

Mémoire professionnel de diplôme pour
MAS en enseignement pour le degré secondaire II /
Diplôme d'enseignement pour les écoles de maturité.

**Conception et évaluation d'un nouveau type d'activité
pour l'enseignement de la nature de la lumière au Gymnase**

Yohan SANCHEZ

sous la direction d'Engin BUMBACHER

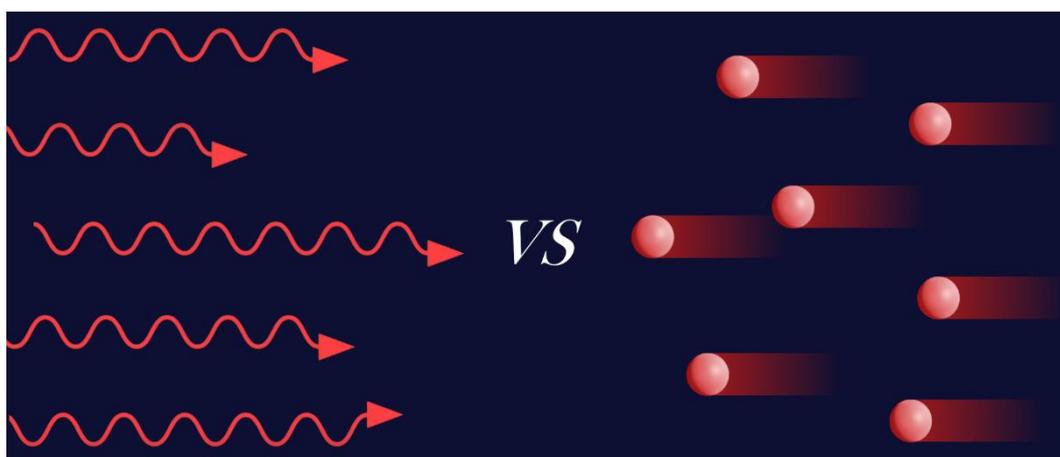


Table des matières

I. Introduction	3
II. Théorie	5
III. Matériel et méthodes	8
1. Population.....	8
2. Construction de l'activité	8
A. Initiation au MEL (Géométrie de la Terre)	9
B. Activité principale (Nature de la lumière).....	9
i. Questions préliminaires	10
ii. Activité MEL	10
iii. Discussion et débat	13
iv. Découverte de deux nouveau cas	13
v. Annonce de la dualité onde-corpuscule	14
vi. Questionnaire bilan	15
3. Méthodologie	15
IV. Résultats	15
1. Question de connaissance.....	16
2. Plausibilité (avant/après)	16
3. Justifications de la plausibilité (avant/après)	17
4. Justifications des liens du MEL	19
5. Opinion sur la nature de la lumière après le MEL	20
6. Questions sur la nature de la science (avant/après).....	21
7. Question compréhension bilan	22
V. Discussion	23
VI. Conclusion	25
Bibliographie	27
Annexe	29

I. Introduction

Qu'apprennent les gymnasiens de la nature de la science ? Pour la majorité des élèves, le Gymnase constitue la dernière fois qu'ils feront et apprendront de la science, c'est donc une étape d'une importance capitale dans la vie et le développement d'une personne, où l'École doit pleinement jouer son rôle. Former des citoyens éclairés est, à juste titre, l'une de ses missions essentielles ; être capable de discerner, confronter, évaluer, critiquer est fondamental pour former les futures générations à relever les nombreux défis sociaux, sociétaux et technologiques à venir. Les enseignements de la Physique, de la Chimie et de la Biologie, réunis sous l'appellation de sciences expérimentales sont répartis durant les trois années¹ de l'École de Maturité et constituent ainsi les sources premières de la pensée scientifique des élèves. Mais au-delà des connaissances et des savoir-faire disciplinaires exigés durant le cursus scolaire, les élèves comprennent-ils vraiment le processus de construction du savoir en science ? En effet, dans la majorité des enseignements scientifiques, les élèves sont habitués à ce qu'on leur présente des théories abouties, unanimement acceptées par les scientifiques et éprouvées par le temps et les expériences, en cachant le chemin et les tensions fructueuses à l'origine de ces théories (Abd-El-Khalick, et al., 2017). Or la science, ce n'est pas une théorie qui tombe d'en haut et qui élimine naturellement toutes les autres. La science est faite de débats, d'argumentations, de confrontations, d'évaluation critique des théories, expériences et de leurs explications... La science ne s'impose pas, c'est une bataille permanente. L'enseignement de cette notion apparaît extrêmement bénéfique pour les élèves.

La recherche en sciences de l'éducation dans le domaine de la nature de la science (*Nature of Science* ou NOS) est très active. Généralement, la nature de la science fait référence à l'épistémologie et à la sociologie des sciences, à la science en tant que mode de connaissance, ou aux valeurs et croyances inhérentes à la connaissance scientifique et à son développement. (Lederman, 1992). De nombreuses activités sont conçues pour développer la vision de la nature de la science auprès des élèves, notamment en travaillant les aspects de pensée critique et d'argumentation scientifique. Ces notions seront plus amplement développées dans la partie II. L'une des activités récemment conçue et qui a montré des résultats prometteurs (Lombardi, Sinatra, & Nussbaum, *Plausibility reappraisals and shifts in middle school students' climate change conceptions.*, 2013) est le Model-Evidence Link (MEL), ou Lien Modèle-Preuve (Chinn & Buckland, 2012). Dans cette activité, les élèves sont amenés à faire des liens entre des preuves empiriques et deux modèles explicatifs alternatifs et à réfléchir de manière critique à ces mêmes liens. Il en existe plusieurs traitants pour la grande majorité de sujets en lien avec le changement climatique ou la biologie. Quelques-uns existent en physique, tels que sur la formation de la Lune ou l'origine de l'Univers. Néanmoins ces exemples de sujets utilisent un duo de modèles explicatifs particulier, où l'un des modèles est le modèle scientifiquement accepté (« le bon modèle ») face à un modèle relevant d'une préconception des élèves ou controversé (« le mauvais modèle »). Nous n'avons pas connaissance à ce stade d'activité MEL où les deux modèles proposés sont complémentaires et tous les deux valides.

¹ Le plan d'études Vaudois pour l'École de Maturité stipule que les élèves reçoivent les cours de Physique et Chimie en première et deuxième année, et ceux de Biologie en deuxième et troisième année.

L'intérêt de ce travail de mémoire est de concevoir et d'analyser une activité MEL pour un enseignement de la nature de la lumière avec ce choix de modèles inédit. Nous chercherons à répondre à la question suivante :

Quels sont les bénéfices pédagogiques du MEL pour aborder des sujets complexes sur la nature de la lumière ?

La nature de la lumière est un sujet à la fois complexe et fascinant, lourd d'implications et de développement en Physique au cours des derniers siècles. Au Gymnase, la lumière peut être traitée dans le chapitre sur l'Électromagnétisme. Dans celui-ci, la lumière est représentée à travers le modèle ondulatoire ; elle est décrite comme une onde électromagnétique. C'est l'image qui restera dans les esprits des élèves qui ne feront plus de sciences à l'avenir. Mais cette vision est partiellement vraie, ou partiellement fausse, selon le référentiel. En effet, l'un des bouleversements majeurs en Physique au XX^{ème} siècle est la découverte que la lumière est une onde *et* une particule ; c'est le principe de la dualité onde-corpuscule. Ces deux modèles se prêtent parfaitement pour une activité MEL où deux modèles en apparence contradictoires sont valides.

Une telle activité soutient plusieurs objectifs, en lien avec le plan d'études Vaudois²:

- Un approfondissement des connaissances disciplinaires. L'activité, incluse dans un chapitre sur l'Électromagnétisme, énumère de nombreux phénomènes lumineux et amène pour chacun d'entre eux, une explication utilisant les concepts d'onde ou de particule. Concept d'onde qui sera par la suite exposé plus en détail dans le cours.
- Développer l'esprit critique. Les liens à construire doivent être évalués et débattus. Les élèves sont amenés à exercer une réflexion profonde sur les types de liens qui relient les phénomènes et les théories, en explicitant ces raisonnements par oral et par écrit.
- Une amélioration de la vision de la nature de la science. Les élèves passent par les processus mis en jeu lors de la construction du savoir en science ; la confrontation des idées, des théories, l'importance des phénomènes qui soutiennent une théorie par rapport à ceux qui contredisent cette même théorie... permettent une meilleure représentation de nature de la science.

Dans ce travail de mémoire, nous évoquerons dans un premier temps les différentes ressources et recherches actuelles en sciences de l'éducation sur la nature de la science. Ensuite nous détaillerons les modalités et la construction de l'activité. La partie suivante rendra compte des résultats et enseignements de cette activité. Enfin une discussion et conclusion termineront ce travail.

² Le plan d'études Vaudois définit les objectifs pour l'enseignement de la Physique en tant que discipline fondamentale (hors option spécifique Mathématiques-Physique) suivants :

- Savoir : Orienté vers concept : culture générale en Physique ; comprendre le rôle des modèles théoriques des phénomènes observés ; connaître différents modes de pensée anciens et modernes, en physique.
- Savoir-faire : Analyser les observations avec rigueur, logique et esprit critique ; concevoir des modèles physiques pour quelques phénomènes simples en les formulant de manière claire et complète, d'abord dans le langage de tous les jours puis, pour certains d'entre eux, dans un formalisme mathématique
- Attitudes : Curiosité ; prise de recul face au sens commun ; rigueur

II. Théorie

L'éducation scientifique joue un rôle crucial dans l'acquisition de connaissances, de compétences et d'attitudes nécessaires pour comprendre le monde naturel et développer une pensée scientifique chez les élèves adolescents. C'est un enjeu de plus en plus prégnant de nos sociétés, encouragé par les institutions nationales et supranationales, à l'image du National Research Council aux États-Unis (Council, 2013) ou de la Commission Européenne (Commission, 2011). Ce dernier rapport, par exemple, stipule très clairement qu' « une compréhension élémentaire de la science est une compétence nécessaire pour tous les citoyens européens ». La question de l'enseignement par les enseignants et de la compréhension par les élèves de la nature de la science apparaît alors fondamentale.

Parmi les différentes façons d'enseigner la nature de la science, on trouve l'enseignement explicite. Dans celui-ci les enseignants enseignent explicitement la nature de la science en tant que sujet à part entière, en discutant de ses composantes clés telles que la pensée scientifique, l'investigation scientifique, les preuves empiriques, l'évaluation par les pairs, et le rôle de la créativité et de l'imagination dans les découvertes scientifiques. Ils engagent les élèves dans des discussions, fournissent des exemples, et utilisent des études de cas pour illustrer la nature des sciences. Le sens « d'explicite » ici implique de rendre l'enseignement de la nature de la science aussi intentionnel et planifié que possible, en évitant les implicites de telle sorte que les étudiants n'aient pas à déchiffrer les objectifs d'apprentissages de celle-ci par eux-mêmes (Fouad, Masters, & Akerson, 2015).

La pensée scientifique (*scientific thinking*) est une composante essentielle de la nature de la science. Elle englobe généralement une multitude de compétences et processus cognitifs utilisés par les scientifiques pour étudier le monde. Parmi eux se trouvent l'observation, le questionnement, la prédiction, l'expérimentation, l'analyse des données ou encore le fait de tirer des conclusions, faire des inférences, formuler des hypothèses, évaluer des sources... Ainsi la pensée scientifique peut être définie comme « la recherche de connaissances » (*knowledge seeking*) (Kuhn, 2002). Dans ce dernier article, l'auteure fait une distinction entre la pensée scientifique et la compréhension scientifique (*scientific understanding*), énonçant que la première peut être comprise comme « ce que l'on fait » et l'autre comme « ce que l'on a ». Ici, la pensée scientifique, par la recherche de connaissances, produit la compréhension scientifique. La pensée scientifique, selon Kuhn, se divise en quatre phases : 1 – l'investigation, 2 – l'analyse, 3 – l'inférence et 4 – l'argumentation. Cette dernière étape consiste en un débat inévitable impliquant le développement, l'évaluation et la validation des connaissances scientifiques (Driver, Newton, & Osborne, 2000).

