

MODELISATION ET CO-DISCIPLINARITE
SUR LE THEME « SCIENCES ET VISION DU MONDE »

**Dominique Baroux, Rita Khanfour-Armalé,
Groupe IREM-Modélisation, Université Paris Diderot, Paris 7**

Résumé – Cet atelier vise à présenter les temps forts du stage de formation continue, animé et organisé par le groupe Modélisation de l'IREM de Paris 7 durant l'année 2012, sur le thème du nouvel enseignement MPS « Méthodes et Pratiques Scientifiques » : la présentation par Cécile de Hosson sur l'analyse didactique des difficultés des élèves concernant le rôle de la lumière dans la vision, le déroulement d'un scénario « MPS » que les formateurs ont fait vivre aux stagiaires, et la synthèse qui présente le cycle de modélisation mis en jeu dans ce scénario. Celui-ci, conçu pour aider les enseignants de lycée à s'engager dans des pratiques co-disciplinaires, montre comment on peut aller au-delà d'une seule juxtaposition des disciplines et faire que les mathématiques ne soient pas artificiellement parachutées.

Présentation du groupe IREM-Modélisation

Voici les membres actuels du groupe :

Michèle Artigue : Professeur en didactique des mathématiques à l'Université Paris Diderot-Paris7 rattachée au laboratoire de didactique André Revuz

Dominique Baroux : Enseignante de mathématiques

Robin Bosdeveix : PRAG à l'université Paris Diderot-Paris 7, doctorant en didactique des SVT.

Rita Khanfour-Armalé : Maître de conférences en didactique de la chimie à l'université de Cergy Pontoise rattachée au Laboratoire de Didactique André Revuz.

Alain Kuzniak : Professeur en didactique des mathématiques à l'Université Paris Diderot-Paris7 rattachée au laboratoire de didactique André Revuz

Guy Rumelhard : Enseignant de biologie et chercheur en didactique de la biologie.

Ce groupe, qui comporte à la fois des enseignants de mathématiques, de sciences physiques et de biologie, travaille sur les relations entre mathématiques et les autres disciplines scientifiques, à partir des questions de modélisation. Le groupe IREM Paris 7 « Modélisation » a été créé à l'origine pour accompagner la mise en place des TPE. Il s'est progressivement orienté vers une réflexion plus générale sur la modélisation et c'est sur ses travaux que s'appuie l'enseignement de modélisation mis en place depuis 2004-2005 dans le master professionnel de didactique de l'université Paris Diderot – Paris 7. Il assure également des stages de formation continue dans le cadre du PAF pour les académies de la région parisienne. Ce groupe a organisé et animé un stage de formation continue de trois jours (en novembre et décembre 2012) pour les enseignants des académies de Paris, Créteil et Versailles sur le thème du nouvel enseignement MPS mis en place en 2010 en classe de seconde.

Présentation de l'enseignement MPS

Depuis septembre 2010, l'enseignement d'exploration (MPS) « Méthodes et Pratiques Scientifiques », a été mis en place en classe de seconde. Il vise notamment à montrer aux élèves « l'apport et la synergie entre les disciplines scientifiques... » et à les initier « à la démarche scientifique dans le cadre d'un projet » (BOEN spécial n°4 du 29 avril 2010).

Voici présentées sous forme de tableau (tableau 1) les principales préconisations du texte officiel précédemment cité, précisées et complétées par les recommandations de l'Inspection Générale de Mathématiques parues le 25 août 2010.

	L'enseignement Méthodes et pratiques scientifiques MPS
Interdisciplinarité	« La relation entre les champs disciplinaires ne doit pas rester au stade d'une simple juxtaposition de plusieurs disciplines sur une même thématique, mais au contraire de faire apparaître tout l'intérêt d'apports croisés »
Objectifs	Découvrir des métiers Développer des compétences : s'informer, extraire, organiser de l'information, Développer l'intérêt des élèves pour la science
Travail des élèves	Recherche Travail personnel ou d'équipe Autonomie accompagnée Pratiquer une démarche scientifique Communication scientifique, Production
Organisation	Seconde, projet collectif, plusieurs disciplines scientifiques.
Thèmes	Science et aliments, cosmétologie, investigation policière, vision du monde, prévention des risques d'origines humaines, œuvre d'art.
Enseignant	Encadrement des élèves, co-animation, interventions disciplinaires, bilans d'étape et bilan final.
Evaluation	Pas de forme définie pour l'évaluation mais l'approche par compétences est conseillée Evaluation formative conseillée

Tableau 1

Le stage

Objectifs

Notre groupe de travail IREM a questionné sur le plan épistémologique le singulier utilisé dans « démarche scientifique » dans ces injonctions officielles. Nous nous sommes interrogés sur les similarités et les différences existant à ce niveau entre les disciplines. Cette réflexion préalable nous a paru indispensable à la mise en œuvre de l'objectif « montrer l'apport et la synergie entre les disciplines scientifiques... ». En effet, nous avons pu constater à travers différents témoignages que l'articulation des

différents champs disciplinaires se réduit la plupart du temps à une juxtaposition d'activités.

Le stage que nous avons animé en novembre et décembre 2012 visait donc d'une part, à clarifier la nature et les spécificités des démarches scientifiques en mathématiques, sciences-physiques et SVT, et d'autre part à aider les enseignants de lycée à s'engager dans des pratiques interdisciplinaires dans le cadre des MPS et TPE.

