi, la plupart des ressources pédagogiques préconisent la modélisation avec des objets matériels. Cependant, les instructions officielles indiquent que les simulations peuvent aussi être utilisées (Boivin-Delpieu et Joubert, 2021).

Par ailleurs, l'utilisation d'outils numériques est un objectif présent dans le domaine 2 « les méthodes et outils pour apprendre » du socle commun de connaissances, de compétences et de culture (BOEN n° 17 du 23 avril 2015). La compétence « Mobiliser des outils numériques » est travaillée au cycle 3 (BOEN n° 31 du 30 juillet 2021). Ainsi, les outils numériques peuvent être utilisés pour simuler des phénomènes dans l'apprentissage de l'astronomie au cycle 3.

2. Contenus scientifiques

Deux mouvements distincts de la Terre sont à l'origine de deux phénomènes au programme de cycle 3. La rotation de la Terre sur elle-même selon son axe de rotation donne lieu à l'alternance du jour et de la nuit. Quant à la rotation de la Terre autour du Soleil, elle est responsable de la succession des saisons car l'axe des pôles est incliné par rapport au plan de l'écliptique (Léna et al., 2009). Les instructions officielles (BOEN n° 31 du 30 juillet 2020) ne précisent pas si l'explication de l'alternance jour/nuit doit être abordée en amont de celle du phénomène des saisons. Cependant, les documents ressources Eduscol (2020), préconisent de commencer par l'explication de l'alternance jour/nuit. Dans notre mémoire, nous avons donc choisi de nous concentrer sur l'explication de l'alternance jour/nuit.

Alternance jour/nuit

Un observateur terrestre observe le Soleil se lever vers l'est et se coucher vers l'ouest, de même il observe la nuit le mouvement de la voûte céleste se déplacer vers l'ouest. Trois modèles peuvent expliquer le mouvement apparent du Soleil et l'alternance jour/nuit :

- La Terre tourne sur elle-même en 24 heures,

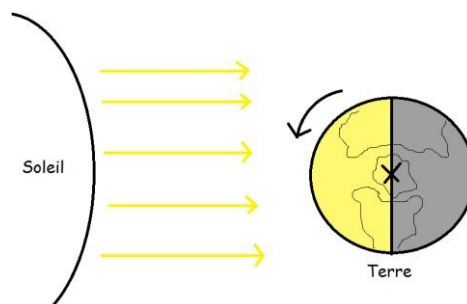


Figure 1 : Schéma du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même vue du Pôle Nord

- La Terre tourne autour du Soleil sans rotation sur elle-même, la révolution de la Terre autour du Soleil dure 24 heures,

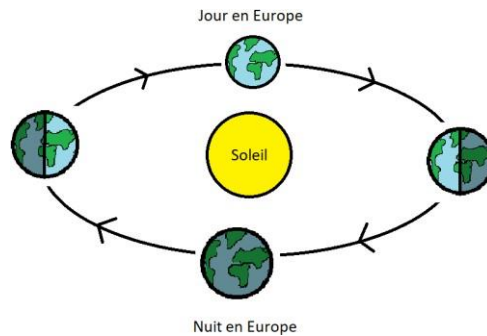


Figure 2 : Schéma de la Terre qui tourne autour du Soleil

- Le Soleil tourne autour de la Terre qui est fixe en 24 heures.

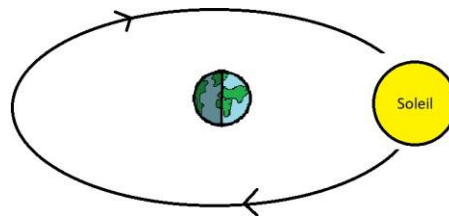


Figure 3 : Schéma du Soleil qui tourne autour de la Terre

Le deuxième modèle (la Terre tourne autour du Soleil) est rejeté car la rotation de la Terre autour du Soleil dure une année alors qu'un jour dure environ 24 heures. Le modèle du Soleil tournant autour de la Terre est le premier modèle expliquant l'alternance jour/nuit, il considère la Terre au centre de l'Univers et les autres astres se déplaçant autour. Il s'agit d'un modèle géocentrique. Copernic (1473-1543) puis Galilée (1564-1642) remirent en cause ce modèle et soutinrent un modèle héliocentrique où la Terre n'est plus au centre de l'Univers et où la rotation de la Terre sur elle-même permet d'expliquer l'alternance jour/nuit.

Le mouvement de la Terre sur elle-même est appelé rotation ou mouvement diurne et la Terre effectue une rotation autour de son axe en 24 heures environ. Comme la Terre est sphérique, le Soleil éclaire à un instant donné sa moitié. L'autre partie se trouve dans l'ombre propre de la Terre. Il fait jour dans la partie éclairée et nuit dans l'autre. L'heure n'est donc pas la même selon où qu'on se trouve sur Terre. La Terre tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Il fera par conséquent jour en Asie, puis en Europe et Afrique et enfin en Amérique.

B. Qu'est qu'une conception ?

D'après le dictionnaire Larousse, une conception est une « manière particulière de comprendre une question ; d'opinion, représentation, idée que l'on peut se faire de quelque chose ». Une conception initiale est donc une représentation ou idée que l'élève possède sur une chose avant l'enseignement. Bächtold (2012) reprend l'idée de Piaget selon laquelle les conceptions des élèves sont proches de celles des connaissances scientifiques dans l'histoire de l'humanité. Il montre ainsi que l'histoire des sciences permet de mieux comprendre et d'envisager les conceptions des élèves. De plus, ces conceptions évoluent en fonction de l'âge de l'enfant.

D'après Astolfi et Peterfalvi (1993), les conceptions ou représentations des élèves possèdent un double statut. En effet, elles possèdent le statut d'« écart au savoir savant », c'est-à-dire qu'elles constituent une réponse erronée à une question. Elles sont donc en opposition avec l'objectif de la séance et les savoirs visés par l'enseignant. D'autre part, elles possèdent aussi un statut « d'explication fonctionnelle pour l'élève », elles permettent d'expliquer de manière cohérente pour l'élève un phénomène scientifique. L'enseignant va chercher à transformer ces conceptions pour atteindre le savoir visé.

Astolfi et Peterfalvi (1993) définissent trois niveaux différents pour permettre à l'élève de faire évoluer sa conception : « repérage », « fissuration » et « franchissement ». Le premier niveau est un repérage préalable lors duquel émergent les conceptions initiales des élèves. L'élève découvre que les autres au sein de la classe ou du groupe peuvent penser différemment. Le second niveau appelé « niveau de fissuration » remet en cause les représentations de l'élève. Celui-ci prend conscience que ses conceptions ne fonctionnent pas. Enfin, lors du troisième niveau, le « niveau du franchissement », l'enseignant propose à l'élève un autre modèle explicatif satisfaisant. Ainsi, l'élève passe d'une conception initiale aux savoirs visés. C'est aussi ce que pointe Bächtold (2012) qui souligne la place des conceptions dans l'enseignement des sciences. D'après lui, l'enseignant doit prendre en compte les différentes conceptions afin que les élèves puissent comprendre et intégrer les connaissances scientifiques. La connaissance des conceptions permet à l'enseignant d'adapter son enseignement en fonction. Il peut aussi utiliser les conceptions comme point de départ pour l'enseignement d'un sujet scientifique donné.

Les conceptions servent donc à la fois à l'enseignant et aux élèves. Pour l'enseignant, elles permettent d'adapter son enseignement. Il s'agit de les transformer afin de construire les savoirs visés. Les conceptions forment ainsi la base de l'enseignement des sciences.

C. Qu'est-ce que la modélisation ?

D'après le dictionnaire Larousse, une modélisation est définie comme un « établissement de modèles ». De plus, le Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales CNRTL indique pour modélisation : « Opération par laquelle on établit le modèle d'un système complexe, afin d'étudier plus commodément et de mesurer les effets sur ce système des variations de tel ou tel de ses éléments composants ». La modélisation est par conséquent la construction de modèle. Elle permet de simplifier un phénomène physique et de l'analyser et l'étudier (Blanquet et Picholle, 2015).

D. Qu'est-ce qu'un modèle ?

1. Définition

Drouin (1988) définit le modèle comme :

« La notion de modèle s'avouerait plus volontiers et plus ouvertement comme un artefact, comme une interprétation plausible de la réalité, sans prétendre en être la traduction fidèle. [...] Le modèle est "quelque chose" (objet concret, représentation imagée, système d'équations...) qui se substitue au réel trop complexe, ou inaccessible par un intermédiaire plus connu ou plus accessible à la connaissance. »

Le dictionnaire Larousse indique pour modèle :

« représentation abstraite des relations entre les paramètres caractéristiques d'un phénomène ou d'un processus. (Le modèle scientifique [par exemple celui du système solaire] vise à simplifier le phénomène étudié [passage de la théorie de Ptolémée à celle, plus simple, de Kepler], à unifier des phénomènes a priori sans rapport [loi de la gravitation universelle de Newton] et à prédire des phénomènes nouveaux [découverte de la planète Neptune à partir des anomalies constatées dans les mouvements des autres planètes].) »

Pour la construction d'un modèle, Robichon (2020) explicite une définition du modèle analogue à celles citées ci-dessus. Plusieurs étapes sont nécessaires afin de construire un modèle : trouver les paramètres observables et/ou théoriques pertinents, puis exprimer les relations qui existent entre eux. La prise en compte des erreurs et la connaissance des paramètres permettent de valider l'accord entre modèle et observation. Enfin, la manipulation du modèle doit permettre de prédire des phénomènes observables. Pierrard (1988) souligne l'importance pour le modèle de pouvoir passer du modèle à la réalité et de permettre de prédire des phénomènes observables. Aussi, un modèle doit pouvoir être modifié.

Par ailleurs, selon Blanquet et Picholle (2015), un modèle se définit comme « une fiction dotée d'un certain degré de généralité et dont l'objet est une vision simplifiée du monde physique, d'une partie de celui-ci ou de phénomènes qui s'y déroulent ». Un modèle possède trois caractéristiques principales :

- ❖ La **prise de recul par rapport au modèle** est possible, cela signifie que la différence entre réalité et modèle doit être établie ;
- ❖ Il y a un **lien permanent entre le modèle élaboré et l'objet modélisé**. C'est-à-dire qu'à chaque fois que l'on fait fonctionner le modèle on doit pouvoir observer la variation dans la réalité. Par exemple, dans le cas du phénomène jour/nuit, il doit permettre de prévoir s'il fait nuit dans une ville avant ou après une autre ville. De même, cette information (dans notre exemple, il fait nuit dans une ville avant une autre) doit pouvoir être expliquée à l'aide du modèle ;
- ❖ Il est construit en utilisant **les paramètres pertinents du système modélisé**. En effet, lors de la construction d'un modèle, il faut choisir certains paramètres et éliminer ceux qui n'apportent aucune information nécessaire à la compréhension du phénomène.

De ce fait, un modèle a une fonction de représentation, d'explication et de prévision d'un phénomène. Le modèle est construit grâce aux relations entre les paramètres pertinents observables et/ou théoriques. Et il permet de prédire des phénomènes observables et peut être modifié.

2. Modèles et apprentissage

Selon Gilbert (2004), les difficultés en astronomie et plus généralement dans le domaine des sciences viennent des programmes scientifiques qui donnent une grande importance à l'enseignement de faits isolés les uns des autres ainsi qu'aux évaluations de connaissance sur ces faits. L'enseignement des modèles et modélisations peut être une base pour pallier ces difficultés.

Boivin-Delpieu (2020) reprend l'idée de Bécu-Robinault (2004) selon laquelle il existe deux mondes, celui des théories et celui des objets et événements. Les théories et les modèles physiques ou mathématiques font partie du monde des théories et les mesures, objets et événements de l'autre. Le modèle permet de construire des liens entre ces deux mondes. Lors d'une séquence d'astronomie, les activités des élèves s'inscrivent dans l'un de ces deux mondes ou dans les deux. C'est la construction des liens entre les deux mondes qui permettent l'acquisition des connaissances chez l'élève :

« Ainsi, les éléments relevant du monde des objets et des événements sont ceux permettant à l'élève de se questionner, d'interpréter, de se représenter ou de prévoir des faits expérimentaux. » (Boivin-Delpieu, 2020)

En astronomie, le modèle va permettre de tisser un lien entre la théorie et ce qui est observable par l'élève. Dans le cas de l'alternance jour/nuit, il s'agit de faire le lien entre le mouvement apparent du soleil et la rotation de la Terre. C'est le développement de ce lien qui permet l'acquisition des connaissances chez l'élève.

E. Simulation

1. Définition

D'après le dictionnaire Larousse, une simulation est une « Représentation du comportement d'un processus physique, industriel, biologique, économique ou militaire au moyen d'un modèle matériel dont les paramètres et les variables sont les images de ceux du processus étudié. (Les modèles de simulation prennent le plus souvent la forme de programmes d'ordinateurs auxquels sont parfois associés des éléments de calcul analogique.) »

Et selon le Centre National de Ressources textuelles et lexicales CNRTL, une simulation est définie comme une « Reproduction artificielle du fonctionnement d'un appareil, d'une machine, d'un système, d'un phénomène, à l'aide d'une maquette ou

d'un programme informatique, à des fins d'étude, de démonstration ou d'explication. »

D'après ces deux dictionnaires, une simulation représente un système et peut être de nature matérielle ou numérique.

Blanquet et Picholle (2015) définissent une simulation comme « une fiction rendant compte d'une réalisation particulière du monde physique ». Ainsi une simulation représente un phénomène particulier. De plus, une simulation est modifiable et peut prendre diverses formes comme des maquettes, des images ou des logiciels. Une simulation n'est donc pas forcément numérique, mais peut aussi être matérielle ou « dans l'esprit de son concepteur ». Blanquet et Picholle considèrent que la simulation est différente du modèle qui présente un caractère de généralité. La simulation représente une situation précise alors que le modèle représente une globalité. Jong et van Joolingen (1998) donnent une définition différente de la simulation informatique. Une simulation est « un programme qui contient un modèle d'un système (naturel ou artificiel ; par exemple, un équipement) ou d'un processus¹ ». Simulation et modèle ne sont pas deux outils de modélisation différents, mais la simulation est créée à partir d'un modèle. Allaire (2005) rejoint ce point de vue en définissant une simulation comme étant constituée d'un modèle, des données et résultats obtenus grâce à cette simulation. Comme le modèle peut être analogique ou numérique, la simulation peut elle aussi être analogique ou numérique.