La notion d'argumentation scientifique requiert un sens différent de la notion d'argumentation quotidienne, en cela qu'il ne s'agit pas d'un échange houleux d'opinions où chaque partie vise à battre l'autre. L'argumentation scientifique repose au contraire sur un discours rationnel et logique visant à trouver des liens entre des phénomènes et des explications (Duschl, Scweingruber, & Shouse, 2007). L'enseignement de la nature de la science doit accorder une haute priorité à l'argumentation scientifique, cette dernière explicitant la pratique sociale de la science et développant une connaissance et une compréhension des critères d'évaluation utilisés pour établir les théories scientifiques (Driver, Newton, & Osborne, 2000). La pratique de l'argumentation scientifique apparaît comme bénéfique auprès des élèves, améliorant leur

qualité d'argumentation ainsi que leur compréhension des concepts (von Aufshnaiter, Erduran, & Osborne, 2008). Néanmoins, plusieurs obstacles apparaissent afin d'engager les élèves dans ce genre de pratique. Le premier obstacle concerne les connaissances disciplinaires (Faize, Waqar, & Nisar, 2017). Les capacités d'analyse, de discernement et de raisonnement se retrouvent fortement amoindries si les connaissances disciplinaires sont pauvres (Bumbacher, 2019). Ainsi le manque de connaissances disciplinaires est un facteur limitant de l'argumentation, résultant parfois dans des biais de confirmation. Toute activité visant le développement du raisonnement scientifique bénéficierait ainsi d'une sorte d'introduction, posant le cadre conceptuel et quelques connaissances théoriques de base, pour que tous les élèves partent avec des connaissances déjà-là (*prior knowledge*) communes. Le deuxième obstacle relate du manque de motivation. Ici la motivation est liée à l'objectif final perçu, l'intérêt pour le sujet ou la discipline, l'estime de soi... (Bumbacher, 2019). Il est ainsi recommandé de pratiquer les activités sur l'argumentation en petits groupes, favorisant les échanges mutuels et l'apprentissage par les pairs (Buchs, 2017).

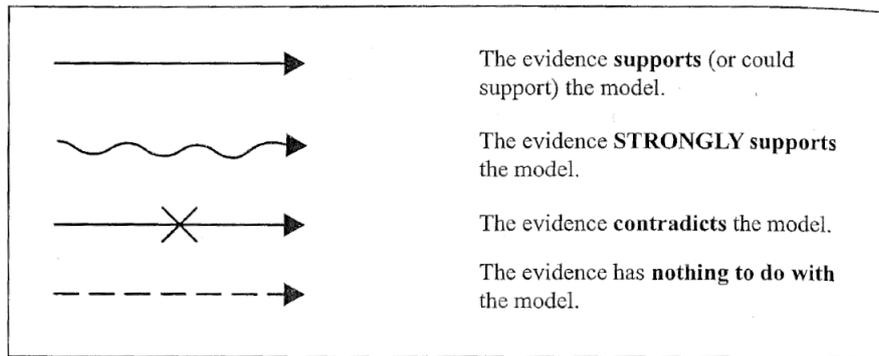
Un des aspects d'importance critique à transmettre dans les cours de science est l'esprit critique (*critical thinking*). Mais malgré son caractère essentiel et la reconnaissance de son importance à être enseigné largement partagé, il n'existe pas de définition unanime de l'esprit critique (Lai, 2011). Les définitions diffèrent en effet selon les domaines, comme la philosophie ou la psychologie. Nous adopterons la définition de Lai stipulant que l'esprit critique relève de deux dimensions ; les capacités cognitives d'une part et les dispositions³ d'autre part. L'esprit critique dans le cadre de la nature de la science peut être enseigné à différents niveaux et étapes de la démarche scientifique, tels que l'évaluation de l'information, l'identification des biais, la reconnaissance des sophismes, la prise de décisions fondées sur des données, la notion de preuve, le raisonnement, les arguments, la résolution de problèmes ou encore l'interprétation des données. L'acquisition de données et la mise en relation de ces données avec des modèles scientifiques sont également des étapes où l'enseignement de pratiques spécifiques, comme par exemple des processus de va-et-vient, a montré des bénéfices, augmentant les capacités des étudiants de penser de manière critique (Holmes, Wieman, & Bonn, 2015). L'activité conçue dans ce mémoire se situe au niveau de la mise en relation de phénomènes avec des théories. Dans ce type d'activité, exercer sa pensée critique permet d'analyser en quoi un phénomène soutient une hypothèse, un modèle, une théorie mais également en quoi un phénomène soutient ou réfute une théorie alternative (Lombardi, Sibley, & Carroll, What's the alternative?, 2013).

Les élèves arrivent en classe avec des connaissances et des concepts *déjà-là*. Ces connaissances et concepts, incorrects et incomplets, sont issus de l'expérience de l'élève et constituent ce que Vigotsky appelle les *concepts quotidiens*, par opposition aux notions scolaires développées au sein de l'École, corrects et structurées, qu'il appelle *concepts scientifiques* (Vygotski, 1934). Le processus par lequel l'élève révise ses notions, au fur et à mesure que de nouvelles expériences, données, informations, notions apparaissent s'appelle *changement conceptuel* (Brewer, Chinn, & Samarapungavan, 1998). Celui-ci englobe en réalité deux aspects : d'une part le changement dans les conceptions de l'élève, à savoir le contenu théorique et d'autre part le changement dans les pratiques épistémiques (Chinn & Buckland, 2012). L'objectif est ici

³ Les dispositions ici réfèrent à l'attitude ou à l'habitude de pensée. Ces attitudes comprennent notamment l'ouverture d'esprit, la propension à chercher des raisons, la volonté d'investiguer, le désir d'être bien-informé, la flexibilité ou encore le respect pour l'opinion des autres (Bailin, Case, Coombs, & Daniels, 1999) (Ennis, 1985) (Facione, 1990).

double et parfaitement en accord avec l'enseignement de la nature de la science ; faire acquérir aux élèves de nouveaux savoirs et les initier aux pratiques de construction du savoir scientifique.

C'est dans cette optique-là que fut développée l'activité *Model-Evidence Link* ou MEL (Chinn & Buckland, 2012). Celle-ci fut créée afin de jouer sur les deux aspects du changement conceptuel cités plus haut. Elle consiste en un diagramme présentant des phénomènes (*evidence*) et des théories (*models*) et dont les liens entre eux doivent être explicités. Un exemple de diagramme MEL complété par un élève est représenté sur la Figure 1 :



Please draw arrows from each of the 4 pieces of evidence below to Models A and B. Each piece of evidence should have 2 arrows (one for Model A and one for Model B). When drawing the arrows, point them to the part of the model they support to contradict.

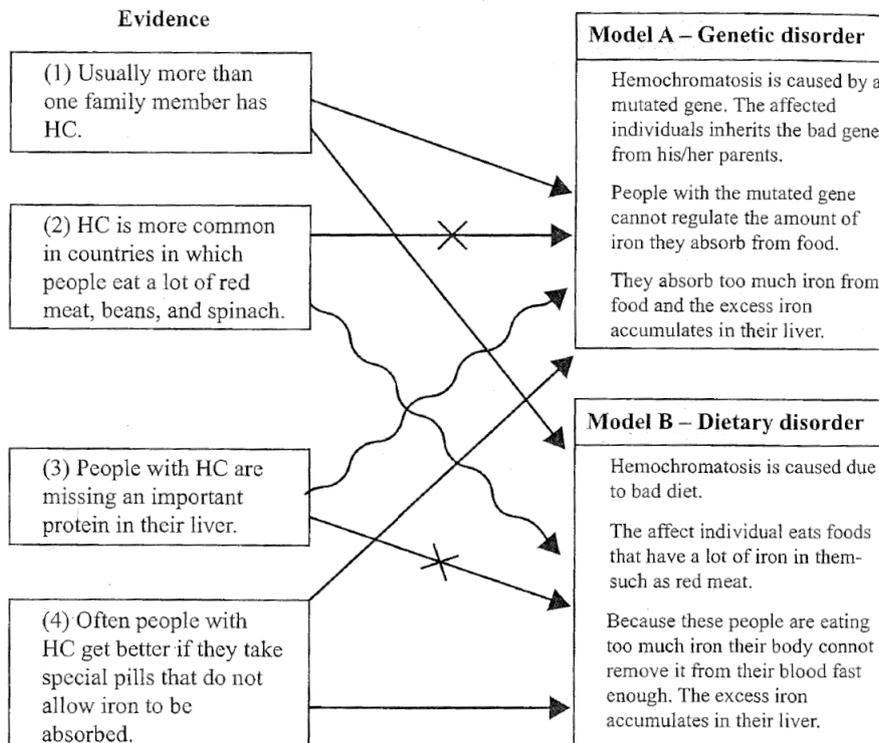


Figure 1: La première version créée, autour du sujet de la nature d'une maladie (l'hémochromatose) en biologie

Les élèves doivent faire des liens entre les phénomènes, généralement au nombre de quatre, et les théories, deux ou plus. Pour caractériser ces liens, on leur soumet une clé consistant en quatre flèches représentant chacune :

- Un lien où le phénomène *soutient* ou pourrait soutenir la théorie.
- Un lien où le phénomène *soutient fortement* la théorie.
- Un lien indiquant que le phénomène *contredit* la théorie.
- Et enfin un lien où le phénomène *n'a rien à voir avec* la théorie.

Non seulement les élèves sont amenés à réfléchir de façon critique sur la nature des liens qui unissent ou non les phénomènes et les théories, mais la distinction entre *soutient* et *soutient fortement* permet également aux élèves de réfléchir à la qualité des dits phénomènes. Deux flèches doivent partir de chaque phénomène et arriver à une théorie (il y a donc un total de huit flèches). La façon de construire le savoir en science est ici clairement explicitée ; les élèves sont encouragés à utiliser des phénomènes comme guide pour le choix de théories. L'évaluation des phénomènes apparaît donc comme un élément essentiel du processus de construction du savoir scientifique.

III. Matériel et méthodes

L'activité présentée dans ce mémoire se déroule en fin d'année scolaire et s'inscrit à la fin d'un chapitre sur l'Électromagnétisme, en introduction à la notion d'onde électromagnétique⁴.

1. Population

L'activité est proposée à une classe de 2^{ème} année en École de Maturité composée de 22 élèves (13 filles et 9 garçons) dont les options spécifiques sont Philosophie et Psychologie ainsi qu'Économie et Droit. Le jour de l'activité, seulement 14 élèves sont présents (9 filles et 5 garçons).

Deux périodes complètes, soit 90 minutes, ont été allouées pour cette séquence didactique.

2. Construction de l'activité

La séquence didactique construite autour de la thématique choisie est composée de deux activités distinctes ; la première activité est une initiation au MEL à travers un exemple simple et familier, la deuxième activité est l'activité principale, sur le sujet de la nature de la lumière,

⁴ Pour ne pas influencer les élèves, il n'est pas fait mention du terme « onde ». Il a cependant été brièvement évoqué que la lumière était une onde électromagnétique en début d'année, dans le chapitre Ondes.

et qui constitue le sujet d'étude de ce mémoire. La présente partie décrit ces activités et énumère leurs étapes.

A. Initiation au MEL (Géométrie de la Terre)

Les activités faisant appel au sens critique scientifique et à la mise en relation explicite entre des phénomènes et des explications est extrêmement rare dans l'enseignement des sciences. Un court sondage parmi les élèves de la classe ainsi qu'auprès des collègues de Physique confirment cette intuition. Pour les élèves, cela représente le premier contact avec ce genre d'activité. Il est donc important de les initier à cet exercice, dans un premier temps en utilisant un MEL simplifié mais contenant les caractéristiques essentielles de l'activité.

L'initiation est faite par un MEL à propos de la géométrie de la Terre (Annexe MEL Terre). Dans celui-ci, deux explications des phénomènes décrits sont possibles : la Terre est un disque (donc plat) ou la Terre est une sphère. Le choix de ce sujet relève de plusieurs considérations : il est simple à comprendre, le sujet devrait être consensuel pour des élèves de deuxième année de maturité au gymnase et enfin il est en lien avec la Physique.

Les phénomènes décrits ici sont des observations, que les élèves peuvent faire dans leur vie quotidienne. Le choix des phénomènes étudiés relève d'une grille bien précise :

- Un phénomène est en soutien de l'une des théories.
- Un phénomène est en soutien de l'autre théorie.
- Un phénomène est en soutien des deux théories.
- Un phénomène n'a aucun lien ni avec un modèle ni avec l'autre.