Nous utiliserons cette définition selon laquelle la simulation est constituée du modèle ainsi que des données et des résultats. Dans la suite de notre étude, nous considérons une simulation numérique ou informatique comme un ensemble constitué d'un modèle numérique et des données et résultats obtenus à l'aide d'un ordinateur.

Parmi les logiciels de simulation numérique pour l'astronomie, nous pouvons citer Stellarium, Celestia, Starry Night, Voyager, etc. (Remy, 2020).

2. Simulations numériques et apprentissages

Les chercheurs ne sont pas tous en accord concernant l'intérêt de la simulation numérique dans les apprentissages :

- **Les simulations numériques permettent l'acquisition des savoirs**

D'après Fjeld et Voegtli (2002), l'utilisation de logiciel de simulation numérique en 3D permet à l'apprenant d'être actif pendant ses apprentissages et d'apprendre en autonomie. Par ailleurs, les simulations permettent d'observer des phénomènes impossibles pour un observateur terrestre comme les molécules ou les atomes. C'est l'idée que reprend Remy (2020) lors de son étude sur la mise en place d'une séance d'astronomie avec un planétarium et le logiciel Stellarium en classe de 5^e. Selon lui, les simulations permettent de pratiquer des expériences impossibles en classe. Il est ainsi possible d'observer le ciel à n'importe quel endroit sur Terre, à n'importe quel moment, sans tenir compte de la météo. D'autre part, les simulations et logiciels numériques permettent à l'apprenant d'être plus autonome qu'une manipulation avec des objets matériels et le motivent dans ses apprentissages.

Selon Yen et al. (2013) les animations 2D, simulations 3D et matériels de réalité augmentée permettent d'améliorer les apprentissages. En outre, les simulations 3D et le matériel de réalité augmentée suscitent plus de motivation et de concentration de la part des apprenants que les animations 2D.

- **Les simulations numériques ne permettent pas nécessairement l'acquisition des savoirs**

Cependant, selon Boivin-Delpieu (2020), la modélisation de phénomènes astronomiques avec des simulations en 2D ne facilite pas les apprentissages. En effet, lors de son étude, elle a comparé deux situations d'apprentissage sur l'étude du phénomène des saisons, l'une utilisant des objets matériels et l'autre des simulations numériques. Elle a constaté que le numérique est principalement utilisé lors d'activités de description et n'amène que très peu d'avancées dans l'acquisition des savoirs chez les élèves « les simulations numériques en deux dimensions ne favorisent pas une meilleure représentation des mouvements en trois dimensions par les élèves ». Cela peut être dû au fait que les simulations utilisées étaient en 2D, des simulations en 3D ou en réalité augmentée seraient peut-être plus adaptées.

3. Logiciels de simulation numérique

D'après Remy (2020), il existe de nombreux logiciels de simulation numérique pour l'astronomie. Ces logiciels peuvent être regroupés en deux types : les logiciels où l'observateur est placé sur la Terre et ceux où l'observateur se trouve à l'extérieur, dans

l'espace. Pour chacun de ces types, il existe des logiciels plus ou moins précis avec un nombre de paramètres variables et accessibles ou non à l'école primaire. Nous avons sélectionné deux logiciels, Stellarium et Celestia. Le premier possède un point de vue terrestre et le second un point de vue extérieur à la Terre. Ces deux logiciels ont été choisis car ils sont en français, possèdent des interfaces simples, sont gratuits et libres d'accès et permettent tous les deux l'explication de l'alternance jour/nuit. D'autres logiciels plus précis existent, mais ils ne sont pas forcément accessibles à des élèves de cycle 3 ou permettent l'explication d'autres phénomènes. Dans la partie qui suit, nous allons décrire et analyser les deux logiciels que nous avons sélectionnés : Stellarium et Celestia.

a) Stellarium

- **Description** : Stellarium est un logiciel gratuit de planétarium disponible sur Linux, macOS et Windows. D'après Stellarium Astronomy Software, « Il affiche un ciel réaliste en 3D, comme si vous le regardiez à l'œil nu, aux jumelles ou avec un télescope. » Ainsi, le logiciel Stellarium permet une observation du réel selon le référentiel terrestre grâce à une simulation sur ordinateur. Stellarium permet de modifier la date et l'heure ainsi que la situation géographique de l'observateur. Celle-ci peut être modifiée dans l'onglet *situation* en choisissant une localisation sur la carte ou en entrant directement le nom du lieu dans la barre de recherche. Plusieurs autres paramètres peuvent être modifiés comme l'image du sol, la présence de l'atmosphère, le nom des étoiles et planètes, les grilles équatoriales ou azimutales, etc. Il est aussi possible d'accélérer ou de ralentir le temps et de l'arrêter en le mettant en pause.

- **Utilisation** : Ce logiciel permet lors d'une séance d'astronomie d'observer en temps réel la course du Soleil dans le ciel en une journée. Sa prise en main est simple et les différents paramètres sont accessibles pour des élèves de cycle 3. Le logiciel peut être utilisé par l'enseignant ou les élèves. En accélérant le temps, il est possible d'observer en quelques minutes le mouvement apparent du Soleil en une journée. Le logiciel permet donc de réaliser une observation d'une journée en peu de temps. Ce logiciel permet aussi de se déplacer sur le globe et de regarder le ciel à d'autres endroits de la Terre. Il est ainsi possible de se placer aux pôles et de remarquer que le Soleil ne semble pas se coucher ou ne pas se lever ou de l'autre côté de la Terre où il fait nuit quand il fait jour chez nous.

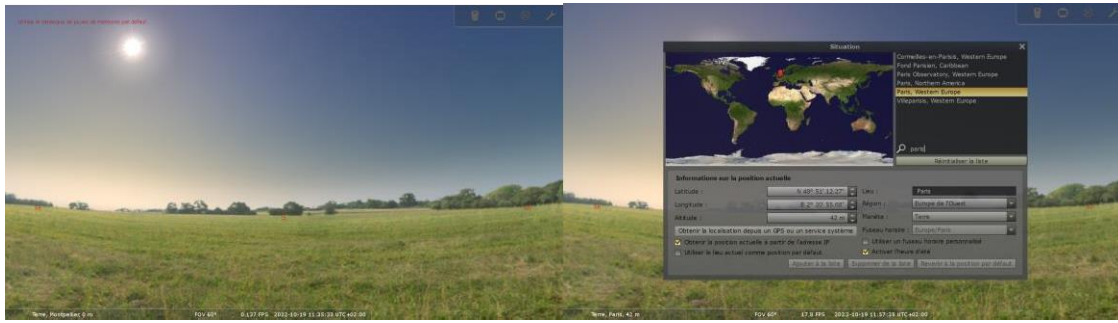


Figure 4 : Captures d'écran du logiciel Stellarium

b) Celestia

- **Description** : Celestia est un logiciel gratuit de simulation de l'espace en 3D, il est disponible sur Linux, macOS et Windows. Ce logiciel permet d'observer une grande partie de l'espace et en particulier le système Terre-Soleil. Ce logiciel permet d'observer la Terre en temps réel selon une vue de l'espace. Comme avec le logiciel Stellarium, le fil du temps peut être accéléré, ralenti ou mis en pause. De plus, tout en restant dans ce modèle héliocentrique, il est possible de se déplacer autour de la Terre. La séparation entre la partie éclairée et celle dans l'ombre propre de la Terre peut être représentée avec un cercle jaune tout comme les azimuts et méridiens. La direction peut être indiquée à l'aide d'une flèche. On peut aussi suivre un point de la terre en se plaçant en géosynchrone. Enfin, il est possible de régler l'heure et la date à l'aide du menu *Temps*.

- **Utilisation** : Ce logiciel permet de se déplacer dans une grande partie de l'espace et comporte de nombreux paramètres. Il est donc plus difficile d'utilisation que le logiciel Stellarium. Mais il peut être utilisé par l'enseignant ou par les élèves aidés de l'enseignant pour observer le système solaire et plus précisément la Terre d'un point de vue extérieur. Il peut servir à expliquer des phénomènes comme l'alternance jour/nuit ou le cycle des saisons.

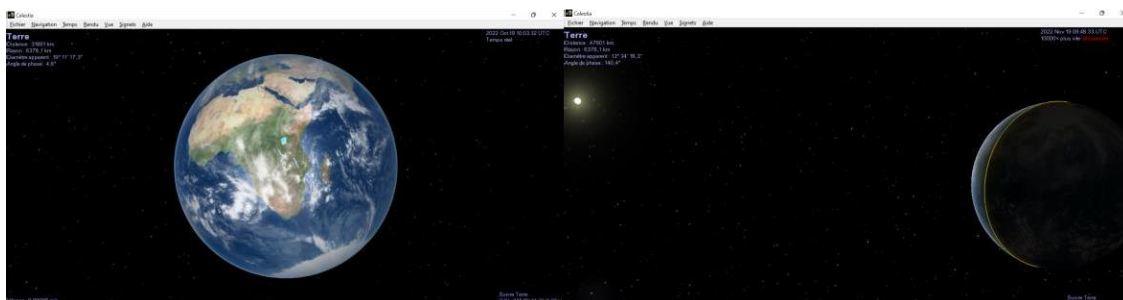


Figure 5 : Captures d'écran du logiciel Celestia

Nous avons élaboré un tableau afin de résumer nos analyses des deux logiciels. La colonne « position de l’observateur » correspond au type du logiciel : vue d’un observateur terrestre ou vue d’un observateur extérieur dans l’espace. Celle des « paramètres réglables » regroupe les différents paramètres utilisables lors d’une séance d’astronomie sur l’alternance jour/nuit pour chaque logiciel.

Logiciels	Langue	Position de l’observateur	Paramètres réglables	Lieu d’observation	Temps
Stellarium	Français	Terre	Temps Lieu Vitesse	Partout sur Terre	Choix de la date Défilement précis Accélérer et ralentir le temps
Celestia	Français	Extérieure à la Terre dans l’espace	Temps Lieu Vitesse	Autour des planètes	Choix de la date Accélérer et ralentir le temps

Figure 6 : tableau reprenant l’analyse des deux logiciels

L’utilisation de ces deux logiciels est différente. En effet, Stellarium permet l’observation du mouvement apparent du Soleil alors que Celestia permet l’explication du phénomène en plaçant l’observateur dans une vue extérieure à la Terre. Nous pouvons ainsi faire l’hypothèse que ces deux logiciels peuvent être utilisés en complémentarité lors d’une séance d’astronomie pour expliquer l’alternance jour/nuit.

II. Problématique

Nous avons vu dans cette première partie qu’il y a consensus concernant la modélisation avec des objets matériels. En effet, d’après la littérature cette modélisation favorise les apprentissages (ex. Bécu-Robinault, 2004). La modélisation avec des objets matériels est une procédure ludique et assez compréhensible pour les élèves. En revanche, il existe des désaccords concernant l’utilisation des simulations numériques. Certaines recherches ont en effet montré que les simulations numériques permettent l’acquisition des savoirs (ex. Remy, 2020) alors que d’autres semblent montrer le contraire (ex. Boivin-Delpieu, 2020).

Or dans les écoles, le matériel numérique se développe de plus en plus et certains logiciels servant à la simulation en astronomie sont facilement accessibles pour des élèves de cycle 3.

L'utilisation conjointe de simulation numérique et de modélisation avec des objets matériels reste une procédure peu explorée dans l'enseignement de l'astronomie au cycle 3, or nous faisons l'hypothèse que ces deux approches peuvent être complémentaires.

Dans ce mémoire nous questionnons la pertinence d'utiliser une simulation numérique et une modélisation avec des objets matériels pour favoriser les apprentissages des élèves en astronomie.

Notre analyse nous amène à formuler les questions de recherche suivantes :

La simulation numérique et la modélisation avec des objets matériels ont-elles un impact sur l'acquisition des savoirs ? (question 1)

Quelle séance (simulation numérique ou modélisation avec des objets matériels) permet une meilleure avancée des connaissances ? (question 2)

La simulation numérique et la modélisation avec des objets matériels sont-elles complémentaires ? (question 3)

Est-il plus efficace d'utiliser la modélisation avec des objets matériels en amont ou en aval de la simulation numérique ? (question 4)

III. Cadre expérimental

A. Méthodologie

Afin de répondre à ces questions de recherche, une séquence d'astronomie (annexe 1) comprenant une séance avec simulation numérique (annexe 2) et une séance avec modélisation utilisant des objets matériels (annexe 3) est réalisée dans une classe de CM2 de 30 élèves. Les élèves proviennent d'un milieu social favorisé et ont déjà partiellement traité le thème de l'astronomie. La séquence de quatre séances a pour objectif l'explication de l'alternance jour/nuit. Nous choisissons d'étudier avec les élèves le phénomène avec les nombreux paramètres qui y sont liés (axe de rotation, durée et sens de rotation) même si

ceux-ci n'expliquent pas directement l'alternance jour/nuit. La première séance consiste en un recueil des conceptions initiales des élèves sur ce phénomène (annexe 4). La dernière est une évaluation sommative. En utilisant une méthode similaire à celle de Merle et de Dusseau (1996), nous avons décidé de former deux groupes et de réaliser des activités identiques pour chacun d'eux, mais à des moments différents. La première procédure consiste à commencer par une séance de simulation numérique suivie d'une séance de modélisation avec des objets matériels (groupe A). La seconde procédure commence par la modélisation avec des objets matériels et se termine par la simulation avec des ordinateurs (groupe B).