Cette grille qui sera gardée pour l'activité MEL principale. Dans le cadre du MEL sur la géométrie de la Terre, les phénomènes et leur catégorie sont représentés dans le tableau suivant :

Phénomène soutenant le modèle du disque.	Au sol, l'horizon semble plat	observation n° 1
Phénomène soutenant le modèle de la sphère.	Les bateaux au loin disparaissent de manière progressive	observation n° 3
Phénomène soutenant les deux modèles.	L'ombre de la Terre projetée sur la Lune est un disque	observation n° 4
Phénomène n'ayant aucun lien ni avec un modèle ni avec l'autre.	Le Soleil se déplace dans le ciel	observation n° 2

Tableau 1 : Phénomènes et leur catégorie (Géométrie de la Terre)

B. Activité principale (Nature de la lumière)

L'activité principale, sujet d'étude de ce mémoire, est fournie dans son entièreté en Annexe (Annexe MEL Lumière). Elle est plus élaborée que le simple MEL, même si ce dernier joue un rôle essentiel. Plusieurs étapes sont introduites pour amener les élèves vers l'objectif

final de compréhension du phénomène de dualité onde-corpuscule. Étapes qui sont énumérées et détaillées dans la partie suivante.

i. Questions préliminaires

Avant l'activité, les élèves sont invités à répondre à un questionnaire de trois questions sur la nature de la science. Ces questions sont :

Les scientifiques produisent du savoir en sciences. Pensez-vous que ce savoir puisse changer dans le futur ? Expliquer votre réponse et donner un exemple.

Qu'est-ce qui influence la plausibilité d'une théorie (par exemple, la théorie atomique, la théorie de l'évolution, ou d'autres théories) ?

Quel est le poids d'une expérience qui soutient une théorie par rapport à une expérience qui contredit cette même théorie ?

Le sujet de l'activité concerne la lumière et plus particulièrement, sa nature. Une première question est posée aux élèves pour introduire le sujet et avoir un premier aperçu de leurs connaissances ainsi que des éventuelles préconceptions sur ce sujet :

Quelles sont les différentes théories sur ce qu'est la lumière dont vous avez connaissance ? Vous pouvez évoquer des notions vues à l'école ou ailleurs.

La formulation est importante car pour un non-scientifique, la question de la nature de la lumière est vague et imprécise... Même le mot « nature » peut poser problème.

En début d'année, ces élèves-là ont eu un cours sur les Ondes avec une mention que la lumière était une onde électromagnétique. C'est ici l'occasion de voir si cette information a été retenue. Nous nous attendons à ce que peu de personnes réponde avec « particule » ou même « onde et particule »⁵.

ii. Activité MEL

L'activité MEL débute par une introduction présentant l'objet d'étude de l'activité ainsi qu'un point historique relatant des faits et débats ayant eu lieu autour de la question de la nature de la lumière. Ceci pour plusieurs raisons :

- Fournir un cadre conceptuel, à savoir deux modèles explicatifs possibles, la théorie ondulatoire ou la théorie corpusculaire de la lumière.
- Décrire le contexte, montrer que c'est une question qui a animé les scientifiques il y a plusieurs siècles et qui n'est donc pas récente.

⁵ Le « et » ici est pensé comme la connaissance de deux théories distinctes mais pas comme leur union dans une seule théorie.

- Amener l'idée chez les élèves que la science se construit et que des débats vigoureux peuvent apparaître entre grands scientifiques, comme Newton et Huygens dans notre exemple.

L'introduction s'arrête à la fin du XIX^{ème} siècle. Le XX^{ème} siècle est cependant un siècle de bouleversements conceptuels dans de nombreux domaines de la Physique et notamment sur la nature de la lumière, en effet les phénomènes lumineux ne seront complètement compris que lors de ce siècle où naîtra également la notion de photon et de dualité onde-corpuscule.

À la suite de l'introduction, nous proposons une définition au concept de « plausibilité » et demandons d'évaluer de manière tout à fait intuitive la plausibilité de chaque théorie sur une échelle de 1 à 10, 1 indiquant que la théorie est perçue comme ne décrivant pas du tout la réalité et 10 indiquant que la théorie est perçue comme décrivant parfaitement la réalité. Ensuite, l'élève est enjoint à justifier ses choix par des expériences scientifiques, personnelles, connaissances etc. Nous rappelons qu'à ce moment-là de l'activité, les élèves n'ont pas connaissance des phénomènes lumineux étudiés par la suite.

La suite de l'activité comprend l'énumération des phénomènes lumineux à mettre en relation avec les théories. La grille des phénomènes choisis est identique au MEL précédent : un phénomène est en soutien de la théorie Onde, un phénomène est en soutien de la théorie Particule, un phénomène est en soutien des deux théories et un phénomène n'a aucun lien ni avec l'une ni avec l'autre. Les élèves n'ont pas connaissance de cette classification, simplement des clés de l'activité. Ils devront par la suite justifier pourquoi tel phénomène soutient tel théorie, pourquoi tel phénomène contredit tel théorie...

Note importante :

Une nuance pour l'enseignant doit cependant être explicitée ; que veut dire, dans l'exemple de la nature de la lumière, ce phénomène soutient cette théorie ? Par exemple, le phénomène « diffraction » est catégorisé comme soutenant la théorie ondulatoire, qu'est-ce que cela signifie ? En fait, le mot « soutient » ici doit être compris par l'enseignant comme « peut être expliqué (uniquement) par ». Dans l'exemple ci-dessus, le phénomène de diffraction soutient la théorie ondulatoire car il ne peut être expliqué que par cette théorie. Cette nuance n'est pas perceptible par les élèves, en effet dire si un phénomène peut ou non être expliqué uniquement par une théorie ou l'autre requiert des connaissances précises et avancées qu'ils ne possèdent pas. Pour eux ils choisiront la théorie qui dans leur esprit « explique le mieux » un phénomène, sans savoir que l'autre ne peut fondamentalement l'expliquer.

Ainsi nous obtenons le tableau des phénomènes et leur catégorie suivant :

Phénomène soutenant la théorie ondulatoire.	Diffraction	observation n° 1
Phénomène soutenant la théorie corpusculaire.	Photodétection	observation n° 4
Phénomène soutenant les deux théories.	Réflexion	observation n° 2
Phénomène n'ayant aucun lien ni avec une théorie ni avec l'autre.	Vitesse finie	observation n° 3

Tableau 2 : Phénomènes et leur catégorie (Nature de la lumière)

Une justification du choix de ces phénomènes s'impose.

Commençons par le phénomène soutenant le modèle ondulatoire. Celui-ci ne doit être expliqué que par la théorie ondulatoire or la diffraction met clairement en jeu le caractère ondulatoire de la lumière. L'expérience choisie pour illustrer ce phénomène est l'expérience des double-fentes de Young qui fut d'ailleurs l'une des données expérimentales majeures en faveur de la lumière en tant qu'onde. Bien que ce phénomène soit aussi observable avec juste une fente, la double-fente fut choisie car le phénomène mis en jeu est plus simple à visualiser et à expliquer. Si la lumière est une particule alors la figure sur l'écran serait juste composée de deux raies, dues aux deux fentes. Cela contredit la théorie corpusculaire.

Le phénomène soutenant le modèle corpusculaire fut plus difficile à trouver. Les phénomènes ne pouvant être expliqués uniquement que par le modèle des particules de lumières sont des phénomènes exclusivement quantiques requérant des connaissances en Mécanique Quantique et en Mathématiques hors de portée pour des élèves de gymnase⁶. Il y a cependant un phénomène qui est facile à comprendre et qui montre clairement la nature corpusculaire de la lumière ; la photodétection. Dans l'expérience choisie, un faisceau lumineux monochromatique, de faible intensité et préparé dans un certain état est envoyé sur un détecteur de photons considéré parfait. Celui-ci détecte des pics d'énergie régulièrement espacés rendant compte de la statistique des photons du faisceau lumineux, à savoir que le faisceau est composé de particules qui sont régulièrement espacées. Ce phénomène ne peut être expliqué que par la théorie corpusculaire de la lumière⁷.

Les phénomènes soutenant les deux théories, c'est-à-dire expliqués par les deux théories, sont abondants, par exemple la réflexion, la réfraction, la dispersion... Parmi ces exemples, la réflexion est le plus facile à voir ; évoquant l'image d'une particule qui rebondit sur un miroir, le même phénomène se produisant pour l'onde.

Enfin, le choix du phénomène n'ayant aucun lien ni avec un modèle ni avec l'autre se porta sur la vitesse finie de la lumière. Ce fut aussi un débat entre scientifiques, posant la question « la lumière se propage-t-elle instantanément ou possède-t-elle une certaine vitesse ? ». On sait depuis le XIX^{ème} siècle que la vitesse de la lumière n'est pas infinie, c'est-à-dire elle ne se propage pas de façon instantanée, elle possède une vitesse finie néanmoins très élevée (en fait la vitesse la plus élevée dans l'Univers) égale à 299 792 458 m/s dans le vide. Cette information n'a aucun lien avec sa nature ondulatoire ou corpusculaire, c'est seulement une autre caractéristique de la lumière. Nous aurions également pu choisir les couleurs ; cela est un aspect totalement indépendant de la nature de la lumière.

La suite de l'activité correspond à la mise en relation des phénomènes avec les théories, en considérant les consignes et les clés d'un MEL (voir Figure 1). Les élèves doivent ensuite s'engager dans un raisonnement critique sur les liens qu'ils ont faits entre un phénomène et une théorie. Pour trois phénomènes de leur choix, ils doivent fournir une justification argumentée (voir la quatrième page de l'annexe MEL Lumière).

⁶ Ces phénomènes sont étudiés en cours d'Électrodynamique Quantique ou d'Optique Quantique au niveau Master.

⁷ Les personnes intéressées par la théorie derrière ce résultat peuvent consulter le livre de Mark Fox « Quantum Optics : An Introduction », section 5.6 Sub-Poissonian light (Fox, 2006).

Enfin, un questionnaire sur la plausibilité de chaque théorie, identique à celui proposé au début de l'activité, est distribué à chaque élève dans le but d'évaluer chez les élèves un changement conceptuel quant à la nature de la lumière.

Une question supplémentaire est ajoutée :

Après avoir fait cette activité, quelle est votre opinion sur la nature de la lumière ?

La question de l'opinion formulée est différente de la plausibilité. Ici l'élève peut donner et expliciter son avis sur la question de la nature de la lumière. C'est l'occasion de prendre du recul plutôt que comparer les deux théories. Pour rappel, les élèves sont en autonomie jusqu'à cette étape.

Idéalement, tous les élèves indiqueraient que la lumière est une onde et une particule mais à ce stade, cela est une tâche complexe. Les élèves ne peuvent pas être laissés là, avec des conceptions erronées (la réflexion soutient uniquement la théorie de la particule...). Dans la suite, l'enseignant prend le relais et amène les élèves vers les bons schémas de pensée et les explications correctes des phénomènes.

iii. Discussion et débat

La prochaine étape de l'activité consiste en une institutionnalisation des savoirs de l'activité. Concrètement, une discussion entre l'enseignant et les élèves a lieu sur le contenu de leurs réponses ; contenu qui sera examiné dans la partie IV. L'enseignant examine au tableau chaque phénomène l'un après l'autre et interroge les élèves sur les liens qu'ils ont établis entre ce phénomène et les théories. Le débat entre élève est aussi encouragé. Cet exercice permet aux élèves de confronter leur point de vue avec leurs pairs et ainsi créer un engagement et un processus de pensée plus profond car ils doivent justifier et argumenter en direct avec leurs camarades. Le rôle de l'enseignant ici est d'expliquer, diriger, étayer, démontrer, confirmer et corriger. Les phénomènes sont expliqués dans un ordre croissant de complexité ; la vitesse finie, la réflexion, la diffraction et la photodétection. Les phénomènes sont décortiqués et expliqués, grâce à des vidéos, animations, dessins, puis mis en lien avec les théories. Les ressources numériques ainsi que les liens utilisés sont disponibles en Annexe : Ressources numériques explications phénomènes.