Nous avons conçu la séquence en nous aidant des ressources de *La Fondation La main à la pâte* et nous l'avons mise nous-mêmes en place dans une classe de CM2. L'une d'entre nous a réalisé la séance de modélisation avec objets matériels avec un demi-groupe et l'autre la séance avec simulation avec l'autre demi-groupe. Notre corpus est composé de travaux d'élèves, des fiches de préparation, des transcriptions des entretiens réalisés avec les élèves et des questionnaires complétés par les élèves.

Afin de comparer l'avancée des savoirs lors de la modélisation avec objets matériels et lors de la simulation, une évaluation sous forme de QCM identique pour les deux groupes est réalisée après chaque séance (annexe 5). De plus, celle-ci nous permet d'observer l'impact de la modélisation avec des objets matériels et celui de la simulation sur les conceptions des élèves. Deux autres évaluations sont réalisées après la séquence avec un intervalle de deux jours pour la première (annexe 6) et d'un mois pour la seconde (annexe 7). En réalisant une évaluation un mois plus tard, nous pourrions vérifier quel groupe a retenu le plus de savoirs selon sa procédure suivie lors de la séquence. Par ailleurs, en complément de cette seconde évaluation, nous proposons des questionnaires aux élèves. Ceux-ci permettent de recueillir le point de vue des élèves sur la séquence qu'ils ont suivie.

Des entretiens sont réalisés après la première et la deuxième séance dans le but de connaître l'intérêt des élèves pour chacune d'entre elles.

Les deux procédures sont les suivantes :

Gr A	E _c	S _n	E _i 1	S _t	E _i 2	E _s	E
Gr B	E _c	S _t	E _i 1	S _n	E _i 2	E _s	E

Sn est la séance utilisant la simulation numérique

St est la modélisation avec des objets matériels

Ec est le recueil de conception de départ

Ei 1 est l'évaluation QCM se déroulant entre les deux séances d'apprentissage

Ei 2 est l'évaluation QCM identique à Ei 1 se déroulant après la seconde séance

Es est l'évaluation deux jours après la fin des séances d'apprentissages

E est l'évaluation un mois après la fin des séances d'apprentissages

B. Recueil de données

Pour cette étude, notre corpus de données est composé des conceptions initiales des élèves (Ec), des travaux d'élèves et des évaluations réalisées entre les séances (Ei1 et Ei2) et sommatives (Es et E) ainsi que des enregistrements d'entretiens avec tous les élèves réalisés après chaque séance et des réponses à un questionnaire proposé aux élèves après la dernière évaluation sommative. Notre analyse qualitative s'appuie sur les résultats des évaluations, les travaux d'élèves et leurs réponses lors de l'entretien et du questionnaire.

Nous analyserons le taux de réponses correctes ou erronées pour chaque question des fiches d'évaluation et de conception. Nous examinerons particulièrement les points suivants qui nous permettront de répondre à nos quatre questions de recherche :

- ❖ **L'impact des séances de modélisation avec des objets matériels et avec simulation numérique sur l'acquisition des savoirs (question 1).** Pour cela, nous comparerons les données issues des évaluations Ei1 avec les conceptions initiales des élèves (Ec).
- ❖ **Si l'une des deux séances permet une meilleure avancée des connaissances que l'autre (question 2).** Pour ce faire, nous confronterons le taux de réponses correctes ou erronées des évaluations Ei1 pour les deux séances,
- ❖ **L'impact d'une seconde séance sur l'acquisition des savoirs (question 3).** Pour chaque procédure, nous comparerons les résultats des évaluations après les deux séances (Ei2) avec ceux des évaluations réalisées entre les séances (Ei1).
- ❖ **Si l'une des deux procédures testées permet une meilleure acquisition des savoirs que l'autre (question 4).** Nous comparerons les résultats des évaluations sommatives pour les deux procédures sur court terme (Es) et sur moyen terme (E).

Nous faisons l'hypothèse d'obtenir pour les deux procédures des résultats différents entre l'évaluation réalisée entre les deux séances et celle après la dernière séance. En effet, nos deux séances semblent identiques du point de vue des savoirs enseignés. Toutefois, ces savoirs seront abordés de manière différente. Il s'agira de vérifier par nos résultats si on peut établir une relation de complémentarité entre les séances ou si au contraire la succession de nos deux séances n'a eu aucun impact sur les groupes.

C. Description des évaluations, entretiens et questionnaire

Comme décrit précédemment, nous réalisons lors de notre étude quatre évaluations à des moments différents de la séquence afin d'observer et d'analyser l'impact de la simulation numérique et de la modélisation sur les apprentissages des élèves.

Lors de la première évaluation (Ec), les élèves doivent expliquer l'alternance jour/nuit avec un dessin ou des phrases.

Les évaluations QCM (Ei1 et Ei2) sont identiques et comportent huit questions différentes portant sur les points suivants :

- Explication de l'alternance jour/nuit,
- Sens et durée de la rotation de la Terre,
- Placement de l'axe de rotation passant par les pôles,
- Partie de la Terre éclairée par le Soleil,
- Différence d'heure en fonction de l'endroit où l'on se trouve sur Terre,
- Préviation : s'il fait nuit dans une ville avant une autre

Les deux QCM réalisés à la suite de chacune des deux séances d'apprentissage sont donnés aux élèves deux jours après celles-ci. Par ce choix nous ne voulons pas recueillir de données trop rapidement et laisser le temps aux élèves d'assimiler ce qu'ils viennent de voir.

L'évaluation se déroulant deux jours après (Es) est identique à la première évaluation (Ec).

Enfin, la dernière évaluation (E) comporte trois parties. La première est identique aux évaluations Es et Ec, la seconde est composée de deux exercices. Dans le premier exercice, les élèves doivent tracer la trajectoire du Soleil observée par un observateur terrestre et positionner le Soleil à un moment donné de la journée. Dans le dernier exercice, à l'aide d'un schéma représentant la Terre vue du pôle Nord, ils doivent trouver à quel moment de la journée se trouve un personnage représenté par un point. De plus, ils doivent colorier la partie de la Terre où il fait jour. La troisième partie de cette évaluation est le

questionnaire proposé aux élèves. Celui-ci permet de connaître leur avis et ressenti sur la séquence d'astronomie. Pour chaque question, une justification est demandée. Nous les interrogeons sur la séance qu'ils ont préférée ainsi que sur celle où ils pensent avoir le mieux compris. Nous leur demandons ensuite si d'après eux les deux séances étaient utiles, si oui quelle séance leur paraît plus judicieuse à mettre en place en premier et sinon quelle séance doit être réalisée.

Lors des entretiens, nous leur demandons s'ils ont apprécié la séance qu'ils viennent de faire et ce qu'ils ont retenu de celle-ci. Nous leur posons également deux questions identiques à celles du questionnaire de la dernière évaluation (E) : "Quelle séance as-tu préférée ?" et "Dans quelle séance penses-tu avoir le mieux compris ?". Nous attendons des élèves une justification pour chaque question.

D. Simulation numérique

La séance avec les ordinateurs utilise deux logiciels de simulation présentés dans le cadrage théorique : Stellarium et Celestia. Les deux logiciels gratuits sont facilement accessibles pour les enseignants. La séance sur la modélisation avec simulation numérique est réalisée avec la moitié de la classe (groupe A puis groupe B) et est divisée en deux parties d'une heure chacune. La première heure utilise le logiciel Stellarium et la seconde le logiciel Celestia. Les élèves sont en binôme avec un ordinateur. En effet, nous avons huit ordinateurs à disposition et les groupes comportent chacun une quinzaine d'élèves. Cette séance doit permettre d'atteindre les trois objectifs suivants : observer et décrire différents types de mouvements ; comprendre l'alternance jour/nuit sur notre planète ; simuler un phénomène avec un logiciel adapté.

Pendant toute la séance, les élèves ont chacun une fiche de suivi (annexe 8) qu'ils remplissent au fur et à mesure de la séance. Celle-ci comporte deux parties, chacune portant sur un des logiciels. Dans la première question sur le logiciel Stellarium, les élèves décrivent le mouvement apparent du Soleil et des étoiles. La seconde question se focalise sur les différents fuseaux horaires en fonction de la localisation de l'observateur. Les élèves doivent se placer sur différentes villes du monde et noter l'heure sur la fiche de suivi. Cette question permet de comprendre que l'heure n'est pas la même au même moment à différents endroits de la Terre et qu'il peut faire jour dans une ville et nuit dans une autre. Les questions 3 et 4 portent sur les pôles et permettent de constater l'une des conséquences de l'inclinaison de

l'axe par rapport au plan de l'écliptique et ainsi d'introduire la notion d'axe de rotation. La dernière question permet de prévoir à l'aide du logiciel à quelle heure se couche le Soleil. La seconde partie sur le logiciel Celestia comporte quatre questions. Dans la première question, les élèves accélèrent le temps et doivent trouver à quelle heure il fait nuit dans une ville. Cette question permet de voir le mouvement de la Terre vue d'un observateur extérieur. La seconde question se concentre sur les pôles et sert à expliquer ce que les élèves ont remarqué avec Stellarium. La question suivante permet de placer l'axe de rotation et d'indiquer le sens de rotation de la Terre à l'aide du logiciel Celestia. Enfin, la dernière question est une prévision pour savoir s'il fait nuit dans une ville avant une autre.

La séance se divise en 6 étapes distinctes :

La première étape est un rappel de l'objectif de la séquence, c'est-à-dire l'étude de l'alternance jour/nuit. Le type d'activité mis en place pendant la séance y est présenté brièvement. La première étape se termine par la distribution d'un ordinateur portable par binôme.

La deuxième étape consiste en l'introduction du logiciel Stellarium. Les élèves découvrent le logiciel et le prennent en main grâce à des manipulations simples : se placer à un endroit donné sur le globe terrestre à une date précise, faire défiler le temps, etc. Ces manipulations leur permettent de se familiariser avec les touches et les icônes des interfaces. Nous aiguillons les élèves avec notre propre interface projetée sur le TBI. Cette étape a pour objectif la prise en main du logiciel ainsi que sa découverte.

Pendant la troisième étape, les élèves manipulent le logiciel Stellarium en s'aidant de la fiche de suivi qu'ils remplissent au fur et à mesure. Cette étape leur permet «d'observer» l'alternance jour/nuit dans un référentiel terrestre à des lieux et dates différents. Ils procèdent ainsi à un recueil de données. L'activité se déroule en autonomie, mais nous restons présentes en cas d'éventuelles difficultés. Des corrections intermédiaires sont réalisées lorsque tous les élèves ont répondu à une question afin que des groupes ne soient pas en difficulté et puissent continuer l'activité. Avant de passer au logiciel suivant, un bilan collectif sur le logiciel est réalisé pendant lequel les élèves expliquent ce qu'ils ont observé à l'aide de Stellarium. En effet, ce premier bilan sur le phénomène leur sera utile lors des simulations avec le logiciel suivant. Après le bilan, les ordinateurs sont éteints, ils seront réutilisés l'après-midi avec le second logiciel de simulation numérique.

La quatrième étape est analogue à la deuxième et permet l'introduction du second logiciel, Celestia. Les élèves découvrent et prennent en main le logiciel grâce à des manipulations simples.

La cinquième étape est semblable à la troisième, elle a pour but d'observer l'alternance jour/nuit d'un point de vue extérieur de la Terre avec le logiciel Celestia. Cette étape fait suite à la découverte et manipulation du logiciel. Les élèves devront confronter les données recherchées dans les deux logiciels. De plus, ils prévoient des faits qui seront ensuite observés à l'aide de Celestia. Tout comme la troisième phase, un bilan termine cette cinquième phase. Pendant ce dernier, les élèves expliquent le phénomène en se basant sur les simulations numériques ainsi que sur leurs prévisions.

La sixième étape constitue l'institutionnalisation et permet la création de la trace écrite. Cette phase est identique à celle réalisée dans l'autre groupe au même moment. Pour le premier groupe qui utilise la simulation numérique (groupe A), il s'agit d'un texte à trous (annexe 9) complété par les élèves et collé dans le cahier à la suite de la fiche de suivi. Pour le second groupe (groupe B), il s'agit d'un schéma (annexe 9) réalisé par les élèves expliquant l'alternance jour/nuit. Le schéma regroupe tous les éléments vus lors des séances : rotation de la Terre sur elle-même, sens de rotation, délimitation jour/nuit et le placement de l'axe passant par les pôles. Les élèves réfléchissent individuellement au schéma sur leur cahier. Puis, celui-ci est réalisé en collectif lors de la mise en commun. Le texte à trous reprend les caractéristiques du phénomène : durée de rotation, sens de rotation, axe de rotation. Nous avons choisi de réaliser la même trace pour les deux groupes au même moment pour que celle-ci n'influence pas la comparaison des deux séances. Nos deux séances ne s'effectuent pas avec les mêmes outils, néanmoins nous souhaitons garder le plus de similitudes possible entre les savoirs enseignés. Le déroulement des deux séances doit être semblable, y compris la dernière étape qui concerne la trace écrite. De ce fait, une question dans la fiche de suivi en simulation (annexe 10) peut correspondre à une manipulation en modélisation.

De plus, nous choisissons un texte à trous et un schéma pour varier le type de trace écrite car certains élèves sont plus à l'aise avec des schémas et d'autres avec les textes.

Tout au long de la séance, notre rôle est de veiller à ce que les élèves n'aient aucune difficulté dans la compréhension des logiciels afin qu'ils puissent eux-mêmes les manipuler.

E. Modélisation avec des objets matériels

Pour la séance de modélisation avec des objets matériels, nous procédons en cinq étapes. La séance dure une heure et est réalisée avec un groupe de 15 élèves (groupe B puis

groupe A). Les objectifs de cette séance concernent la compréhension de l'alternance jour/nuit et la modélisation d'un phénomène grâce à des objets matériels (boule de polystyrène et lampe torche). Lors de cette séance, les élèves construisent un modèle en binôme. Pour cela, ils emploient la méthodologie de construction d'un modèle (Robichon, 2021). Les élèves doivent comprendre le phénomène de l'alternance jour/nuit vu par un observateur terrestre en testant les hypothèses recueillies lors des conceptions initiales. Les trois modèles expliquant l'alternance jour/nuit sont testés pendant cette séance : la rotation de la Terre autour du Soleil, la rotation de la Terre sur elle-même et la rotation du Soleil autour de la Terre. Une recherche documentaire permet ensuite de sélectionner le « bon modèle ». Le modèle de la terre qui tourne sur elle-même modélisé par les élèves (boule et lampe) est ensuite complété par de nouveaux paramètres, tels que le sens de rotation et l'inclinaison de l'axe de rotation sur le plan de l'écliptique. Finalement, ce modèle permet de prévoir des phénomènes, par exemple prévoir dans quelle ville il fera jour en premier entre une ville aux États-Unis et une ville en France.