À ce stade aucune théorie n'est plébiscitée. La prochaine étape consiste en une découverte de deux nouveaux phénomènes pour « départager » les deux théories.

iv. Découverte de deux nouveaux cas

Deux nouveaux phénomènes sont proposés aux élèves, au tableau ; la polarisation dans un premier temps, puis l'effet photoélectrique. Ces deux phénomènes ne sont pas choisis au hasard ; la polarisation relève d'un caractère ondulatoire et ne peut être expliquée par la théorie corpusculaire, l'effet photoélectrique, lui, démontre un caractère corpusculaire et ne peut être

expliqué par la théorie ondulatoire. Ces deux phénomènes sont également assez complexes et n'auraient donc pas été pertinents parmi les phénomènes décrits pour l'activité MEL.

Commençons par la polarisation. Le phénomène expliqué est le suivant :

« Lorsque la lumière passe à travers un filtre [représenté par des barres parallèles] à 0° puis un autre à 90° , aucune lumière n'est obtenue en sortie. »

L'enseignant engage ensuite une discussion avec les élèves sur les liens avec les différentes théories, liens qui doivent être évidemment argumentés. Le raisonnement adéquat est une fois encore construit avec l'enseignant. La conclusion doit être clairement énoncée : la polarisation est un phénomène lumineux qui est parfaitement décrit par la théorie ondulatoire et incompatible avec la théorie corpusculaire.

À ce stade, les élèves pensent probablement que l'on a planté le dernier clou dans le cercueil de la théorie corpusculaire...

L'effet photoélectrique est ensuite étudié. Celui-ci est trop complexe pour qu'une discussion avec les élèves ait un sens. Le phénomène est décrit puis expliqué :

« Lorsque une lumière d'une certaine couleur est envoyée sur un métal, des électrons s'échappent. Si la couleur change, les électrons ne s'échappent pas. Les électrons ont besoin d'énergie pour s'échapper. Dans la théorie ondulatoire, l'onde amène l'énergie en continue donc l'électron peut s'échapper une fois l'énergie nécessaire reçue. Ce n'est pas ce que l'on observe. La théorie ondulatoire ne marche pas dans ce cas. »

L'explication de ce phénomène est due à Albert Einstein (1879-1955) et lui valut le prix Nobel de Physique.

v. *Annonce de la dualité onde-corpuscule*

Les élèves doivent être amenés à se rendre compte que quelque chose ne va pas, que ces théories sont insatisfaisantes car aucune ne décrit entièrement la réalité. Chacune, prise seule, n'explique que certains phénomènes. Pis, non seulement chaque théorie est limitée dans les phénomènes qu'elle explique mais elle est également incompatible avec les autres phénomènes. Une discussion a lieu autour de ce problème-là, puis l'enseignant annonce :

« Nous avons besoin d'établir une nouvelle théorie, qui considère les deux aspects, les deux caractères de la lumière, le caractère ondulatoire et le caractère corpusculaire. La dualité onde-corpuscule est née ! »

« Dans cette nouvelle théorie, la lumière est un objet quantique. Elle est composée de petits paquets d'énergie, les photons. Ils sont quantifiables (propriétés des particules) et possèdent une longueur d'onde (propriété des ondes). Cette théorie rend compte de tous les phénomènes lumineux connus et prédit même de nouveaux phénomènes ! »

vi. Questionnaire bilan

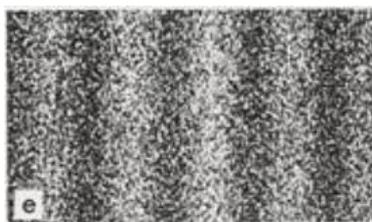
Enfin, un dernier questionnaire est distribué. Celui-ci comprend les mêmes questions sur la nature de la science que dans la partie i. Une question est toutefois ajoutée :

En quoi votre vision de la Science et de la Physique a-t-elle évoluée après cette activité ?

De plus, deux questions sur l'activité sont proposées :

Quelqu'un fait la déclaration suivante : « La lumière est clairement une onde. Cette théorie explique la plupart des phénomènes lumineux, et notamment la diffraction qui ne peut pas être expliquée par la théorie corpusculaire et donc invalide cette dernière ». Développer une réponse, sur la base de ce que vous avez appris sur la lumière et sa nature.

Les électrons sont des particules élémentaires de la matière qui possèdent une masse très petite. Nous conduisons l'expérience suivante : un canon à électrons envoie des électrons un à un à travers une double-fente, similaire à l'expérience sur la diffraction avec la lumière vue plus haut. Les électrons arrivent sur un écran où chaque électron est détecté. Après un grand nombre d'électron détecté, voilà la figure que l'on observe au détecteur :



Comment interprétez-vous ce résultat et pourquoi ? Argumenter.

La deuxième question évalue leur capacité à reconnaître, interpréter et appliquer leur compréhension du concept à une expérience inédite.

3. Méthodologie

L'analyse des résultats portera sur les traces écrites des élèves, à savoir leurs réponses à la question de connaissance, au questionnaire avant/après sur la nature de la science, aux jugements de plausibilité avant/après, aux justifications des liens phénomènes-théories ainsi qu'aux questions bilans. Nous nous attarderons sur les différences et points communs ainsi que sur les éventuels changements conceptuels chez certains élèves.

IV. Résultats

Les résultats de l'activité sur la lumière uniquement seront traités, l'activité sur la géométrie de la Terre ne servant qu'introduction et de répétition pour le MEL.

1. Question de connaissance

Quelles sont les différentes théories sur ce qu'est la lumière dont vous avez connaissance ? Vous pouvez évoquer des notions vues à l'école ou ailleurs.

Les élèves ne savent pas, en général, définir ce qu'est la lumière : 11 élèves sur 14 soit ne répondent pas soit répondent de façon non pertinente. Dans le détail, 6 élèves sont sans opinion et 5 élèves ont répondu des réponses qui portent sur des aspects qui ne concernent pas la nature de la lumière. Par exemple, une élève répond : « les couleurs, la réfraction, la vitesse de la lumière ». Un autre répond de manière plus descriptive « la lumière est ce qui illumine toute chose. Elle peut provenir du Soleil, de l'électricité, etc. ». Les autres réponses données sont plus pertinentes : 1 élève répond que c'est une « particule » et 2 élèves répondent que c'est « des photons ». Aucun élève ne répond « onde ».

2. Plausibilité (avant/après)

Un jugement de plausibilité, sur une échelle de 1 à 10, est porté par les élèves sur chaque théorie étudiée. Ce jugement a lieu à deux moments. La première fois (« avant ») est au début de l'activité MEL, juste après le texte introductif et la deuxième fois (« après ») à la fin de l'activité MEL. Les résultats sont retranscrits dans le tableau suivant :

	Avant		Après																	
	Onde	Particule	Onde	Particule																
Élève n°1	5	7	8	4	<table border="1"> <tr> <td style="background-color: #8B4513;"></td> <td>Inversion</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #D2691E;"></td> <td>Changement de 2</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FFDAB9;"></td> <td>Changement de 1</td> </tr> <tr> <td style="background-color: #FFFFFF;"></td> <td>Aucun changement</td> </tr> </table>		Inversion		Changement de 2		Changement de 1		Aucun changement							
	Inversion																			
	Changement de 2																			
	Changement de 1																			
	Aucun changement																			
Élève n°2	8	7	7	7																
Élève n°3	9	1	9	1																
Élève n°4	9	3	9	1																
Élève n°5	5	8	3	8																
Élève n°6	8	7	8	8																
Élève n°7	9	1	9	1																
Élève n°8	5	7	10	5																
Élève n°9	9	3	9	3																
Élève n°10	9	3	9	5																
Élève n°11	7	5	7	5																
Élève n°12	8	7	1	10																
Élève n°13	8	8	8	8																
Élève n°14	5	9	6	8																
Moyenne	7,4	5,4	7,4	5,3	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">Choix des élèves</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Avant</th> <th>Après</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Onde</td> <td>9</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Particule</td> <td>4</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Les deux</td> <td>1</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Choix des élèves				Avant	Après	Onde	9	8	Particule	4	3	Les deux	1	3
Choix des élèves																				
	Avant	Après																		
Onde	9	8																		
Particule	4	3																		
Les deux	1	3																		
Écart-type	1,7	2,7	2,5	3,0																

Tableau 3 : Jugements de plausibilité (avant/après)

La moyenne et l'écart-type pour chaque théorie sont représentés dans le graphique suivant :

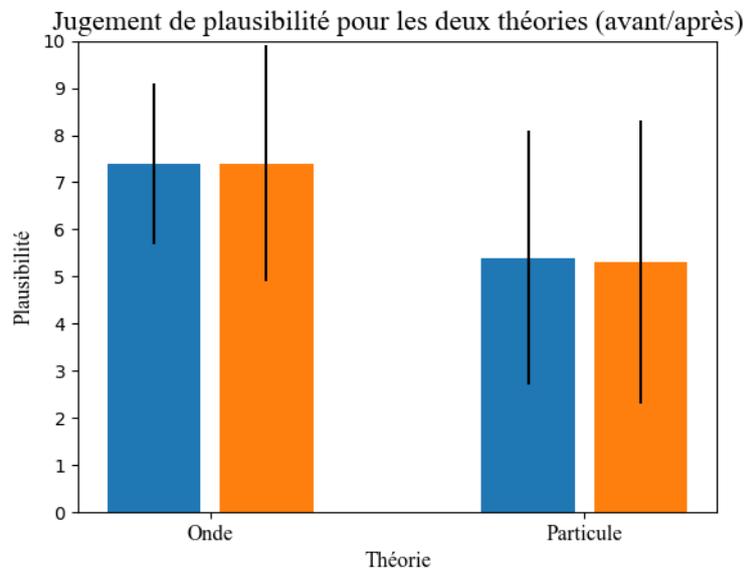


Figure 2 : Graphique de la moyenne et écart-type des résultats

La théorie ondulatoire est privilégiée que ce soit avant ou après. Avant le MEL, 9 élèves la préfèrent. Elle obtient une grande plausibilité mais jamais parfaite (10). De plus il y a peu de variations dans leurs réponses, l'écart-type étant de 1,7. Après le MEL, 8 élèves la favorisent, la moyenne de la plausibilité est égale mais les variations sont plus importantes.

La théorie corpusculaire apparaît moins plausible, seuls 4 élèves la choisissent avant et 3 après. Elle est même jugée impossible pour 2 élèves avant et pour 3 élèves après. Un élève pense que cette théorie explique parfaitement la réalité. En moyenne la plausibilité ne change pas entre avant et après, mais les variations dans les réponses augmentent.

Concernant le changement conceptuel, une grande majorité des élèves, 11 sur 14, expérience un changement mineur (la plausibilité après varie de 2 ou moins sur l'échelle) avec même 5 élèves qui ne change aucunement leur jugement. Parmi ces élèves chez qui le changement est mineur, le changement intervient de deux façons : soit pour augmenter la plausibilité de la moins plausible, soit pour la diminuer.

L'activité produit cependant une inversion de la plausibilité chez 3 élèves. Parmi ces élèves, 2 considèrent désormais la théorie ondulatoire comme bien supérieure en gardant toutefois une plausibilité autour de 5 pour la théorie corpusculaire. À l'inverse, 1 élève est désormais convaincu que la théorie corpusculaire est parfaite et que la théorie ondulatoire est impossible.

Les justifications sont exposées dans la section suivante.

3. Justifications de la plausibilité (avant/après)

Les questionnaires sur la plausibilité sont accompagnés par une demande de justification. Les résultats pour le questionnaire pré-activité MEL sont les suivants :

Théorie	Justification	Nombre d'élèves	Plausibilité
Onde	Théorie plus récente développée par trois scientifiques.	4	8
	Les ondes se reflètent.	3	9
	La lumière a l'air de faire des vagues quand elle se déplace.	3	5
	Aucune.	4	5,7,9,9
Particule	La théorie fut enseignée dans des facultés et inventée par un grand scientifique (Newton).	4	7
	Les particules ne peuvent pas se refléter.	2	1,3
	La lumière en tant que particule ferait mal aux yeux.	1	3
	Aucune.	7	1,3,5,7,7,8,9

Tableau 4 : Justifications des plausibilités pour chaque théorie (avant)

Le questionnaire post-activité MEL quant à lui amène ces résultats :

Théorie	Justification	Nombre d'élèves	Plausibilité
Onde	Les phénomènes semblent être de son côté.	2	8
	La réflexion et la diffraction.	1	1
	Les ondes peuvent se refléter.	2	9
	La lumière est composée de photons.	1	3
	Souvenirs ou intuition.	2	9
	Théorie plus récente développée par trois scientifiques.	1	8
	Aucune.	5	6,7,7,9,10
Particule	Les phénomènes semblent être moins de son côté.	1	4
	Les particules ne peuvent se refléter.	2	1
	La réflexion.	1	10
	Des expériences la démontrent.	1	8
	Aucune expérience ne contredit fortement.	1	5
	La lumière n'est pas un phénomène ondulatoire.	1	8
	Intuition.	2	3, 5
	Enseignée dans faculté et due à Newton.	2	8
Aucune.	5	1, 5, 5, 7, 8	

Tableau 5 : Justifications des plausibilités pour chaque théorie (après)

Les élèves ont de la peine à justifier leurs jugements de plausibilité avant, se servant des informations données dans l'introduction (« Théorie plus récente développée par trois scientifiques. »), d'une intuition (« La lumière a l'air de faire des vagues quand elle se déplace. ») ou même ne donnant aucune justification. Malgré cela, les valeurs attribuées vont de 1 à 9.

Après l'activité, une part conséquente, environ 36%, des élèves ne donnent toujours aucune justification. Quelques élèves utilisent les mêmes arguments qu'avant l'activité. Cependant plusieurs élèves répondent avec les données de l'activité « les phénomènes semblent être de son côté », « la réflexion et la diffraction », « aucune expérience ne contredit fortement [la théorie corpusculaire] ».

4. Justifications des liens du MEL

La présente partie présente les justifications données concernant les liens faits lors de l'activité MEL. Les propositions de MEL des groupes sont représentées en Annexe : MEL des groupes.

Phénomène	Nombre de groupes	Clé	Théorie	Justification
Diffraction	1	Soutient	Onde	Une onde a la capacité de se refléter.
	1	Soutient fortement		La lumière se répète à gauche et à droite.
	2	Contredit		
	3	Soutient	Particule	
	1	Contredit		Si c'est un trait, on ne verrait pas la lumière de tous les côtés.
Réflexion	2	Soutient	Onde	Une onde peut rebondir sur une surface.
	1	Soutient fortement		Les ondes peuvent se refléter.
	1	Contredit		Une onde ne peut être constamment réfléchié dans une même direction.
	2	Soutient	Particule	Les particules peuvent rebondir sur le miroir.
	1	Soutient fortement		Un « trait », faisceau lumineux, droit se réfléchit avec le même angle.
	1	Contredit		Une particule ne peut pas se refléter
Vitesse finie	2	Soutient	Onde	Une onde et une particule peuvent se déplacer
	1	Soutient fortement		

Vitesse finie	1	Rien à voir	Onde	La vitesse n'a rien à voir avec ces théories. Une onde peut se déplacer sans que la vitesse en dépende.
	2	Soutient	Particule	Ne peut être instantanée.
	2	Rien à voir		Une particule peut se déplacer sans que la vitesse en dépende.
Photo-détection	3	Soutient	Onde	Les pics sont très réguliers et font penser à une onde. Trop régulier pour être une particule.
	1	Rien à voir	Particule	
	1	Soutient		
	1	Contredit		Particule c'est pas très régulier.
	2	Rien à voir		Les particules ne peuvent pas être détectées par de la lumière.

	Clé correcte
	Aucune justification

Tableau 6 : Justification des liens MEL

Nous pouvons voir que les phénomènes sont assez mal caractérisés par les groupes. Parmi les liens justes, on remarque que 2 groupes ont une bonne idée du lien entre réflexion et théorie corpusculaire. La vitesse finie est bien analysée par 2 groupes en ce qui concerne son lien avec la théorie corpusculaire et 1 groupe pour la théorie ondulatoire. La photodétection n'est bien caractérisée par aucun groupe.

Pour rappel, chaque élève pouvait choisir trois liens et les justifier. Malheureusement, toutes les justifications n'ont pas pu être données ; celles-ci n'ont pas été choisies par les élèves.

5. Opinion sur la nature de la lumière après le MEL

Après avoir fait cette activité, quelle est votre opinion sur la nature de la lumière ?

À cette question 5 élèves considèrent que c'est une onde, mais un élève admet que « les deux sont plausibles mais une l'est plus que l'autre ». Une élève considère que la lumière est « corpusculaire » et un élève estime que « ce sont des photons ». Une élève dit que « la lumière est trop complexe pour qu'on puisse la définir et la repérer ». Un élève pense que « c'est une onde qui se déplace linéairement ». Enfin 5 personnes ne mettent rien.

Une conversation orale a lieu juste après l'explication des phénomènes lumineux et l'application à la polarisation et à l'effet photoélectrique (donc bien après cette question sur leur opinion de la nature de la lumière). Lors de cette discussion entre les élèves et l'enseignant, quelques élèves proposent naturellement « c'est les deux ». Ils argumentent en parlant de « particules avec des trajectoires d'ondes », ou « d'ondes faites de particules ».

6. Questions sur la nature de la science (avant/après)

Trois questions sur la nature de la science complètent l'activité.

Les scientifiques produisent du savoir en sciences. Pensez-vous que ce savoir puisse changer dans le futur ? Expliquer votre réponse et donner un exemple.

Dans le questionnaire pre-activité, 11 élèves répondent « oui » avec des justifications données plus bas. Au contraire, 2 élèves répondent « non ». Parmi ces deux élèves, l'une répond :

« En fait, j'ai l'impression qu'on a tout découvert (surement parce que je ne me rends pas compte du nombre de choses qui existent à d'autres échelles que la nôtre par exemple) et que les choses qu'on sait déjà, en tout cas en physique c'est trop prouvé scientifiquement/mathématiquement pour qu'on puisse dire le contraire. »

Un élève nuance en disant « pas vraiment changer mais se préciser ». Cette idée que le savoir « se précise » est partagée par 3 autres élèves. Les exemples sont rares, on peut citer « la théorie de la gravitation de Newton juste mais qu'à petite échelle, Einstein l'adapte à grande échelle ». Ou encore « la tectonique des plaques », les connaissances sur « le système solaire », « la recherche médicale ». Enfin une élève donne l'exemple du « savoir sur l'astronomie, la météorologie, phénomène lié à Dieu ou la nature ». Une poignée d'élèves justifie ces changements de savoir par l'apparition de « nouveaux phénomènes », « nouvelles preuves » et « nouvelles connaissances ». Une élève explique que « le savoir peut être complété avec les technologies futures ».

Après l'activité, tous les élèves ayant répondu répondent « oui ». Seul 1 élève n'a pas eu le temps de répondre, il pensait « évidemment » la première fois. Plusieurs élèves justifient une fois de plus leur réponse par les nouvelles « découvertes », « expériences », « données » ou « technologies ». Les deux élèves qui pensaient « non » au départ ont changé d'avis, l'élève citée plus haut disant : « Oui je pense que certaines théories sont encore bancales et que de nouveaux phénomènes/théories pourront mieux expliquer des phénomènes et sans fautes ». L'autre élève dit quant à elle : « Oui d'autres théories et preuves peuvent tout faire changer ».

La deuxième question traite de ce qui influence la plausibilité :

Qu'est-ce qui influence la plausibilité d'une théorie (par exemple, la théorie atomique, la théorie de l'évolution, ou d'autres théories) ?

Pre-activité, la réponse qui revient le plus est celle des preuves qui corroborent ou des expériences expliquées par la théorie, donnée par 6 élèves. 3 élèves considèrent les preuves mathématiques comme influençant la plausibilité. Enfin, on peut citer parmi les autres réponses, « expériences », « observations », « preuves logiques et sensées qui mettent tout le monde d'accord », « la théorie doit être prouvée et vérifiée en tout temps sinon elle n'est plus à jour », « qui la fait et comment ».

Post-activité, la réponse la plus citée est toujours les expériences qui soutiennent la théorie (7 réponses). Les preuves mathématiques sont citées 2 fois mais une nouvelle réponse apparaît « les expériences qui les prouvent ainsi que celles qui prouvent qu'elles ne sont pas possible », citée par 2 personnes. Enfin une élève répond « observation » et un élève « le fait qu'elle fonctionne dans tous les cas. »

Enfin, la troisième question porte sur le poids relatif d'expériences soutenant une théorie par rapport aux expériences qui contredisent cette même théorie :

Quel est le poids d'une expérience qui soutient une théorie par rapport à une expérience qui contredit cette même théorie ?

Avant l'activité, 6 élèves accordent un poids plus grand aux expériences qui contredisent : « une expérience qui contredit une théorie va amener à se questionner et à formuler d'autres hypothèses et théories [donc] beaucoup plus important ». Deux élèves pensent que le poids est égal entre les deux. Une élève pense que celle qui soutient a plus de poids que celle qui contredit. Enfin plusieurs personnes ne prennent pas position et évoque plutôt des « coïncidences » ou questionne l'origine de l'expérience ou la personne derrière.

Après : 5 élèves accordent un poids plus important aux expériences qui contredisent une théorie. Une élève donne un poids égal aux deux et une élève estime que celles qui soutiennent ont plus de poids. Il est utile de noter que cette dernière élève n'est pas la même que celle qui a donné la même réponse avant. Enfin quelques élèves ne répondent pas clairement à la question et évoque par exemple « ca dépend de l'expérience (exemple lumière) », « [ça dépend de] sa plausibilité et sa cohérence au niveau physique » ou encore « on ne peut pas conclure (exemple lumière) ».

7. Question compréhension bilan

La séquence didactique se termine avec deux questions visant à tester la compréhension, l'argumentation ainsi que l'application à un contexte différent.

Pour la première question, à savoir sur l'argumentation face à une personne pensant que la lumière est juste une onde, 10 élèves sur 12 parlent de la dualité onde et particule. Seuls 1 élève répond « onde » et 1 élève « particule ». La justification diffère cependant ; 2/3 des élèves argumentent en utilisant des phénomènes comme exemple pour nuancer le propos, tantôt soutenant la théorie ondulatoire tantôt soutenant la théorie corpusculaire. Tous les élèves répondent mais 4 élèves ne donnent aucune justification.

La deuxième question amène une diversité de réponses, commençons par la reconnaissance :

Deux élèves disent explicitement qu'ils reconnaissent la figure de diffraction, « On pourrait faire une analogie avec le phénomène de diffraction de la lumière ». Une élève le dit de manière implicite : « Normalement dans cette expérience c'est la théorie des ondes qui est soutenue et non pas celle des électrons ». Les autres ne le mentionnent pas.

Concernant l'interprétation, 5 élèves interprètent correctement le phénomène : « Les électrons se comportent comme des ondes », « les électrons ont le même comportement que la lumière ».

Une personne ne perçoit pas les franges : « On a vu que la diffraction soutenait les ondes, mais avec des électrons, l'écran avec différentes lignes de lumière n'est pas réalisé ».

Quatre personnes mettent en exergue le caractère ondulatoire mais pas dans la nature de l'électron, plutôt dans son mouvement : « les électrons prennent une trajectoire d'onde », « les

particules se déplacent peut-être en onde ? », « les électrons font abstraction de la double-fente et restent groupés ». Une personne affirme que « les électrons se reflètent ».

Deux élèves restent dans une approche descriptive : « les électrons sont libres et ils n'arrivent pas aux mêmes endroits : certaines zones sont plus utilisées donc plus foncées. », « les fentes donnent la forme de vagues aux ondes ». Enfin, 2 élèves n'interprètent pas.

V. Discussion

Les résultats amènent plusieurs remarques concernant les bénéfices pédagogiques de cette activité.

L'un des premiers constats que l'on peut faire est le manque de connaissances physiques sur la lumière. Cette absence de connaissances antérieures entrave les premières questions, c'est-à-dire la question de connaissance et les justifications de la plausibilité avant. On voit en effet qu'entre un tiers et la moitié des élèves ne donne aucune justification à ces questions. Après l'activité 5 élèves ne donnent toujours aucune justifications ni pour l'une ni pour l'autre. Les connaissances s'améliorent cependant au fur et à mesure de l'activité, notamment avec la découverte des phénomènes.. En effet, lors de la question bilan quasiment tous les élèves possèdent l'idée du caractère dual de la lumière.