La première étape de la séance consiste en un rappel oral du thème étudié, c'est-à-dire l'alternance jour/nuit. Nous présentons ce qui est réalisé pendant la séance, à savoir un modèle avec objets matériels pour comprendre le phénomène.

Une fiche de suivi (annexe 4) est distribuée aux élèves. Elle contient plusieurs questions auxquelles les élèves doivent répondre durant la séance. La première question est destinée à recueillir leur conception sur l'alternance jour/nuit. Cette question permet aux élèves d'avoir la trace écrite de leur conception avant le début de la séance. Ainsi, en fin de séance ils pourront observer un écart ou non entre ce qu'ils pensaient et ce qui est correct. La deuxième question leur demande de schématiser les trois expériences testées sur l'alternance jour/nuit soit les trois hypothèses. Dans la troisième question, ils doivent inscrire le modèle correct trouvé lors de la recherche documentaire. La quatrième question se compose d'un globe à compléter et d'un texte à trous. Il faut placer les points cardinaux sur le schéma représentant la Terre et dessiner une flèche qui montre le sens de rotation de la Terre. Avec toutes ses informations et les expérimentations faites, il faut ensuite remplir le texte à trous pour indiquer que le soleil se lève vers l'est et se couche vers l'ouest. Enfin, la cinquième question est destinée à représenter sur un globe vide face au soleil les deux pôles et l'axe de rotation. Les élèves remplissent la fiche au fur et à mesure des étapes. Le matériel (balle en polystyrène, lampe torche et cure-dent) se trouve devant eux au centre de la table.

La deuxième étape est destinée à tester les trois hypothèses qui permettraient d'expliquer l'alternance du jour et de la nuit. Les trois hypothèses qui doivent émerger du recueil de conception sont les suivantes :

- 1- La Terre tourne autour du Soleil en 24h sans rotation sur elle-même.
- 2- Le Soleil tourne autour de la Terre qui est fixe en 24h.
- 3- La Terre tourne sur elle-même en 24h.

Si les élèves n'énoncent pas une ou plusieurs de ces trois hypothèses dans le recueil de conception initiale, alors une image, qui présente un ou plusieurs personnages donnant chacun la ou les hypothèses manquantes sur le phénomène, est présentée. À ce moment-là, les élèves manipulent une boule de polystyrène avec un cure-dent ou une punaise et une lampe torche. Chacun des binômes constate alors que les trois hypothèses peuvent expliquer le phénomène.

Nous leur faisons par conséquent remarquer qu'une seule de ces hypothèses est responsable de l'alternance jour/nuit. En effet, il y a des centaines d'années, des scientifiques tels que Galilée ou Copernic ont cherché de nombreux arguments pour prouver quelle hypothèse explique ce phénomène. Pour trouver laquelle, les élèves doivent réaliser une recherche documentaire individuelle avec des documents fournis. Les documents sont des articles de revues de jeunesse qui expliquent l'alternance du jour et de la nuit. Cette recherche documentaire constitue la troisième étape et permet de réfuter deux des modèles construits pendant l'étape 2.

La quatrième étape est dédiée à la manipulation et à l'enrichissement du modèle. Dans un premier temps, les élèves doivent trouver le sens de rotation de la Terre. En déterminant les positions du Soleil par rapport à la Terre selon des placements statiques (lever, coucher et culmination du soleil), les élèves ont plus de facilités pour déterminer le sens de rotation de la Terre (Merle, 1999). Pour cela, les élèves ont dans leurs documents donnés précédemment une phrase qui explique que le soleil se lève vers l'est et se couche vers l'ouest. Ils manipulent alors leur modèle, c'est-à-dire la boule de polystyrène, avec dessus un cure-dents pour repérer un endroit fixe et la lampe torche. En faisant tourner la boule dans le sens contraire des aiguilles d'une montre, ils modélisent le sens de rotation de la Terre ainsi que le phénomène observable par un observateur terrestre : le soleil se lève vers l'est et se couche vers l'ouest. Une fois le sens de rotation assimilé, les élèves placent deux punaises représentant une ville chacune, et en déduisent pour laquelle il fera nuit en premier. Par conséquent, ce modèle réalisé avec des objets matériels permet de prévoir des phénomènes observables.

Enfin, les élèves doivent pouvoir orienter l'axe de rotation de la Terre sur leur boule. Pour cela, nous leur donnons la situation suivante : « *Du 1er mai au 3 août, le soleil ne se lève pas au Pôle Sud et ne se couche pas au Pôle Nord. Trouvez où se situe l'axe de rotation de la Terre pour que le phénomène énoncé se produise* ». Les élèves doivent dans un premier temps situer les pôles sur leur boule. Puis, le pic à brochette représentant l'axe de rotation doit relier les deux pôles. La boule est ensuite placée face à la lampe et inclinée par rapport au plan de l'écliptique. Pour vérifier que la notion est bien acquise et que le modèle est bien maîtrisé, une question semblable à la manipulation précédente leur est posée. Les élèves doivent déterminer laquelle des deux villes sera dans la nuit en premier, sachant que cette fois-ci les deux punaises sont plantées l'une en dessous de l'autre verticalement. Ainsi le modèle permet après modification de prévoir des phénomènes observables.

À la fin de la séance, la cinquième étape permet de réaliser une trace écrite. Celle-ci est expliquée dans la partie sur la simulation numérique (page 20), c'est-à-dire un texte à trous (annexe 5) en fin de première séance avec le groupe B et un schéma expliquant l'alternance jour/nuit en fin de séance 2 pour le groupe A.

Nous accompagnons les élèves tout au long de chaque étape dans leur démarche d'investigation. Notre rôle est de veiller à la bonne compréhension du phénomène, en les questionnant et en répondant à leurs interrogations. Les élèves quant à eux sont libres d'exprimer leurs questionnements et de solliciter de l'aide même si les manipulations prévues peuvent être réalisées en autonomie.

IV. Analyse et résultats

Pour exploiter nos résultats, nous les avons transcrits dans plusieurs tableaux et nous avons construit différents graphiques permettant de réaliser les comparaisons entre les deux groupes. Dans les tableaux, les résultats sont donnés sous la forme d'un pourcentage ainsi que d'un quotient représentant le nombre de réponses correctes sur le nombre total d'élèves du groupe ou de la classe.

Les conceptions initiales (Ec) et les évaluations finales (Es et E) sont sous forme de dessins ou phrases explicatives, alors que les évaluations inter-séances (Ei 1 et Ei 2) sont des questionnaires. Nous ne pouvons donc pas comparer directement les deux évaluations puisque nous ne demandons pas les mêmes choses. En effet, notre QCM comporte des questions plus précises sur le phénomène. Cependant la première question du QCM concerne l'alternance jour/nuit. Les élèves doivent choisir entre quatre propositions correspondant à

leurs hypothèses de départ recueillies lors de l'évaluation diagnostique (Ec). C'est de cette manière que nous comparons les conceptions des élèves avec cette première question. Dans les conceptions nous prenons uniquement en compte la justification du phénomène : la Terre tourne sur elle-même.

A. Analyse a posteriori du déroulement de la séquence

- **Différences entre les deux séances**

Les deux séances, celle de simulation numérique et celle avec des objets matériels ont été conçues pour viser les mêmes apprentissages : l'explication de l'alternance jour/nuit. Cependant, il y a plusieurs différences entre ces deux séances.

Tout d'abord, la simulation est abordée avec des situations plus concrètes que la modélisation. En effet, la simulation numérique montre le placement du soleil dans le ciel à une heure et une localisation donnée (par exemple le 4 avril 2022 à 15h00 à Paris). Nous demandions de déterminer l'heure du coucher du soleil à une date précise. Avec la modélisation, cette précision n'est pas possible. Le cure-dent représentant un point sur la Terre est placé sur la boule aléatoirement et il n'est pas possible de prévoir l'heure à laquelle il fera nuit avec la même exactitude que la simulation numérique.

Aussi, le modèle de l'alternance jour/nuit est déjà construit dans le cas de la simulation numérique alors qu'il est élaboré lors de la séance de modélisation avec les objets matériels. Lors de la modélisation, les élèves font des hypothèses pour expliquer un phénomène observable ce qui les amène à créer un modèle. Celui-ci est ensuite manipulé et amélioré. Alors que lors de la simulation numérique, le modèle est déjà présent dans les logiciels et les élèves le manipulent pour étudier une de ses conséquences : l'alternance jour/nuit. Il est en effet impossible de changer le modèle présent dans les logiciels de simulation.

Ensuite, les supports utilisés ne sont pas identiques. Pour la modélisation, les supports sont les balles en polystyrène, les pics et les lampes torches. Ceux-ci sont matériels et les élèves sont amenés à les toucher et à les manipuler directement. Pour la simulation, les supports sont des logiciels de simulation. Ils sont dématérialisés et les élèves interagissent avec eux à l'aide de l'ordinateur.

- **Analyse de chaque séance et des tests**

Il est impossible de passer outre quelques imprévus lors de séances en classe. Dans chacune de nos séances et avec les deux groupes, nous avons dû faire face à des imprévus qui ont entraîné quelques modifications. Certains de ces changements peuvent avoir un impact sur les résultats.

Lors de la séance avec les simulations numériques, les étapes 1 à 3 ont été réalisées la matinée et les étapes 4 à 6 l'après-midi. Ce découpage est dû à la durée de la séance et au laps de temps réduit dont nous disposions pour réaliser notre étude sur le terrain. Par ailleurs, pour le premier groupe, à cause d'un problème technique en lien avec le vidéo projecteur et l'ordinateur de la classe, les élèves ont eu une phase de découverte libre des logiciels avant la séance. Cette phase a été largement raccourcie pour le second groupe.

Le principal problème rencontré dans la séance sur la modélisation est le dispositif et l'utilisation du matériel. Les élèves étaient dans une salle adjacente à la classe et positionnés sur des tables groupées formant un carré. Ils n'étaient pas espacés et cela a eu pour conséquence du bavardage et de l'agitation. Cela est dû en partie par le fait qu'il a fallu observer chaque binôme pour qu'il nous montre sa réponse avec son modèle et lui expliquer en cas d'erreur. Quant aux matériels, ceux-ci avaient déjà été utilisés, les boules de polystyrène comportaient des trous et des dessins représentant les points cardinaux ou les pôles. Pour les élèves, lorsqu'il fallait dessiner les pôles ou placer le pic représentant l'axe, il leur était difficile d'en faire abstraction. Les élèves devaient faire tourner leur boule avec les mains ce qui n'était pas pratique et cela les empêchait de bien observer le modèle. Lorsque le pic a été rajouté pour modéliser l'axe de rotation, ce système de rotation a également posé problème. En effet, spontanément ils utilisaient le pic pour faire tourner la boule. Le problème engendré est qu'ils la faisaient tourner sur un axe perpendiculaire au sol alors qu'il fallait que l'axe soit penché.

B. Analyse des résultats

a) Les conceptions initiales

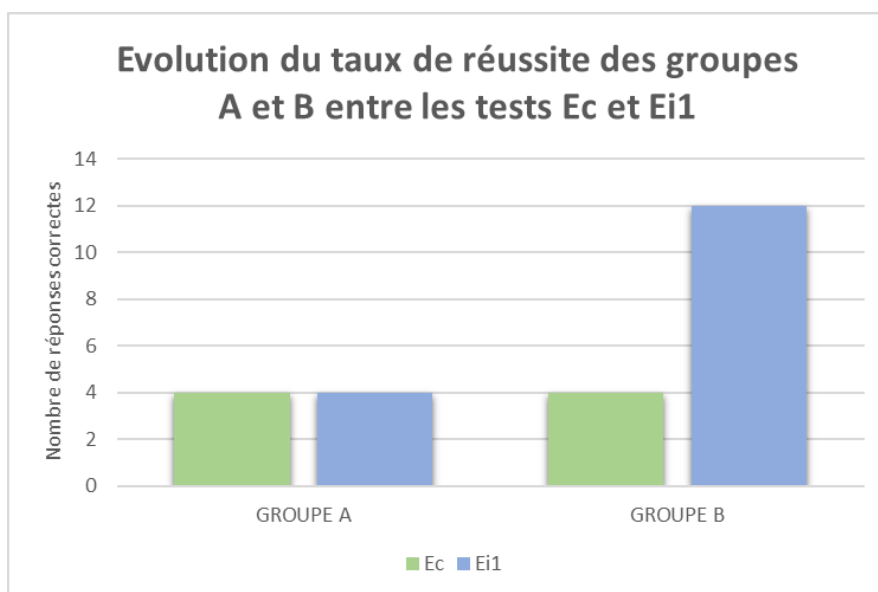
Dans notre étude, le recueil de conceptions a servi à établir les hypothèses à tester sur l'alternance du jour et de la nuit pour la suite des séances. En outre, elles nous ont permis d'avoir un premier recueil de données, qui servira de comparaison avec la suite des évaluations. La classe comportait lors du recueil de conceptions 31 élèves. Les résultats de

cette évaluation diagnostique sont les suivants : la Terre tourne (8/31), la Terre tourne sur elle-même (8/31), la Terre tourne autour du Soleil (4/31), la Terre et le Soleil tournent (4/31), le Soleil tourne autour de la Terre (2/31), la Lune est responsable de la nuit (5/31).