Les élèves ont très peu de connaissances sur la lumière avant l'activité. Aucun des élèves ne voit la lumière comme une onde, bien qu'énoncé plus tôt dans l'année. Un changement remarquable apparaît très tôt : après simplement avoir lu l'introduction de l'activité, donc sans connaître encore les phénomènes à étudier, un basculement à lieu sur la nature de la lumière. Désormais, trois quarts des élèves estiment que la lumière est plutôt une onde et utilisent comme arguments des informations de l'introduction ou « les ondes se reflètent », qui est une phrase assez mystérieuse sans plus d'indications. Quatre élèves accordent une forte plausibilité à l'onde sans pour autant pouvoir justifier. On peut se demander si l'introduction n'entraîne pas un biais chez les élèves en faveur de la théorie ondulatoire.

L'analyse des liens MEL ainsi que le déroulement en classe montrent que le niveau de l'activité était élevé. Les phénomènes proposés ne sont pas évidents pour des personnes n'ayant aucune connaissance antérieure sur les phénomènes lumineux.

- La réflexion a été le phénomène le mieux compris et a bénéficié de bonnes justifications, par exemple « une onde et une particule peuvent rebondir sur une surface ». C'était attendu.
- Le phénomène de la diffraction est difficile à catégorisé sans de plus amples explications, même si on pourrait imaginer un raisonnement comme « si le faisceau était composé de particules, on obtiendrait deux franges sur l'écran, donc contredit la particule ». Par contre le lien avec l'onde est impossible à discerner pour des élèves sans connaissances approfondies.
- La vitesse finie a créé une confusion entre « soutient les deux » et « n'a rien à voir avec », seulement remarqué et correctement justifié par 1 groupe. La différence est un élément subtil à voir également.

- Enfin, la photodétection, qui constituait la preuve en faveur de la particule, a été interprétée comme une preuve pour l'onde à cause du caractère « régulier » des pics, pouvant faire penser à une onde sinusoïdale. Cette interprétation est compréhensible étant donné leur niveau. Malheureusement, c'est parce que ces pics sont réguliers que la théorie ondulatoire n'est pas valide, on observe la nature discrète de la lumière. Ici, nous sommes face à un dilemme ; soit mettre des pics non réguliers pour appuyer la notion de particules et être dans le faux scientifiquement (cf Fox « Quantum Optics : An Introduction »), soit rester avec des pics réguliers scientifiquement justes mais qui seront interprétés par les élèves comme un caractère ondulatoire sinusoïdal.

On constate que cette activité MEL n'entraîne en moyenne pas de bouleversements des représentations conceptuels, contrairement aux études citées plus haut. On perçoit ici la conséquence du niveau élevé de l'activité. Mis en autonomie totale, une mauvaise interprétation des phénomènes entraîne un déséquilibre dans les théories. Dans notre exemple, si la photodétection est considérée comme « onde », l'activité penche clairement du côté de l'onde. Il n'y a donc pas dans leur esprit autant de preuves pour la particule que pour l'onde, ils concluent en conséquence. Les mauvaises interprétations de l'activité les dirigent également vers de mauvaises conclusions. Une autre preuve du fait que les élèves prennent en compte l'activité et du déséquilibre envers l'onde est que l'inversion qui a lieu pour 3 élèves amène 2 élèves vers l'onde et au contraire 1 élève vers la particule. Il y a aussi probablement une part de biais de confirmation dans ce jugement. Cela étant dit, lors de la discussion entre l'enseignant et les élèves, après l'explication des phénomènes et avant l'annonce de la dualité onde-corpuscule, l'idée que la lumière doit être une onde *et* une particule apparaît chez quelques élèves. Les phénomènes expliqués amènent donc certains élèves à reconsidérer leur jugement.

L'argumentation est essentielle dans cette activité. Elle fait apparaître ces lacunes chez les élèves. Plusieurs étapes pointent ces difficultés chez les élèves qui peuvent être expliquées par plusieurs facteurs. Le premier est le manque de connaissances physiques comme discuté plus haut. Le deuxième est le manque d'entraînement à ce genre d'exercice. Certaines des justifications données pour les liens sont non pertinentes, comme « Une onde et une particule peuvent se déplacer » pour justifier que la vitesse finie soutient l'onde ou encore « Les particules ne peuvent pas être détectées par de la lumière » concernant la photodétection. Même après les explications et discussions avec l'enseignant, 4 élèves sur 14 ne justifient pas leur choix pour la question bilan. Il faut apprendre aux élèves ce que veut dire une justification, un argument scientifique. Cela doit se construire par la pratique régulière.

La partie la plus difficile était la question concernant l'application aux électrons. Elle est là pour tester une compréhension profonde du concept de dualité onde-corpuscule et pour voir si ce concept pouvait être transféré par les élèves aux électrons. Une partie significative des élèves, 5 sur 14 interprètent correctement ce phénomène, c'est une très bonne chose. Ce transfert vers la matière devrait être institutionnalisé également.

La vision de la nature de la science a évolué mais apportent quelques résultats surprenants. Il ressort que tous les élèves, post-activité, sont convaincus que le savoir en science peut changer, cela grâce à la découverte de nouveaux phénomènes, l'élaboration de nouvelles théories... Les réponses pour la plausibilité amènent plusieurs remarques ; d'une part les élèves pensent en premier aux preuves qui corroborent pour l'influence de la plausibilité. C'est juste mais c'est à mettre en rapport avec les preuves qui contredisent également. Cette réponse apparaît d'ailleurs

chez 2 élèves post-activité. D'autre part, la preuve mathématique est aussi citée. On peut faire des sciences sans théorie mathématique, comme en Biologie, Géologie ou encore en Médecine, cette réponse apparaît probablement car c'est une question posée dans un cours de Physique, considérée par les élèves (et des physiciens) comme proche des mathématiques. La logique et la validité mathématique est un prérequis pour une théorie physique mais ce n'est pas parce qu'une théorie est cohérente mathématiquement qu'elle est plausible physiquement. Dans la question suivante, les élèves accordent paradoxalement un poids plus important aux preuves qui contredisent une théorie par rapport à celles qui corroborent, même s'ils n'en font pas mention dans les facteurs de plausibilité. C'est un bon raisonnement mais l'activité n'entraîne pas de progression du nombre de cette réponse.

VI. Conclusion

Ce travail de mémoire fut le fruit de nombreuses recherches et discussions dans le but d'amener chez les élèves la notion de dualité onde-corpuscule de la lumière. L'activité MEL seule n'a pas permis de changement conceptuel majeur et généralisé concernant la nature de la lumière. Les élèves jugeaient la théorie ondulatoire plus plausible avant et la jugeaient plus plausible après. Ce manque de changement conceptuel est attribué en majeure partie à la difficulté de l'activité, mêlant phénomènes complexes et interprétations difficiles. Le phénomène de dualité onde-particule est cependant anticipé par certains élèves une fois les explications de chaque phénomène données. Cette notion est par la suite retenue par la quasi-totalité des élèves et même correctement transférée aux électrons par 36% d'entre eux. Il serait intéressant de voir les bénéfices de cette activité sur une classe option spécifique Maths-Physique. Pour une classe non-scientifique, l'activité doit être plus étayée.

Il serait hautement bénéfique pour les élèves de pratiquer cette activité de manière régulière dans les cours de sciences, le caractère inédit de l'activité révélant chez une part importante des élèves des lacunes dans l'argumentation scientifique. Une évolution de la vision de la nature de la science est également notée mais devrait elle aussi donner lieu à une institutionnalisation de l'enseignant sur le rôle des preuves, la construction du savoir et la nécessité des débats en science.

Les bénéfices pédagogiques d'une activité MEL sur la nature de la lumière sont multiples : une meilleure compréhension du phénomène de dualité onde-corpuscule, une initiation aux argumentations scientifiques, qui doivent être poursuivis pour gagner en qualité, ainsi qu'une amélioration de la vision de la nature de la science, devant toutefois être institutionnalisée afin d'éviter les mauvaises conceptions.

Résumé

Ce travail de mémoire relate la conception ainsi que l'analyse d'un nouveau type d'activité pédagogique pour des élèves au gymnase, sur la nature de la lumière et la dualité onde-corpuscule en Physique. Il apparaît qu'une telle activité est bénéfique au sein d'une séquence didactique, amenant des connaissances des phénomènes et une compréhension approfondie du concept chez les élèves. Les changements conceptuels peuvent cependant être inhibés par le niveau élevé de l'activité. Ce type d'activité permet également une meilleure argumentation scientifique même si celle-ci doit être pratiquée régulièrement pour atteindre un certain niveau de qualité. Enfin une telle activité confronte les élèves à la construction du savoir en science, résultant dans une amélioration de la vision de la science et de sa nature.

Mots-clés : gymnase – lumière – physique – nature de la science – changement conceptuel – argumentation – esprit critique

Remerciements

Pour ce travail de mémoire professionnel à la HEP de Lausanne, je remercie particulièrement mon directeur de mémoire, Engin BUMBACHER pour sa participation, son intérêt flagrant, son enthousiasme, ses idées, ses conseils et sa disponibilité tout au long du semestre. Ce travail est le fruit de nos nombreuses conversations. Je remercie également Yves DEBERNARDI pour ses leçons et nos discussions en didactique de la Physique, qui ont amené des réflexions et des idées nouvelles sur l'enseignement de la Physique au gymnase. Je remercie également mes collègues stagiaires pour leur soutien ainsi que mes élèves pour leur forte implication dans ce projet.

Bibliographie

- Abd-El-Khalick, F., Belarmino, J. J., Brunner, J. L., Le, A.-P., Myers, J. Y., Summers, R. G., . . . Zeineddin, A. A. (2017). *A longitudinal analysis of the extent and manner of representations of nature of science in US high school chemistry, biology, and physics textbooks*. Routledge.
- Bailin, S., Case, R., Coombs, J. R., & Daniels, L. B. (1999). Conceptualizing critical thinking. *Journal of Curriculum Studies, 31*, 285-302.
- Brewer, W. F., Chinn, C. A., & Samarapungavan, A. (1998). Explanation in scientists and children. *Minds and Machines, 8*, 119-136.
- Buchs, C. (2017). *Comment organiser l'apprentissage des élèves par petits groupes ?* Paris: Paris : Conseil National d'évaluation du Système Scolaire.
- Bumbacher, E. (2019). Supporting evidence-based reasoning in science education: An examination of pedagogical and technological approaches. *Stanford University ProQuest Dissertations Publishing*.
- Chinn, C., & Buckland, L. A. (2012, Avril). Model-Based Instruction: Fostering Change in Evolutionary Conceptions and in Epistemic Practices. *Evolution Challenges: Integrating Research and Practice in Teaching and Learning about Evolution*, pp. 210-232.
- Commission, E. (2011). *Science education in Europe : National policies, practices and research*. Brussels: Education, Audiovisual and Culture Executive Agency.
- Council, N. R. (2013). *Next Generation Science Standards: For States, By States*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education, 84*, 287-312.
- Duschl, R. A., Scweingruber, H. A., & Shouse, A. W. (2007). *Taking Science to School: learning and teaching science in Grades K-8*. Washington, DC: National Academies Press.
- Ennis, R. H. (1985). A logical basis for measuring critical thinking skills. *Educational Leadership, 43*, 44-48.
- Facione, P. A. (1990). Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction.
- Faize, F. A., Waqar, H., & Nisar, F. (2017). A Critical Review of Scientific Argumentation in Science Education. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 475-483*.
- Fouad, K., Masters, H., & Akerson, V. (2015). Using History of Science to Teach Nature of Science to Elementary Students. *Science & Education, 24*, 1103-1140.
- Fox, M. (2006). *Quantum Optics : An Introduction*. Oxford: Oxford University Press.