Afin de comparer l'évolution de l'acquisition des savoirs selon les deux procédures, nous avons réparti les élèves de sorte que le taux de réussite à la première évaluation soit identique pour chaque groupe. De plus, chaque groupe contient des élèves possédant des conceptions différentes. Nous obtenons pour nos conceptions initiales un taux de réponses correctes de 31% (4/13) pour le groupe A et de 29% (4/14) pour le groupe B.

b) L'impact des séances de modélisation avec des objets matériels et avec simulation numérique sur l'acquisition des savoirs

Nous cherchons l'impact des deux séances sur l'acquisition des savoirs. Pour cela, nous comparons les données issues des évaluations Ei1 avec les conceptions initiales des élèves (Ec). Nous choisissons de comparer le taux de réponses correctes pour la première question de Ei1 avec les conceptions initiales. Le graphique suivant montre pour chaque groupe l'évolution du nombre de réponses correctes entre Ec et Ei1.



Graphique 1

Nous observons une première évolution de nos réponses correctes pour le groupe B après ce premier QCM sur la question 1. Le groupe B passe à un taux de réussite de 80% (12/15), cependant après sa séance sur la simulation le groupe A garde un faible taux de réussite soit de 29% (4/14). La séance de simulation (groupe A) ne semble pas avoir eu

d'impact sur les conceptions des élèves concernant le phénomène. La séance avec modélisation (groupe B) a quant à elle permis d'obtenir un meilleur taux de réussite à la question 1 du QCM.

c) Comparaison de l'avancée des connaissances des deux séances

Pour comparer l'avancée des connaissances des deux séances, nous confrontons le taux de réponses correctes ou erronées des évaluations E11 pour les deux séances.

Le groupe A possède un taux de réussite de 29% (4/14) pour le premier test et le groupe B un taux de réussite de 80% (12/15). Au vu de ces résultats, il semblerait que la séance avec modélisation ait permis une meilleure avancée des connaissances.

Les résultats sont représentés dans le tableau ci-dessous, pour chaque question, le pourcentage et le rapport représentent le taux de réussite à cette dernière.

	Q1	Q2	Q3A	Q3B	Q3C	Q3D	Q3E	Q3F
Gr. A	29% (4/14)	0% (0/14)	93% (13/14)	7% (1/14)	100% (14/14)	93% (13/14)	93% (13/14)	71% (10/14)
Gr. B	80% (12/15)	0% (0/15)	80% (12/15)	20% (3/15)	87% (13/15)	100% (15/15)	93% (14/15)	60% (9/15)

Avec :

Q1 : l'explication de l'alternance jour/nuit

Q2 : séparation jour/nuit

Q3A : la durée de rotation de la Terre

Q3B : le placement de l'axe de rotation passant par les pôles

Q3C : le sens de rotation de la Terre

Q3D : la partie de la Terre éclairée par le Soleil

Q3E : la différence d'heure en fonction de l'endroit où l'on se trouve sur Terre

Q3F : la prévision (s'il fait nuit dans une ville avant une autre)

Le taux de réussite à la question Q2 est pour les deux groupes de 0%. Ce résultat est probablement dû soit à une mauvaise rédaction de la question soit à une difficulté à laquelle les élèves ont été confrontés. Nous voulions qu'ils colorient la partie jour et nuit de la Terre placée face au Soleil et nous avons placé l'axe de rotation. Les élèves ont colorié les deux parties en prenant pour délimitation l'axe de rotation alors que nous voulions qu'ils tracent eux-mêmes la séparation jour/nuit. En effet, un des enjeux de l'alternance jour/nuit est de différencier les deux parties jour et nuit de l'axe de rotation.

La question 3B (placement de l'axe de rotation) n'a pas eu un taux de réussite très élevé. Avec l'impression des copies en noir et blanc, nous supposons que les élèves ne voyaient pas clairement les pôles sur le dessin.

Nous constatons que les questions 3A (durée de rotation de la Terre), 3C (sens de rotation de la Terre), 3D (délimitation jour/nuit) et 3E (différence d'heure en fonction de l'endroit où l'on se trouve sur Terre) ont été très bien réussies pour les deux groupes.

De plus, la question 3F (prévision) a été plus réussie pour le groupe A que pour le groupe B. Nous retrouvons une cohérence avec les réponses de la question 3C puisqu'on peut penser que c'est lié au fait qu'il faut connaître le sens de rotation de la Terre pour répondre à la question 3F. En effet, le taux de réussite pour la question 3C pour le groupe A est supérieur à celui pour le groupe B. En simulation, les élèves ont vu des cas plus concrets et semblent avoir mieux compris la prévision du phénomène.

Dans les résultats globaux, nous calculons le taux de réussite en prenant la moyenne des réponses correctes de toutes les questions du test. Ce taux de réussite est de 74% pour le groupe A et 69% pour le groupe B. Les taux de réussite sont assez élevés et relativement proches pour les deux groupes. A première vue, les deux groupes suivent une progression, cependant si l'on regarde le détail des réussites du test, les groupes suivent des évolutions contrastées selon les questions. Au vu de l'analyse des résultats de chaque question du test, il serait pertinent d'envisager la complémentarité des séances.

d) L'impact d'une seconde séance sur l'acquisition des savoirs

Afin de connaître les conséquences d'une deuxième séance pour chaque groupe, nous comparons pour chaque procédure les résultats des évaluations après les deux séances (Ei2) avec ceux des évaluations réalisées entre les séances (Ei1).

Groupe A	Q1	Q2	Q3A	Q3B	Q3C	Q3D	Q3E	Q3F
Ei1	29% (4/14)	0% (0/14)	93% (13/14)	7% (1/14)	100% (14/14)	93% (13/14)	93% (13/14)	71% (10/14)
Ei2	57% (8/14)	0% (0/14)	93% (13/14)	36% (5/14)	100% (14/14)	100% (14/14)	93% (13/14)	71% (10/14)

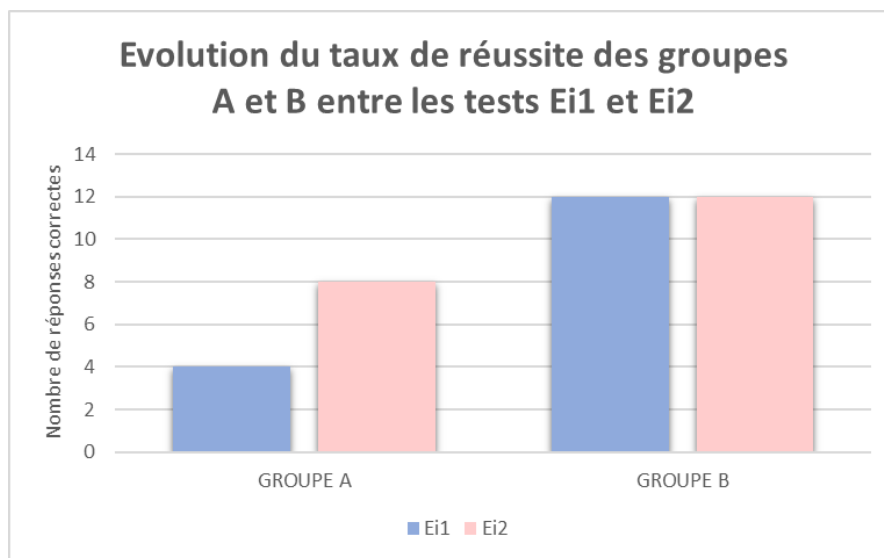
D'après les résultats des deux QCM pour le groupe A, on remarque que le nombre de réponses correctes double à la question 1. Pour la question 3B, le groupe passe d'un à cinq élèves ayant obtenu une réponse correcte. Les autres questions sont aussi bien réussies pour les deux QCM.

Groupe B	Q1	Q2	Q3A	Q3B	Q3C	Q3D	Q3E	Q3F
Ei1	87% (12/15)	0% (0/15)	80% (12/15)	20% (3/15)	87% (13/15)	100% (15/15)	93% (14/15)	60% (9/15)
Ei2	86% (12/14)	0% (0/14)	79% (11/14)	29% (4/14)	93% (13/14)	100% (14/14)	100% (14/14)	79% (11/14)

Pour le groupe B, nous constatons que les taux de réussite sont quasiment identiques pour Ei1 et Ei2. La question 3F est celle où le nombre de réponses correctes évolue le plus. Nous notons qu'il y a un élève en moins lors du second QCM ce qui modifie légèrement les pourcentages obtenus. Nous ne prêterons pas attention à ces fluctuations.

Après le constat des résultats de ces deux tableaux, nous pouvons affirmer que la séance avec modélisation permet de faire évoluer les conceptions des élèves sur le phénomène jour/nuit. De plus, comme nous l'avons observé antérieurement, la séance avec la modélisation ne semblerait pas être adaptée pour répondre à la question sur la prévision d'un phénomène réel. En effet, les résultats de la question 3F du test Ei2 pour les deux groupes le confirment. Le taux de réussite du groupe A (modélisation en séance 2) reste inchangé, alors que pour le groupe B (simulation en séance 2) il augmente légèrement.

Afin de savoir si une procédure permet une meilleure acquisition des connaissances, nous comparons l'évolution des taux de réussite des deux groupes entre les tests Ei1 et Ei2. Nous réalisons ainsi un graphique représentant le nombre de réponses correctes pour chaque groupe pour la question 1 (explication de l'alternance jour/nuit).



Graphique 2

D'après ce graphique nous observons une évolution du groupe A sur la question 1, alors que le groupe B n'évolue pas. Après le test Ei1 le groupe A a suivi la séance sur la modélisation et cela l'a fait progresser. Nous remarquons cependant que l'évolution après la séance de modélisation n'est pas la même entre les deux groupes. Le nombre de réponses correctes du groupe B a triplé entre Ec et Ei1 d'après le graphique 1 (passage de 4 à 12 élèves) alors que celui du groupe A a doublé d'après le graphique 2 (passage de 4 à 8 élèves). La séance avec la simulation faite antérieurement avec le groupe A pourrait influencer ces résultats. Le groupe B n'a pas évolué entre Ei1 et Ei2 tout comme le groupe A n'avait pas évolué entre Ec et Ei1 suite à la séance avec la simulation. Nous pouvons en conclure qu'au cours des deux séances (modélisation et simulation) la modélisation permet davantage aux élèves de faire évoluer leur conception plutôt que la séance avec la simulation.

e) L'impact des deux procédures testées sur l'acquisition des savoirs à court et moyen terme

Dans le but d'identifier si un des groupes a acquis davantage de savoirs au cours de la séquence, nous comparons les résultats des évaluations sommatives pour les deux procédures sur court terme (Es) et sur moyen terme (E).

- **Evaluation Es**

Lors de l'évaluation E, les élèves devaient décrire leurs conceptions finales avec un dessin ou un texte. Dans le groupe A, 12 élèves sur 14 (86%) ont indiqué que l'alternance jour/nuit était la conséquence de la rotation de la Terre sur elle-même. Dans le groupe B, nous notons des réponses similaires puisque 13 élèves sur 14 (93%) ont correctement expliqué le phénomène. Nous constatons que les résultats du groupe A ont continué à augmenter linéairement à la suite des évaluations Ei1 et Ei2.

- **Evaluation E**

Le premier exercice de l'évaluation E est identique à celui de l'évaluation Es. Dans le groupe A, 10 élèves sur 14 (71%) et dans le groupe B, 9 élèves sur 13 (69%) ont indiqué que la Terre tourne sur elle-même. Les résultats sont similaires pour les deux groupes néanmoins ils ont tous les deux diminués par rapport aux résultats de l'évaluation E. Lors de cette évaluation, nous constatons qu'il ne reste que 2 élèves du groupe classe qui expliquent la nuit avec la présence de la Lune alors qu'ils étaient 5 au début de la séquence.

Dans le second exercice, les élèves devaient dessiner la trajectoire du Soleil vue par un observateur terrestre et placer le Soleil sur celle-ci lorsque nous sommes l'après-midi.

Second exercice	Trajectoire du Soleil correct	Sens correct (est vers ouest)	Placement correct du Soleil l'après-midi	Tous les éléments
Gr. A	76% (11/14)	36% (5/14)	50% (7/14)	29% (4/14)
Gr. B	85% (11/13)	46% (6/13)	38% (5/13)	31% (4/13)

Nous constatons que les taux de réussite des deux groupes sont presque identiques pour chaque élément de réponse. Dans les deux groupes, beaucoup d'élèves connaissent la trajectoire du Soleil dans le ciel observée depuis la Terre, mais peu savent où se lève et où se couche le Soleil. De ce fait, nous supposons qu'ils ne peuvent pas placer au bon endroit le Soleil l'après-midi parce qu'ils ont une mauvaise connaissance du sens de la course du Soleil.

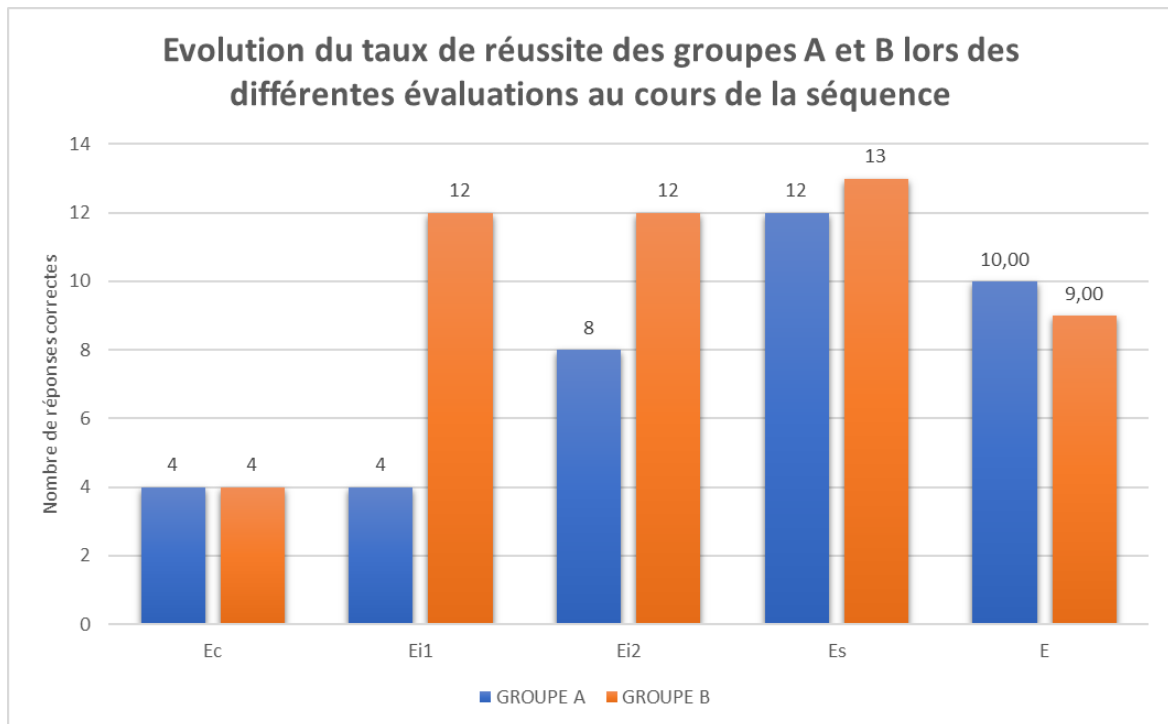
Le troisième exercice consistait à donner le moment de la journée du bonhomme situé sur le globe terrestre et de colorier la partie de la Terre éclairée par le Soleil. Cet exercice demandait la mobilisation de deux connaissances : le sens de rotation et la délimitation jour/nuit.

Troisième exercice	Moment de la journée correct	Partie de la Terre éclairée par le Soleil bien coloriée
Gr. A	14% (2/14)	64% (9/14)
Gr. B	38% (5/13)	77% (10/13)

Nous constatons une faible réussite des élèves lorsqu'il fallait donner le moment de la journée où se trouvait le bonhomme sur le globe. Cela est peut-être dû à une mauvaise compréhension du schéma (planète vue de face ou de profil et non vue du pôle nord comme indiqué sur le schéma). Les deux groupes obtiennent un taux de réussite similaire pour le tracé de la délimitation jour/nuit. La seconde partie de l'exercice a été mieux réussie par l'ensemble des élèves, même si ce taux de réussite est encore faible. Il est possible que certains élèves confondent l'axe de rotation et la délimitation jour/nuit comme nous avons pu l'observer dans les tests précédents.

f) Comparaison de l'évolution des savoirs des deux groupes lors de la séquence

Il est intéressant de comparer l'évolution des connaissances des deux groupes au fil de la séquence. Cette analyse nous permettra de déterminer quelle procédure a été la plus efficace pour acquérir les savoirs visés. Nous avons rassemblé dans le graphique suivant le taux de réussite lors des conceptions initiales (E_i) et de l'évaluation finale (E_s), ainsi que lors de la première question des évaluations inter-séances (E_{i1} et E_{i2}) et de l'évaluation finale après 30 jours (E).



Graphique 3

Ce graphique qui synthétise nos résultats nous indique que les conceptions des élèves du groupe A, n'ont pas évolué après la séance de simulation. Néanmoins, suite à la séance avec la modélisation le nombre de réponses correctes augmente. Lors de l'évaluation Es, les élèves ont su mobiliser davantage de connaissances pour répondre correctement à la question. Puis une légère baisse est observée lors de la dernière évaluation un mois après.

Les performances du groupe B ont augmenté ses connaissances après la séance sur la modélisation. Ces dernières étant déjà bien acquises pour l'ensemble du groupe, elles n'ont pas évolué après la séance sur la simulation et pour le test Es. Cependant, un mois après, le taux de connaissances a diminué.

Les deux groupes ont le même nombre de réponses correctes au début de la séquence (ce choix a été fait pour constituer des groupes équivalents). Nous constatons que le nombre d'élèves ayant répondu correctement à la fin de la séquence est similaire pour les deux groupes. Toutefois chaque groupe n'a pas évolué de la même manière pendant la séquence.

C. Avis des élèves

- **Entretiens**

Les élèves ont été soumis à des entretiens que nous avons enregistrés pour connaître leur avis sur cette séquence, leur préférence, leur ressenti vis-à-vis de nos choix.

Nous avons posé des questions à certains élèves (18 élèves) après les deux séances. Nous retenons les questions suivantes : “Quelle séance as-tu préférée ?” et “Dans quelle séance as-tu le mieux compris ?”. Lorsque leurs réponses concernaient les deux séances nous avons choisi de mettre l'élève dans les deux colonnes “simulation” et “modélisation”. Leurs réponses sont retranscrites dans le tableau suivant :

Questions posées	Quelle séance as-tu préférée ?		Dans quelle séance as-tu le mieux compris ?	
	modélisation	simulation	modélisation	simulation
Groupe A	40% (4/10)	70% (7/10)	80% (8/10)	60 % (6/10)
Groupe B	63% (5/8)	88% (7/8)	75% (6/8)	50 % (4/8)
Total	50% (9/18)	78% (14/18)	78% (14/18)	56% (10/18)

Nous demandions aux élèves de justifier leurs réponses pour la première question. Voici certaines réponses :

Préférence “simulation”

- “les ordinateurs on n’en fait jamais à l’école.”
- “avec les ordinateurs j’ai bien aimé les applications et les systèmes informatiques. J’aime bien les ordinateurs.”
- “celle avec les ordinateurs m’a appris à utiliser deux logiciels.”

Préférence “modélisation”

- “avec les lampes on a vu comment le soleil faisait et j’ai bien aimé.”

Des élèves ont indiqué que la séance avec la modélisation était plus bruyante et qu’ils avaient donc préféré celle avec la simulation.

D’après leurs réponses nous constatons que la majorité des élèves a préféré la simulation, principalement grâce à l’utilisation des ordinateurs qu’ils ont appréciée. En revanche, la plupart déclarent avoir compris davantage en modélisation. Nous remarquons une cohérence entre leurs résultats de tests et leur réponse lors de l’entretien. En effet, ils déclarent avoir mieux compris avec la modélisation, c’est aussi dans les tests suivant cette séance que le taux de réponses correctes est plus élevé, comparé à celui des tests suivant la simulation.

● **Questionnaires**

Les questionnaires sont présents dans l'évaluation E. Ils permettent de connaître l'intérêt des élèves pour les deux séances ainsi que de recueillir leur avis sur les deux procédures possibles (modélisation puis simulation numérique ou simulation numérique puis modélisation). Concernant les réponses aux deux premières questions, si les deux propositions étaient choisies nous avons mis l'élève dans les deux colonnes "simulation" et "modélisation". Avant de choisir quelle séance réaliser en premier, nous avons demandé aux élèves s'il était utile de réaliser les deux séances. 96% (26 élèves sur 27) des élèves soutiennent que les deux séances sont utiles pour cette séquence d'astronomie. Parmi ces élèves 19% (4 élèves sur 26) n'ont pas de préférence sur le choix de la séance qu'il faut réaliser en premier. Dans le tableau, nous donnons uniquement les réponses des élèves qui préfèrent un ordre donné. Les réponses de nos élèves sont rassemblées dans le tableau suivant :

Questions posées	Quelle séance as-tu préférée ?		Dans quelle séance as-tu le mieux compris ?		Quelle séance penses-tu qu'il faut faire en premier ?	
	modélisation	simulation	modélisation	simulation	modélisation	simulation
Groupe A	57% (8/14)	86% (12/14)	71% (10/14)	36% (5/14)	58% (7/12)	42% (5/12)
Groupe B	38% (5/13)	92% (12/13)	69% (9/13)	54% (7/13)	90% (9/10)	10% (1/10)
Total	48% (13/27)	89% (24/27)	70% (19/27)	44% (12/27)	73% (16/22)	27% (6/22)

Les résultats sont cohérents avec ceux de l'entretien et les différences de pourcentages s'expliquent par le fait que nous avons interrogé moins d'élèves à l'entretien alors qu'ils ont tous fait le questionnaire dans l'évaluation. Dans les deux groupes, les élèves ont préféré la simulation mais pensent avoir mieux appris avec la modélisation.

D'après les réponses des élèves pour la troisième question, on remarque que c'est la séance avec la modélisation qu'il faut mettre en place en premier.

➤ Nous avons relevé les justifications de certains élèves pour la première question :

Préférence "simulation"

- "car tu pouvais manipuler le Soleil, savoir quelle heure il faisait dans le monde quand tu mettais l'heure qu'il était..."

Préférence "modélisation"

- "car j'ai appris le plus de choses."

Dans l'ensemble les élèves déclarent préférer davantage la séance avec la simulation. Leur justification s'explique principalement par le fait que les logiciels se prêtaient mieux à l'observation du phénomène puisqu'ils avaient une représentation numérique du Soleil et de la Terre. De plus, cette simulation était concrète car les événements à une date et une heure données étaient les mêmes que dans la vie réelle.

➤ Nous avons relevé les justifications de certains élèves pour la deuxième question :

Meilleure compréhension en "simulation"

- "j'ai pu voir comment le Soleil avance au fil des heures"
- "car les ordinateurs avaient plus d'informations précises"

Meilleure compréhension en "modélisation"

- "observer, faire des expériences, c'est plus facile à comprendre"
- "parce que j'ai appris beaucoup de choses"

Dans l'ensemble les élèves déclarent avoir mieux appris avec la séance de modélisation car la manipulation les aiderait à comprendre. Cette séance leur a paru aussi plus simple et la quantité de savoirs appris semble supérieure.

➤ Nous avons relevé les justifications de certains élèves pour la troisième question :

Séance "simulation" en premier

- "comme ça on voit bien le Soleil et l'alternance jour/nuit"
- "parce qu'avec les ordinateurs on apprend et avec les boules, ça nous explique pourquoi"

Séance "modélisation" en premier

- "les boules pour comprendre au début et l'ordinateur pour voir ce qu'il se passe"
- "parce que tu comprends avant de manipuler"

Dans l'ensemble les élèves trouvent plus pertinent de réaliser la séance avec la modélisation en amont de celle avec la simulation car ils considèrent qu'il est plus judicieux de comprendre le phénomène avec la modélisation puis de l'observer avec la simulation.

Conclusion

Dans ce mémoire, nous avons questionné la pertinence d'utiliser une simulation numérique et une modélisation avec des objets matériels pour favoriser les apprentissages des élèves en astronomie. Chacune de nos études nous a permis de répondre à une de nos questions de recherches.

Nous remarquons que la séance avec la modélisation a permis de faire évoluer la conception du phénomène, ce qui n'a pas été le cas avec la simulation. Ainsi la modélisation permet l'acquisition des savoirs alors que la simulation semble ne pas avoir d'impact sur celle-ci.

D'après les résultats de nos tests, une majorité des questions au test E1 a été mieux réussie après une séance avec modélisation. Il ne faut cependant pas exclure que la simulation ait permis de répondre à certaines questions de manière efficace. Les deux séances permettent l'avancée des connaissances.

Nous pouvons conclure que les séances sont complémentaires en termes de connaissances. En effet, grâce à la simulation numérique les élèves peuvent mieux répondre à certaines questions (durée et sens de rotation de la Terre, prévision). La modélisation quant à elle serait plus efficace pour expliquer le phénomène et pour répondre à d'autres questions (placement de l'axe de rotation, partie de la Terre éclairée par le Soleil).

La modélisation donne plus d'explications sur l'alternance jour/nuit et ses notions alors que la simulation permet d'observer ce phénomène. Il serait donc plus efficace de réaliser une séance avec modélisation d'objets matériels en amont d'une simulation numérique.

Malgré le fait que notre étude nous ait permis de répondre au moins partiellement à nos questions de recherche, nous faisons face à certaines limites. Tout d'abord, notre effectif reste faible et donc peu représentatif. En effet, la différence entre les pourcentages peut souvent paraître significative alors que cela représente seulement 1 ou 2 élèves du groupe. Par ailleurs, il se peut que d'autres paramètres aient impacté nos résultats. Des questions ont sans doute été mal comprises par les élèves et des exercices présents dans les évaluations portaient sur des contenus qui n'avaient pas été abordés avec eux lors des séances. De plus, nous avons remarqué au cours de la séquence de légères erreurs ou incohérences, mais nous avons fait le choix de ne pas les corriger pour que les séances divergent le moins possible entre les deux groupes. Nous pouvons supposer également que certains élèves ont été frustrés par le fait que leurs conceptions ne soient pas discutées

(la Lune, lessaisons), ce qui les aurait empêchés de déconstruire leur modèle. Il est utile de préciser que nous faisons face à une contrainte de temps car nous avons dû réaliser la séquence pendant une courte période (deux semaines). Il serait intéressant de poursuivre cette étude sans cette contrainte, avec un effectif plus important et une meilleure anticipation.

Le travail lié à ce mémoire de recherche nous a apporté de nombreux atouts pour notre futur métier. Nous avons développé une meilleure analyse de nos séquences et de nos séances ce qui nous a permis d'identifier des pistes d'amélioration. L'analyse des évaluations nous a permis d'interpréter les procédures utilisées par les élèves. Cette interprétation a été complétée par l'observation des élèves en activité. Cela nous permettra d'analyser et d'interpréter les productions de nos élèves en fonction de leurs possibles procédures.

Suite aux entretiens et aux questionnaires, nous remarquons que les élèves préfèrent davantage utiliser des outils numériques. Ils apprécient l'utilisation de l'ordinateur qu'ils ne manipulent pas souvent et qui rend l'apprentissage plus ludique. Néanmoins, d'après nos recherches et nos résultats, le numérique ne doit pas remplacer les manipulations faites par les élèves avec des objets matériels mais doit être utilisé de manière complémentaire au sein de séances d'astronomie.

Les élèves semblent aussi apprécier la précision des logiciels numériques. En effet, les simulations permettent d'observer des phénomènes avec une précision semblable à ceux visibles (date, heure, lieu, etc.). La simulation permet de relever des informations par l'observation. Elle serait davantage au service de l'observation d'un phénomène plutôt que de son explication. Nous pouvons envisager une nouvelle piste de recherche sur l'utilisation des simulations numériques. Nous pourrions ainsi nous demander comment les logiciels de simulations numériques et leurs précisions peuvent être insérés dans une séquence d'astronomie pour rendre les apprentissages plus concrets.