- Holmes, N. G., Wieman, C. E., & Bonn, D. A. (2015). Teaching critical thinking. *Proc Natl Acad Sci U S A*, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4568696/>.
- Kuhn, D. (2002). What is scientific thinking, and how does it develop? *Blackwell Handbook of Childhood Cognitive Development*, 371–393.
- Lai, E. R. (2011). Critical thinking: A literature review. *Pearson's Research Reports* (6), 40-41.
- Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: A review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 331-359.
- Lombardi, D., Sibley, B., & Carroll, K. (2013). What's the alternative? *The Science Teacher*, https://sites.temple.edu/meldiagrams/files/2014/06/LombardiEtAl2013_WhatsTheAlternative.pdf.
- Lombardi, D., Sinatra, G. M., & Nussbaum, M. E. (2013). Plausibility reappraisals and shifts in middle school students' climate change conceptions. *Learning and Instruction*, 27, 50-62.
- von Aufshnaiter, C., Erduran, S., & Osborne, J. S. (2008). Arguing to learn and learning to argue: Case studies of how students' argumentation relates to their scientific knowledge. *Journal of Research in Science*, 45(1), 101-131.
- Vygotski, L. (1934). *Pensée et langage*.

Annexe

Les annexes sont disponibles aux pages suivantes.

Nom :

Prénom :

Noms des personnes du groupe :

Annexe MEL Terre

Activité : Géométrie de la Terre

Contrairement à la croyance populaire, les savants et érudits des différentes sociétés considèrent la Terre comme une sphère depuis l'Antiquité. La géométrie de la Terre est cependant l'objet de controverse depuis plusieurs années. Les « Platistes » sont les personnes qui pensent que la Terre est plate, qu'elle ressemble à un disque, et que l'on nous ment en nous la décrivant comme ronde.

Le but de cette activité est de mettre en relation des phénomènes et ces théories afin d'évaluer leur plausibilité.

Consignes : Dessiner deux flèches pour chaque phénomène, allant vers les deux théories. Vous dessinerez donc un total de huit flèches.

Clés :

	Le phénomène soutient la théorie
	Le phénomène soutient fortement la théorie
	Le phénomène contredit la théorie
	Le phénomène n'a rien à voir avec la théorie

Phénomène n°1 :
Au sol, l'horizon
semble plat.

La Terre est
un disque

Phénomène n°2 :
Le Soleil se
déplace dans le
ciel.

La Terre est
une sphère

Phénomène n°3 :
Les bateaux au
loin disparaissent
de manière
progressive.

Phénomène n°4 :
L'ombre de la
Terre projetée sur
la Lune est un
disque.

Nom :

Prénom :

Noms des personnes du groupe :

Expliquer deux de vos choix dans le tableau suivant :

Phéno- mène n°	Clé	Théorie	Raison
	<input type="radio"/> soutient <input type="radio"/> soutient fortement <input type="radio"/> contredit <input type="radio"/> n'a rien à voir avec	<input type="radio"/> disque <input type="radio"/> sphère	
	<input type="radio"/> soutient <input type="radio"/> soutient fortement <input type="radio"/> contredit <input type="radio"/> n'a rien à voir avec	<input type="radio"/> disque <input type="radio"/> sphère	

Nom :

Prénom :

Noms des personnes du groupe :

Expliquer deux de vos choix dans le tableau suivant :

Phéno- mène n°	Clé	Théorie	Raison
	<input type="radio"/> soutient <input type="radio"/> soutient fortement <input type="radio"/> contredit <input type="radio"/> n'a rien à voir avec	<input type="radio"/> disque <input type="radio"/> sphère	
	<input type="radio"/> soutient <input type="radio"/> soutient fortement <input type="radio"/> contredit <input type="radio"/> n'a rien à voir avec	<input type="radio"/> disque <input type="radio"/> sphère	

Nom :

Prénom :

Noms des personnes du groupe :

Annexe MEL Lumière

Activité : Nature de la Lumière

La lumière est un sujet qui fascine les Humains depuis très longtemps. Comment est-elle créée ? A-t-elle une vitesse de propagation ? Dans quoi se propage-t-elle ? De quoi est-elle composée ? Toutes ces questions animèrent les scientifiques de toutes les époques et les poussèrent à investiguer cet objet.

Dans cette activité, nous nous intéresserons à la nature de la lumière, et proposerons une réponse à la question : qu'est-ce que la lumière ?

*Commençons par un peu d'histoire... Le XVIII^{ème} siècle est le lieu d'un débat houleux entre grands scientifiques. En 1704, Isaac Newton (1642-1727) pense que la lumière est composée de petites particules, c'est la **théorie corpusculaire de la lumière**. Du fait du prestige de Newton, cette théorie est enseignée dans les nombreuses facultés à travers le monde et n'est pas remise en question. Plus tard dans le siècle, les avancées techniques permettent de créer de nouvelles expériences. Christiaan Huygens (1629-1695) et Augustin-Jean Fresnel (1788-1827) sont en désaccord avec la vision proposée par Newton ; ils pensent que la lumière est une onde. Ils développent une théorie mathématique pour décrire son comportement, plus tard complétée par James Clerk Maxwell (1831-1879), c'est la **théorie ondulatoire de la lumière**.*



QUESTIONNAIRE INITIAL (PLAUSIBILITE) :

La plausibilité est un jugement que l'on fait sur la véracité potentielle d'une théorie. Plus cette plausibilité est élevée, plus la théorie est perçue comme proche de la vérité/la réalité.

A. Théorie ondulatoire

1. Selon vous quelle est la plausibilité de cette théorie ?

Impossible

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Très plausible

2. Donner une justification (expériences scientifiques, personnelles, connaissances...).

B. Théorie corpusculaire

A. Selon vous quelle est la plausibilité de cette théorie ?

Impossible

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Très plausible

B. Donner une justification (expériences scientifiques, personnelles, connaissances...).

Nom :

Prénom :

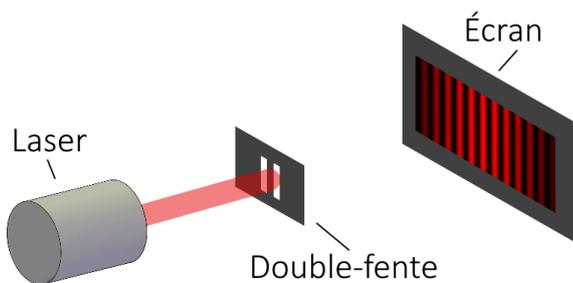
Noms des personnes du groupe :

ACTIVITE PRINCIPALE

Nous nous proposons d'étudier les deux théories sur la nature de la lumière en utilisant le MEL, découvert lors de l'activité précédente. Pour cela, je vous propose ces quatre phénomènes lumineux :

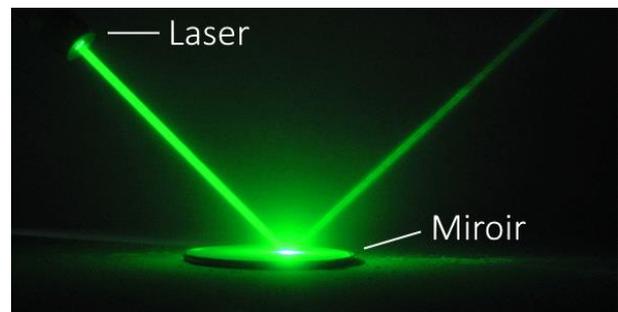
Diffraction

Lorsqu'un faisceau lumineux monochromatique passe à travers une double-fente, on observe sur un écran placé en face des franges qui alternent lumière-obscurité avec une intensité des franges lumineuses qui diminuent si on s'éloigne du centre.



Réflexion

Lorsqu'un faisceau lumineux incident arrive sur un miroir, celui-ci est réfléchi. Le faisceau est réfléchi avec un angle égal à l'angle d'incidence, par rapport à une droite perpendiculaire au miroir.



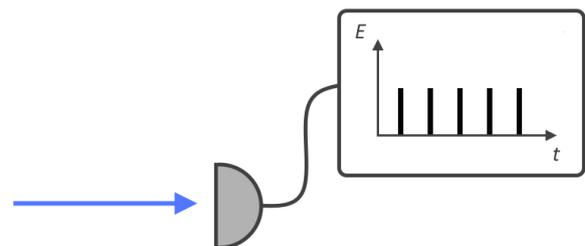
Vitesse finie

La lumière ne se propage pas à une vitesse infinie, c'est-à-dire qu'elle ne se propage pas instantanément. Elle possède une vitesse finie qui dans le vide est égale à 299 792 458 m/s.



Photodétection

Un faisceau lumineux monochromatique se trouvant dans un certain état et possédant une faible intensité, c'est-à-dire beaucoup atténué, est envoyé sur un détecteur considéré parfait. Celui-ci détecte des pics de même énergie régulièrement espacés.



Nom :

Prénom :

Noms des personnes du groupe :

Consignes : Pour chaque phénomène, dessiner deux flèches allant vers les deux théories. Vous dessinerez donc un total de huit flèches.

Clés :

	Le phénomène soutient la théorie
	Le phénomène soutient fortement la théorie
	Le phénomène contredit la théorie
	Le phénomène n'a rien à voir avec la théorie

Phénomène n°1 :
Diffraction

Phénomène n°2 :
Réflexion

Théorie ondulatoire
de la lumière

Théorie corpusculaire
de la lumière

Phénomène n°3 :
Vitesse finie

Phénomène n°4 :
Photodétection

Nom :

Prénom :

Noms des personnes du groupe :

Expliquer trois de vos choix dans le tableau suivant :

Phéno- mène n°	Clé	Théorie	Raison
	<ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> soutient<input type="radio"/> soutient fortement<input type="radio"/> contredit<input type="radio"/> n'a rien à voir avec	<ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> onde<input type="radio"/> particule	
	<ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> soutient<input type="radio"/> soutient fortement<input type="radio"/> contredit<input type="radio"/> n'a rien à voir avec	<ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> onde<input type="radio"/> particule	
	<ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> soutient<input type="radio"/> soutient fortement<input type="radio"/> contredit<input type="radio"/> n'a rien à voir avec	<ul style="list-style-type: none"><input type="radio"/> onde<input type="radio"/> particule	

Nom :

Prénom :

Noms des personnes du groupe :

QUESTIONNAIRE FINAL (PLAUSIBILITE) :

La plausibilité est un jugement que l'on fait sur la véracité potentielle d'une théorie. Plus cette plausibilité est élevée, plus la théorie est perçue comme proche de la vérité/la réalité.

A. Théorie ondulatoire

1. Selon vous quelle est la plausibilité de cette théorie ?

Impossible

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Très plausible

2. Donner une justification (expériences scientifiques, personnelles, connaissances...).

B. Théorie corpusculaire

1. Selon vous quelle est la plausibilité de cette théorie ?

Impossible

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Très plausible

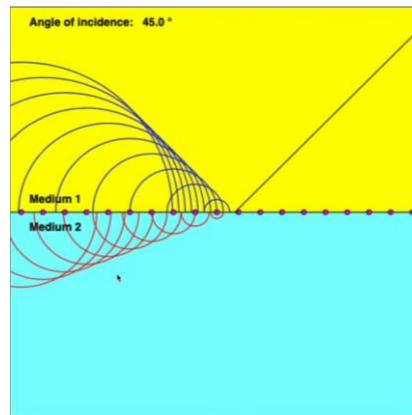
2. Donner une justification (expériences scientifiques, personnelles, connaissances...).

Après avoir fait cette activité, en utilisant ce que vous avez appris, quelle est votre opinion sur la nature de la lumière ?

Annexe : Ressources numériques explications phénomènes

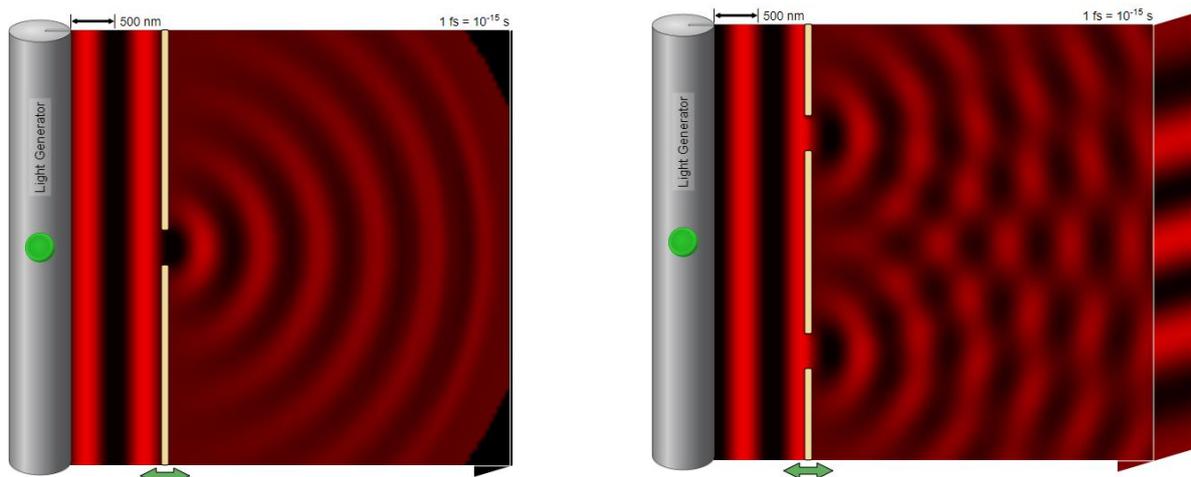
Réflexion : <https://www.youtube.com/watch?v=TDmUZV-xXgY&t=814s>

<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c8/Internal-reflection.gif>



Diffraction : <https://prod.labolycee.org/sites/default/files/h5p/content/257/images/image-624816e90b354.gif>

https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_all.html

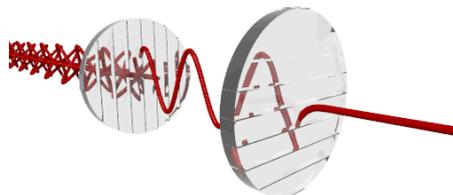


Polarisation :

<https://physicsandwaves.pbworks.com/f/1256852106/Polarisation%20Vertical.gif>

<https://physicsandwaves.pbworks.com/f/1256852085/Polarisation%20Horizontal.gif>

<https://physicsandwaves.pbworks.com/f/1256852057/Polarisation%20Cross%20202.gif>



pavol krivosik, 2008

Annexe « MEL des groupes »

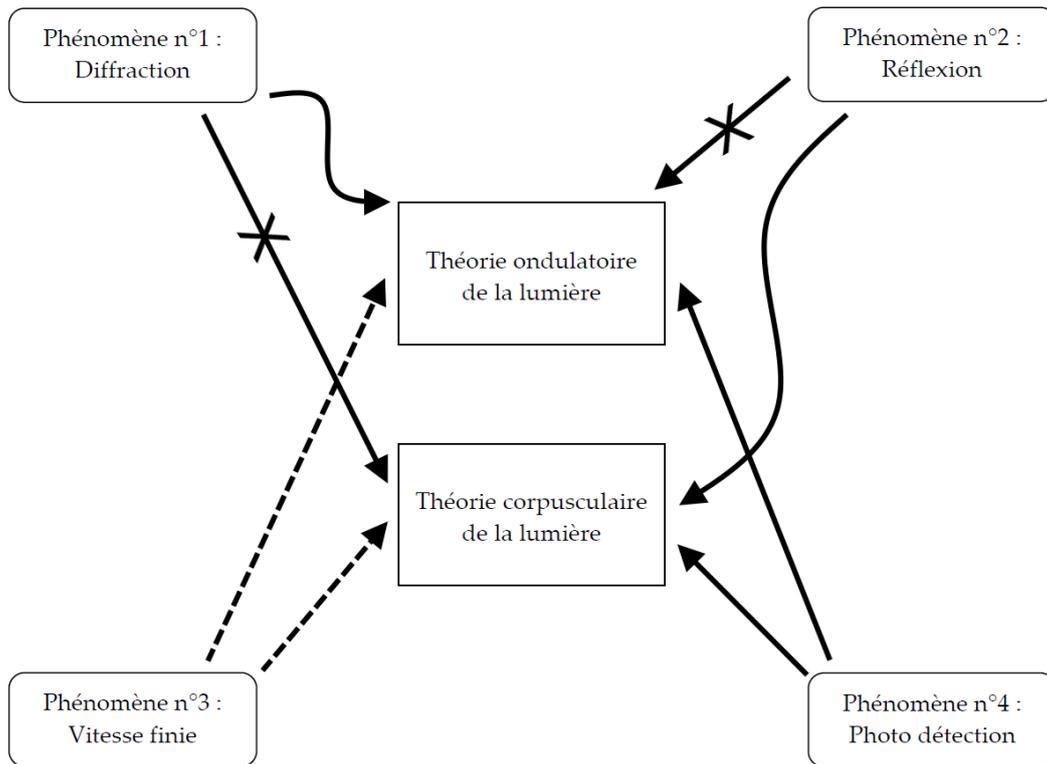


Figure 1 : MEL groupe 1

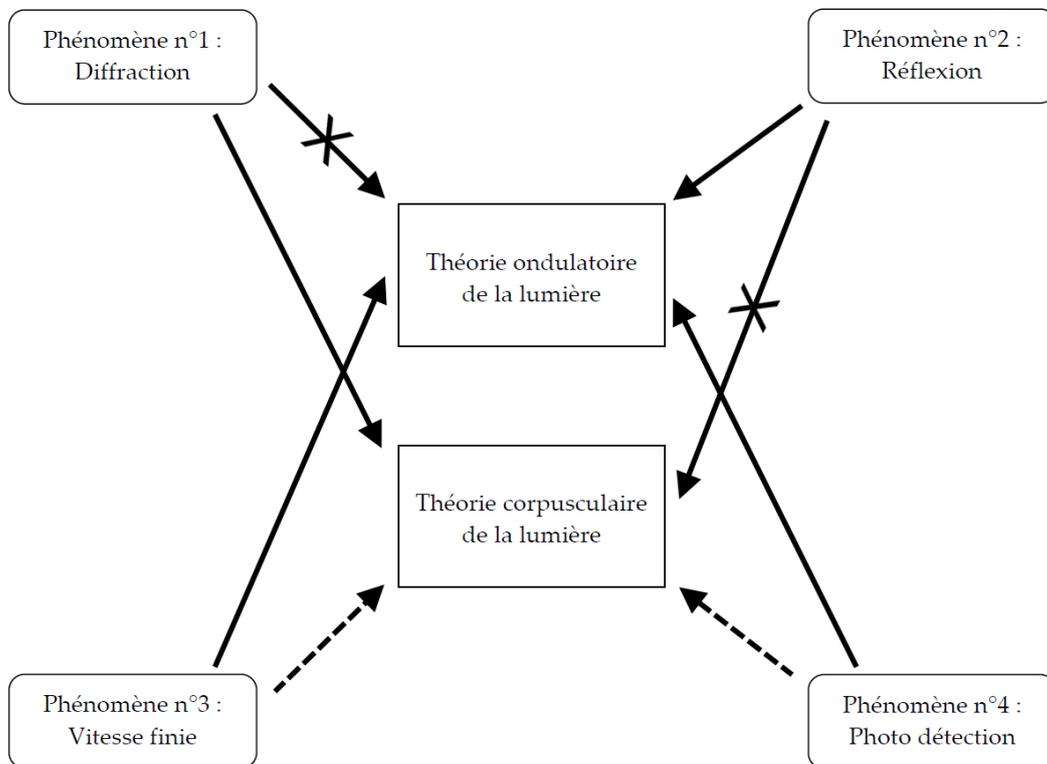


Figure 2 : MEL groupe 2

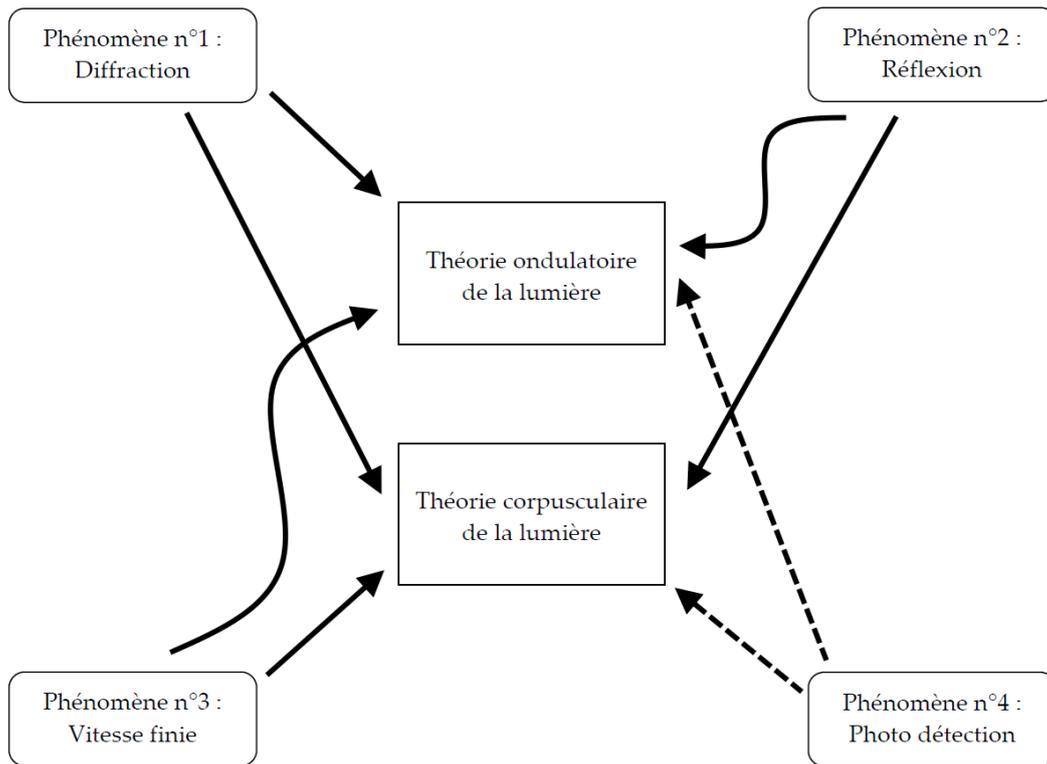


Figure 3 : MEL groupe 3

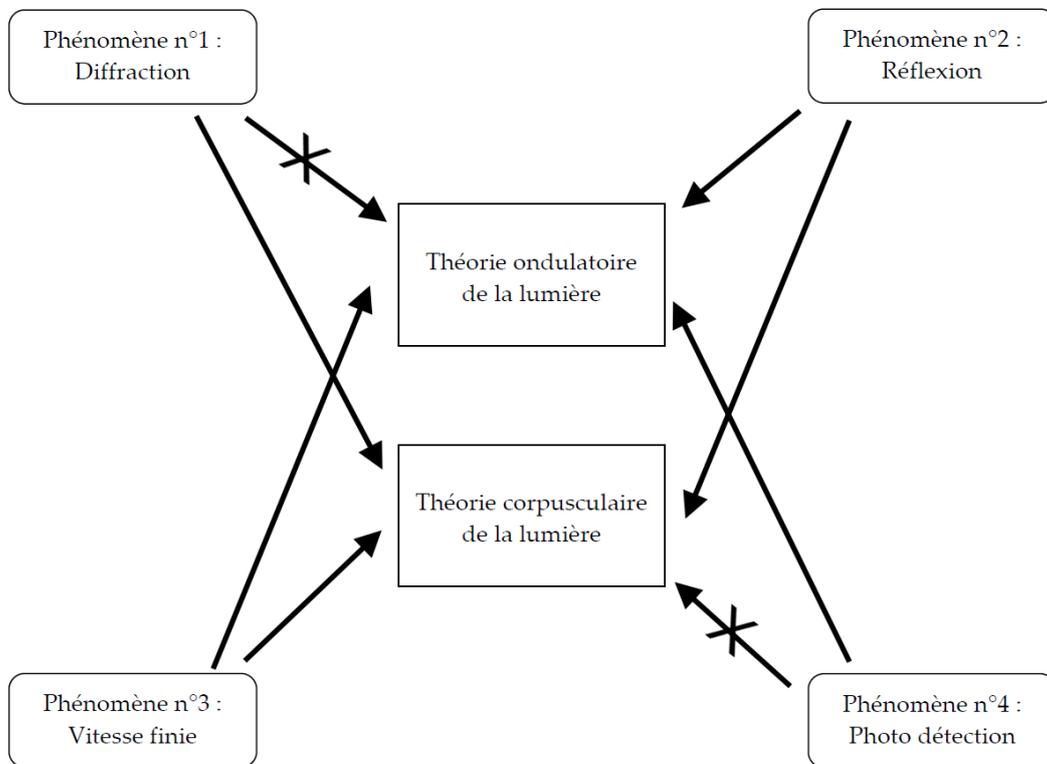


Figure 4 : MEL groupe 4