Bibliographie

Allaire, G. (2005). *Analyse numérique et optimisation : une introduction à la modélisation mathématique et à la simulation numérique*. Editions Ecole Polytechnique.

Astolfi, J. P. & Peterfalvi, B. (1993). Obstacles et construction de situations didactiques en sciences expérimentales. *Aster*, 16(1), 103-141.

Aubouin, J., Kovalevsky, J., & Schatzman, E. (s. d.). *TERRE - La planète Terre*. Encyclopædia Universalis. Consulté le 29 avril 2022 sur <https://www.universalis.fr/encyclopedie/terre-la-planete-terre/>

Bächtold, M. (2012). Les fondements constructivistes de l'enseignement des sciences basé sur l'investigation. *Tréma*, 38, 6-39.

Bécu-Robinault, K. (2004). Raisonnements des élèves et sciences physiques. Dans E. Gentaz & P. Dessus (dir.), *Comprendre les apprentissages : sciences cognitives et éducation* (pp. 117-132). Paris : Dunod.

Blanquet, E., & Picholle, E. (2015). Premiers contacts avec la modélisation scientifique à l'école. Dans B. Amory & T. Evrard (dirs), *Les Modèles, des incontournables pour enseigner les sciences !* (pp. 45-55). De Boeck.

Boivin-Delpieu, G. (2020). Comparaison de situations d'enseignement et d'étude des mouvements de la Terre avec des objets tangibles et des objets numériques au cycle 3. *Éducation et didactique*, 14-3, 9-38.

Celestia : Home. (s. d.). Consulté le 19 octobre 2022, à l'adresse <https://celestia.space/>

CNRTL. (s. d.). Modèle. Dans *CNRTL*. <https://www.cnrtl.fr/definition/mod%C3%A8le>

CNRTL. (s. d.). Simulation. Dans *CNRTL*. <https://www.cnrtl.fr/definition/simulation>

Comment expliquer le mouvement du Soleil dans le ciel ? (s. d.). La Fondation La main à la pâte. Consulté le 2 mai 2022 sur

<https://fondation-lamap.org/sequence-d-activites/comment-expliquer-le-mouvement-du-soleil-dans-le-ciel>

Drouin, A. M. (1988). Le modèle en questions. *Aster*, 7(1), 1-20.

Fjeld, M., & Voegtli, B. (2002). Augmented Chemistry: an interactive educational workbench. Dans *Proceedings of the IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality* (ISMAR, 2002), 259-321. doi: 10.1109/ISMAR.2002.1115100.

France. Ministère de l'Éducation Nationale et de la jeunesse. (2015, 23, avril). BO n° 17. *Socle commun de connaissances, de compétences et de culture*. https://www.education.gouv.fr/bo/15/Hebdo17/MENE1506516D.htm?cid_bo=87834#socle_commune

France. Ministère de l'Éducation Nationale et de la jeunesse. (2020, 30, juillet). BO n° 31. *Programme d'enseignement du cycle de consolidation (cycle 3)*. <https://www.education.gouv.fr/media/70282/download>

France. Ministère de l'Éducation Nationale et de la jeunesse. (2020, novembre). *Sciences et technologie au cycle 3*. Eduscol. <https://eduscol.education.fr/265/sciences-et-technologie-au-cycle-3>

Gilbert, J. K. (2004). Models and Modelling : Routes to More Authentic Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 2(2), 115-130.

de Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research*, 68(2), 179-201.

Kahn, P. (2000) L'enseignement des sciences, de Ferry à l'éveil. *Aster*, 31, 9-35.

Larousse. (2018). *Le petit Larousse illustré : Édition limitée*.

Léna, P., Quéré, Y., & Salviat, B. (2009). *29 notions-clés pour savourer et faire savourer la science*. Le Pommier.

Merle, H., & Dusseau, J. M. (1996). Apprentissage du mouvement diurne de la Terre par des enfants âgés de 9 à 10 ans. *Didaskalia*, 9(1), 147-156.

Merle, H. (1999). Difficultés dans la conceptualisation du mouvement de rotation de la Terre sur elle-même/Analysis of the difficulties (experienced by primary school students) in the conceptual representation of the rotating motion of Earth on its own axis. *Didaskalia*, 14(1), 61-94.

Merle, H. & Girault, Y. (2003). L'enseignement de l'astronomie. *Aster*, 36, 3-14.

Pierrard, M. A. (1988). Modélisation et astronomie. *Aster*, 7(1), 91-102.

Rémy, G. (2020). Utilisation de logiciels de simulation des phénomènes astronomiques dans l'enseignement : Retour d'expérience sur l'utilisation d'un planétarium mobile avec le logiciel Stellarium. Dans E. Rollinde (dir.) *L'Astronomie pour l'Education dans l'Espace Francophone*. 274-278.

Robichon, N. (2020). La modélisation dans l'enseignement de l'astronomie. De la démarche scientifique à la modélisation (lien réel/théorie). Comment transposer dans les classes ? Une vision d'astronome. Dans E. Rollinde (dir.) *L'Astronomie pour l'Education dans l'Espace Francophone*. 293-301.

Roy, P., & Hasni, A. (2014). Les modèles et la modélisation vus par des enseignants de sciences et technologies du secondaire au Québec. *McGill Journal of Education/Revue des sciences de l'éducation de McGill*, 49(2), 349-371.

Stellarium Astronomy Software. (s. d.). Consulté le 19 octobre 2022, à l'adresse <https://stellarium.org/fr/>

Yen, J. C., Tsai, C. H., & Wu, M. (2013). Augmented Reality in the Higher Education : Students' Science Concept Learning and Academic Achievement in Astronomy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 103, 165-173.

ANNEXES

ANNEXE 1 : fiche de préparation de la séquence d'astronomie

Les mouvements de la Terre	
Domaine(s) : sciences et technologie	
Objectifs de la séquence : <ul style="list-style-type: none"> - décrire les mouvements de la Terre (rotation sur elle-même et alternance jour-nuit) - expliquer le mouvement apparent du Soleil 	
Cycle : 3 Niveau(x) de classe : CM2	Période de l'année scolaire : 5
Nombre de séances : 4 séances	Organisation de la classe : Deux groupes de 15 élèves
Évaluations : 5 évaluations Diagnostique en début de séquence Après la 2eme et 3eme séance Sommative après la séquence 1 mois plus tard	Matériel à prévoir : <ul style="list-style-type: none"> - ordinateur avec logiciel de simulation (Stellarium, Celestia) et souris - balles en polystyrène - pic à brochette/ cure dent - lampe torche - feutre/crayon de couleur - fiches de conception de départ (30) - fiches de test inter-séance 2 et 3 (60) - fiches de conception bilan (30) - fiche de suivi modélisation (30) - fiche de suivi simulation (30)
Pré-requis (séances précédentes) : <ul style="list-style-type: none"> - Séance sur les ombres avec utilisation du gnomon pour réaliser un relevé d'ombres sur une journée ou création d'un panorama du Soleil en une journée - Points Cardinaux 	

Séances	Objectifs/ compétences :	Activités de l'enseignant :	Activités de l'élève :
Séance 1 Evaluation diagnostique <i>Connaître les conceptions des élèves sur l'explication</i>	Proposer une ou des hypothèses pour répondre à une question	Distribution de la fiche sur les conceptions à compléter par les élèves. Laisser le temps à chaque élève de répondre.	Compléter la fiche sur les conceptions. Pendant le débat, donnent leurs hypothèses et justifient leur(s) choix.

<i>de l'alternance jour/nuit (hypothèses)</i>		Les fiches sont ramassées et court débat en classe pour sélectionner des hypothèses plausibles (le Soleil tourne autour de la Terre, la Terre tourne autour du Soleil...).	Rédaction commune d'hypothèses possibles qui seront vérifiées lors des séances 2 et 3.
Séance 2 / 3 Modélisation avec maquettes	Comprendre l'alternance jour/nuit, notion de rotation. Interpréter un résultat, en tirer une conclusion Observer et décrire différents types de mouvements Décrire les mouvements de la Terre (rotation sur elle-même et alternance jour/nuit)	Présentation du matériel, explication de la consigne, guider lors des activités, faire un bilan de la séance	Réaliser les activités en prenant soin du matériel.
Simulation	Simuler des phénomènes Observer et décrire différents types de mouvements Décrire les mouvements de la Terre (rotation sur elle-même et alternance jour/nuit)	Présentation des logiciels, explication des consignes. Distribution fiche de suivi.	Réaliser les activités sur les logiciels, remplir la fiche de suivi.
Séance 4 Evaluation sommative	Expliquer un phénomène à l'écrit	Distribution de la fiche sur les conceptions à compléter par les élèves. Laisser le temps à chaque élève de répondre.	Compléter la fiche sur les conceptions.

ANNEXE 2 : Fiche de préparation de la séance avec simulation numérique

La simulation

Niveau : CM2 (cycle 3)	Discipline : Sciences et technologie	Sous-discipline : La planète Terre
Date : période 5	Dispositif : demi - groupe	Séquence : Les mouvements de la Terre
Compétences : <ul style="list-style-type: none"> - Décrire les mouvements de la Terre (rotation sur elle-même et alternance jour-nuit) - Les mouvements de la Terre sur elle-même - Utiliser des outils numériques pour simuler des phénomènes 		Matériel : <ul style="list-style-type: none"> → un ordinateur par binôme → une souris par binôme → logiciels de simulation (Stellarium, Celestia) → fiche de suivi
Objectif(s) : <ul style="list-style-type: none"> - Observer et décrire différents types de mouvements - Comprendre le phénomène jour/nuit sur notre planète - Simuler un phénomène avec un logiciel adapté 		Durée de la séance : 60'

Déroulement de la séance

Activités	Fil du temps	Activité de l'enseignant	Dispositif	Activité des élèves	Matériel	Remarques
Rappel	5'	Rappel de la thématique et de la problématique <i>"Notre travail tout au long de ces séances va nous permettre de comprendre sur l'alternance entre le jour et la nuit de notre planète Terre, nous allons commencer avec votre groupe par réaliser des simulations grâce à 2 logiciels"</i>	groupe entier	Ecouter		à l'oral

Présentation et découverte logiciel	15'	Présentation de Stellarium et de son fonctionnement. Vérifier que chaque élève arrive à utiliser Stellarium. Demande aux élèves des manipulations : <i>"Se placer à Tokyo le 8 juin 2021 et observer le mouvement apparent du Soleil de 6h à 23h"</i>	groupe entier et en binôme	Suivre la présentation en réalisant les étapes avec l'enseignant Prise en main du logiciel. L'élève doit savoir changer l'heure, la date et le lieu, faire défiler le temps.	- Vidéo-projecteur - Ordinateurs avec Stellarium - Souris	
Fiche d'activité (1)	10'	Distribution de la fiche de suivi	en binôme	Les élèves remplissent la fiche de suivi	- Ordinateurs avec Stellarium - Souris - fiche de suivi	
Correction de (1)	5'	Correction de la fiche de suivi	groupe entier	Correction de la fiche de suivi	- fiche de suivi	
Présentation et découverte logiciel	10'	Présentation du logiciel Celestia. Poser des questions sur la manipulation du logiciel : <i>"Se placer face à l'Afrique et faire défiler le temps", "se placer le 25 octobre 2004 à 14h"</i>	en groupe et en binôme	Manipulation et découverte du logiciel. Les élèves doivent savoir se déplacer, changer la date et l'heure, faire défiler le temps.	- Ordinateur avec Celestia - Souris	
Fiche d'activité (2)	10'	Explication des consignes de la seconde partie de la fiche de suivi	en binôme	Manipulation du logiciel et les élèves remplissent la fiche de suivi	- Ordinateur avec Celestia - Souris - fiche de suivi	
Correction de (2)	5'	Correction de la fiche de suivi	groupe entier	Correction de la fiche de suivi	- fiche de suivi	

ANNEXE 3 : Fiche de préparation de la séance de modélisation avec objets matériels

La modélisation avec objets matériels

Niveau : CM2 (cycle 3)	Discipline : Sciences et technologie	Sous-discipline : La planète Terre
Date : période 5	Dispositif : demi - groupe	Séquence : Les mouvements de la Terre
Compétences : <ul style="list-style-type: none"> - Décrire les mouvements de la Terre (rotation sur elle-même et alternance jour-nuit) - Les mouvements de la Terre sur elle-même 		Matériel : <ul style="list-style-type: none"> → boule de polystyrène (15) → pic à brochette ou cure dent → lampe torche (7) → feutre → feuille blanche (découpé en rond ø5 cm) → punaise
Objectif(s) : <ul style="list-style-type: none"> - Comprendre le phénomène jour/nuit sur notre planète - Modéliser un phénomène 		Durée de la séance : 60'

Déroulement de la séance

Activités	Fil du temps	Activité de l'enseignant	Dispositif	Activité des élèves	Matériel	Remarques
Rappel	5'	Rappel de la thématique et de la problématique <i>"Notre travail tout au long de ces séances va nous permettre de tout comprendre sur l'alternance entre le jour et la nuit de notre planète Terre. Nous allons commencer avec votre</i>	groupe entier	Ecoute active		à l'oral

		<i>groupe par réaliser des maquettes"</i>				
Tester les hypothèses	10'	Distribution du matériel	groupe par point de vue	Testent les 3 hypothèses énoncées pour comprendre l'alternance jour/nuit 1- La Terre tourne autour du Soleil 2- Le Soleil tourne autour de la Terre 3- La Terre tourne sur elle-même Compléter la fiche de suivi.	- boule polystyrène - lampe torche - punaise/cure-dent	
Mise en commun	10'	Distribution de la parole	en groupe entier	Chaque groupe explique son expérience		
Recherche documentaire	15'	Distribution des documents <i>"On vient de voir que vos 3 modélisations peuvent expliquer pourquoi il fait jour et nuit nous allons donc vérifier avec des documents, vous allez chacun lire les documents distribués et après on discutera pour voir ce que vous avez trouvé"</i>	individuel puis en groupe entier	Lecture des documents, valident l'hypothèse "c'est la Terre qui tourne sur elle-même qui explique l'alternance jour/nuit" Compléter la fiche de suivi.	- fiche documentaire	
<u>Création maquette</u> 1- Dans quelle sens tourne la Terre ?	10'	Donner la situation : image avec relevés du Soleil et les points cardinaux <i>"Avec cette image représentant la course du soleil au cours d'une journée trouvez dans quel sens tourne la Terre pour que le soleil se lève et se couche au même endroit</i>	en binôme	Observation du relevé et manipulation. Compléter la fiche de suivi.	- feuille - punaise	

		<p><i>que sur la photo"</i> Distribuer le matériel à chaque binôme.</p> <p>Lorsque les groupes ont trouvé le sens de rotation, demander s'il fera nuit en premier à la ville A (punaise rouge) ou à la ville B (punaise bleue).</p>		<p>Placer des punaises sur la balle et la faire tourner pour trouver quelle punaise se trouve dans l'ombre en premier.</p>		
<p><u>Création maquette</u> 2- Où se trouve l'axe de rotation de la Terre ?</p>	10'	<p>Donner la situation : du 1er mai au 3 août, le Soleil ne se lève pas au Pôle Sud et ne se couche pas au Pôle Nord. <i>"Trouve où se situe l'axe de rotation de la Terre pour que le phénomène énoncé se produise"</i></p> <p>Leur indiquer comment dessiner les pôles</p> <p>Lorsque les groupes ont trouvé l'axe de rotation, demander s'il fera nuit en premier à la ville A (punaise rouge) ou à la ville B (punaise bleue). Les punaises sont placées l'une en dessous de l'autre.</p>	en binôme	<p>Dessiner les pôles Placer le pic pour représenter l'axe de rotation Faire tourner le globe pour que le soleil ne se lève pas au Pôle Sud et qu'il ne se couche pas au Pôle Nord => Globe incliné</p> <p>Compléter la fiche de suivi.</p> <p>Placer des punaises sur la balle et la faire tourner pour trouver quelle punaise se trouve dans l'ombre en première.</p>	<p>- feutre - pic à brochette - feuille - punaise</p>	

ANNEXE 4 : Fiche conceptions initiales

Mes premières idées

Explique en dessinant et/ou en écrivant des phrases l'alternance des jours et des nuits sur notre planète Terre.

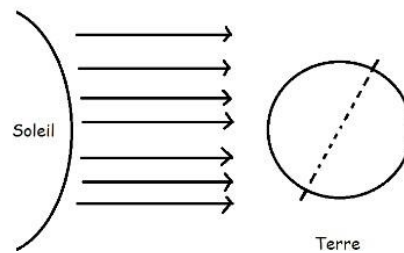
ANNEXE 5 : QCM inter-séance

L'alternance jour/nuit

1- Coche l'affirmation qui explique l'alternance jour/nuit :

- Le Soleil tourne autour de la Terre
- La Terre tourne sur elle-même
- La Terre tourne autour du Soleil
- La Lune tourne autour de la Terre
- Je ne sais pas

2- Colorie en jaune la partie de la Terre où il fait jour et en bleu foncé celle où il fait nuit.

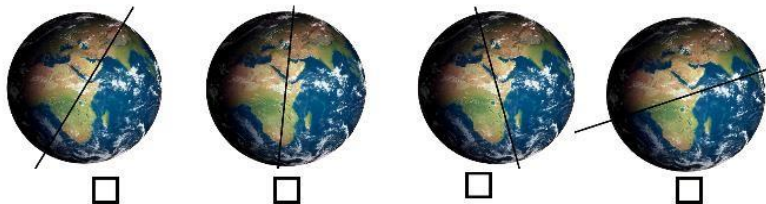


3- Coche pour chaque affirmation la proposition correcte

- La Terre tourne sur elle-même en presque :

- 24 heures
- 12 heures
- 24 jours
- 365 jours
- Je ne sais pas

- L'axe de rotation de la Terre est :



- La Terre tourne dans :

- Le sens inverse des aiguilles d'une montre
- Le sens des aiguilles d'une montre
- Je ne sais pas

- Le Soleil éclaire au même moment :

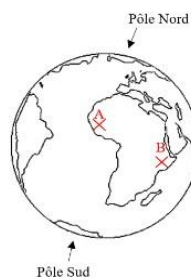
- Toute la Terre
- La moitié de la Terre
- Le quart de la Terre
- Je ne sais pas

- C'est toujours la même heure, quelque soit l'endroit dans le monde

- Vrai
- Faux
- Je ne sais pas

- Il fera d'abord nuit à :

- La ville A
- La ville B
- Les deux en même temps
- Je ne sais pas



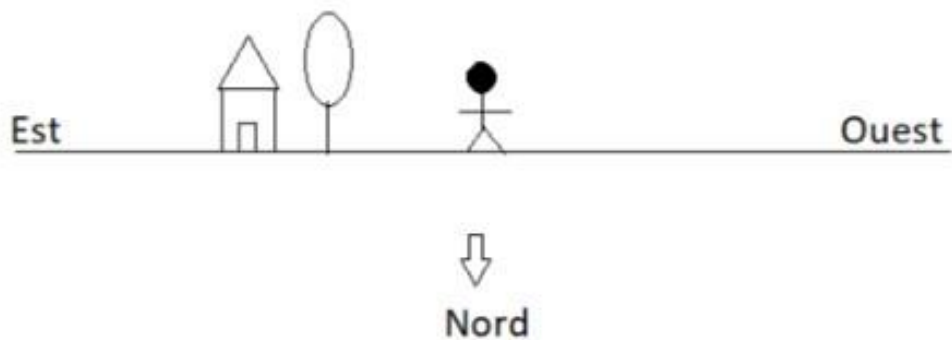
ANNEXE 6 : Evaluation finale deux jours après la séquence

Explique en dessinant et/ou en écrivant des phrases l'alternance des jours et des nuits sur notre planète Terre.

ANNEXE 7 : Evaluation finale un mois après la séquence

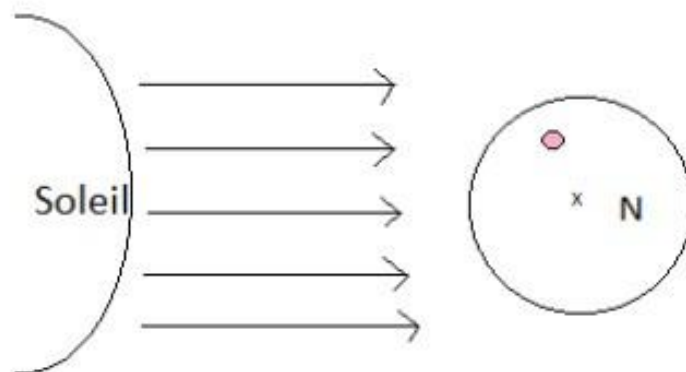
Explique en dessinant et/ou en écrivant des phrases l'alternance des jours et des nuits sur notre planète Terre.

1- Trace la trajectoire du soleil observée par le bonhomme sur une journée et positionne le soleil l'après-midi (!\ le bonhomme regarde vers le Sud)



2- A quel moment de la journée se trouve le bonhomme (représenté par le rond gris) sur la terre ?

- Matin Midi Après-midi Soir



Colorie sur le dessin la partie de la Terre où il fait jour

3- Quelques questions pour connaître ton avis sur la séquence d'astronomie :

a) Quelle séance as-tu préférée ?

Modélisation (les boules) avec Laurie

Simulation (ordinateurs) avec Leila

Pourquoi ?

b) Pendant quelle séance penses-tu avoir le mieux compris ?

Modélisation (les boules) avec Laurie

Simulation (ordinateurs) avec Leila

Pourquoi ?

c) Pour toi, est-ce utile de faire les deux séances ?

Oui

Non

Si non, quelle séance faudrait-il faire ?

Modélisation (les boules) avec Laurie

Simulation (ordinateurs) avec Leila

Pourquoi ?

Si oui, quelle séance penses-tu qu'il faut faire en premier ?

Modélisation (les boules) avec Laurie

Simulation (ordinateurs) avec Leila

Pourquoi ?

ANNEXE 8 : Fiche de suivi – séance simulation

Alternance jour/nuit

Logiciel Stellarium

1. Place-toi à Montpellier le 26 octobre 2021 et fais défiler le temps. Réponds aux questions suivantes en utilisant les points cardinaux.

a) Dans quelle direction semble se déplacer le Soleil ?

.....

b) Dans quelle direction semblent se déplacer les étoiles ?

.....

c) Que remarques-tu ?

.....

2. Place-toi à Montpellier le 26 octobre 2021 à 14h45, remplis le tableau ci-dessous.

Villes	Heure	Jour/nuit
Montpellier (France)	14h45	Jour
New York (Etats-Unis)		
Tokyo (Japon)		
New-Delhi (Inde)		
Seattle (Etats-Unis)		

3. Place-toi au Pôle Nord le 15 juin 2021, fait défiler les heures, que remarques-tu ?

.....

4. Place-toi maintenant au Pôle Sud le 15 juin 2021 et fait défiler les heures, que remarques-tu ?

.....

5. Fais défiler les minutes. A quelle heure approximativement se couche le Soleil le 4 avril 2022 à Paris ?

.....

Alternance jour/nuit

Logiciel Celestia

1. Fais défiler les minutes. A quelle heure approximativement il fait nuit à Paris le 4 avril 2022 ? (Vérifie la cohérence de ta réponse avec celle de la question 5 sur la fiche Stellarium)

.....

2. Fais défiler les heures et observe le Pôle Nord et le Pôle Sud, explique ce que tu as remarqué aux questions 3. et 4. de la fiche Stellarium ?

.....

.....

3. Complète le schéma ci-dessous en indiquant l'axe de rotation de la Terre en rouge, son sens de rotation par une flèche et les points cardinaux (N,S,E,O).



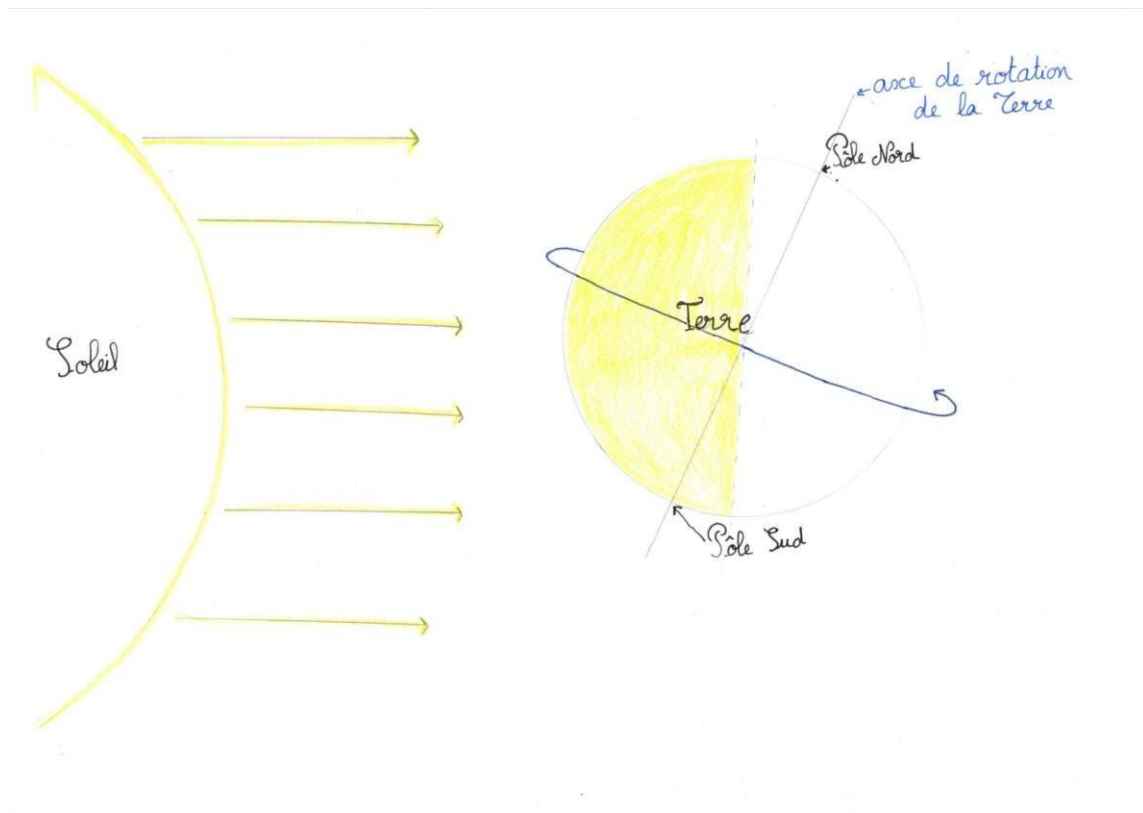
4. Repère la France et les Etats-Unis, pour quel pays la nuit du 30 mars tombe-t-elle en premier ?

.....

.....

ANNEXE 9 : Texte à trous et schéma

L'alternance du jour et de la nuit s'explique par le fait que **la Terre tourne sur elle-même** en **24 heures**. La Terre tourne de l'**Ouest** vers l'**Est** (dans le sens inverse des aiguilles d'une montre) autour d'un axe de rotation incliné qui passe par le **Pôle Nord** et le **Pôle Sud**. À cause de cette rotation, une **partie** de la Terre est éclairée : c'est le **jour** ; et l'autre est dans l'ombre : c'est la **nuit**.



ANNEXE 10 : Fiche de suivi – séance modélisation

Alternance jour/nuit

1. D'après toi quel phénomène explique l'alternance jour/nuit ?

2. Schématise ton expérience.

3. Lis les documents, quel phénomène explique l'alternance jour/nuit ?

4. Indique de chaque côté de la Terre les points cardinaux (S,N,O,E) et schématise par une flèche le sens de rotation de la Terre. Puis complète la phrase en-dessous du globe.



Sur la Terre, on observe le soleil se lever vers et se coucher vers

5. Dessine l'axe de rotation de la Terre et indique les pôles.