C'est dans cette optique que notre stage s'est articulé autour des points suivants :

- Réfléchir et échanger sur les questions de démarche scientifique et d'interdisciplinarité, sur ce que sont les pratiques scientifiques en mathématiques, sciences physiques et SVT, ce qui les rapproche et les différencie.
- Réfléchir et échanger sur les potentialités et les limites des dispositifs institutionnels introduits pour favoriser la transposition de ces démarches dans l'enseignement, sur les difficultés rencontrées et les moyens de les surmonter.
- Travailler sur des expériences vécues, notamment au sein du groupe Modélisation de l'IREM, les analyser et en tirer des leçons et des idées.
- Faire l'expérience collectivement d'une activité pluridisciplinaire sur un des thèmes MPS : la vision.

Déroulement

Le stage a débuté par une présentation de l'enseignement scientifique et de l'interdisciplinarité, d'abord dans un contexte global international, et ensuite au travers des dispositifs divers mis progressivement en place dans l'enseignement français. Ces informations ont été complétées par une comparaison entre les dispositifs TPE et MPS. Cette première journée s'est poursuivie par une étude de cas sur le thème « police scientifique » : analyse a priori du scénario proposé par le document ressource Eduscol et discussion sur le potentiel et les limites d'un tel scénario au regard des préconisations officielles, en particulier celles concernant la méthodologie scientifique et la pluridisciplinarité. Certains stagiaires ayant eux-mêmes participé à un travail MPS sur ce thème ont pu aussi nourrir la discussion en témoignant de leurs pratiques.

Cette réflexion a été enrichie la deuxième journée par un exposé sur les sciences : leur objectif, la nature des savoirs, l'unité et la diversité des démarches scientifiques. Cette journée a ensuite été consacrée à l'étude d'un autre thème « science et vision du monde ». Le témoignage d'une enseignante de mathématiques du groupe, a permis une analyse du potentiel scientifique et co-disciplinaire de ce thème. Il a été suivi d'un exposé de Cécile de Hosson sur le rôle de la lumière. Elle a présenté une analyse didactique des difficultés des élèves et une mise en perspective historique sur ce sujet. L'après-midi a été consacrée à la présentation d'un scénario élaboré par les membres du groupe sur le thème « science et vision de monde ». Les formateurs ont fait vivre aux stagiaires ce scénario en leur faisant effectuer des expériences sur l'œil (dissection d'un œil de bœuf et mise en évidence d'une image sur la rétine), une étude sur les analogies entre l'œil et l'appareil photo, des expérimentations avec le logiciel GeoGebra permettant de dégager certaines lois de l'optique géométrique.

Le troisième jour a commencé par une synthèse présentant le cycle de modélisation mis en jeu dans le scénario proposé le deuxième jour. L'étude de ce scénario s'est terminée par une étude collective de son potentiel et de ses limites. Les stagiaires ont ensuite présenté quelques travaux effectués dans leurs classes, et notamment un travail très intéressant sur le thème de la vigne. Un exposé d'un professeur de mathématiques,

Rémy Coste, a clos de ce stage. Il nous a proposé un compte rendu et un bilan de son travail en seconde dans le cadre de l'enseignement MPS sur l'accélération d'un mobile et la datation par la méthode du carbone 14.

Scénario sur la vision : temps fort du stage

Notre intention est de présenter aux participants de l'atelier deux temps forts de ce stage : l'intervention de Cécile de Hosson et la présentation de notre scénario sur le thème « science et vision du monde ».

Cécile de Hosson a évoqué les difficultés des élèves concernant le rôle de la lumière dans la vision. Nous pensons qu'il est important de prendre en compte, dans l'élaboration de la séquence MPS, les résultats des recherches en didactique afin de s'attaquer à des conceptions largement répandues⁹. La présentation de Cécile de Hosson sera détaillée dans le paragraphe suivant.

C'est le travail mené par Dominique Baroux durant l'année 2010-2011 en MPS qui nous a orientés sur le thème « Science et vision du monde ». Nous pouvons remarquer que les ressources qui figurent dans les documents d'accompagnement sur ce thème sont réduites si l'on compare à ce qui est fourni pour d'autres thèmes (cf. par exemple le thème « Investigation policière »). Les sujets abordés par les élèves de Dominique tels que, la vision en relief, les illusions d'optique, la vision des animaux, les maladies et défauts visuels, le dessin animé nous ont convaincus du potentiel de ce thème. Il nous a semblé susceptible de nourrir un travail interdisciplinaire intéressant qui ne se limite pas à une juxtaposition de travaux menés dans différentes disciplines. Nous avons bâti ce scénario en mettant l'accent sur deux points essentiels : la façon dont peut s'y engager le dialogue entre mathématiques, sciences physiques et SVT et la façon dont l'autonomie de l'élève peut y être accompagnée de façon productive, en prenant en compte notamment l'état des connaissances scientifiques et didactiques sur ce thème.

Il a fallu cependant surmonter pour sa présentation un certain nombre de difficultés inhérentes à ce type de scénario :

- Comment présenter une ressource à des enseignants issus de trois disciplines différentes en prenant en compte la distance entre les cultures disciplinaires qui existe dans l'enseignement français (plusieurs années de travail au sein de notre équipe nous l'ont montré) ?
- Comment créer les conditions pour que ces enseignants des trois disciplines scientifiques puissent s'emparer de cette ressource afin de pouvoir la réinvestir dans leurs pratiques après le stage ?
- Comment présenter une ressource qui se décline sur un semestre ?

⁹ Ces conceptions sont en lien avec le mécanisme optique de la vision (de Hosson, 2011), la propagation rectiligne de la lumière (Kaminski, 1989) et la formation des images optiques (Viennot & Kaminski, 2006). Ces recherches ont montré que la lentille n'est pas vue par les élèves comme un système de formation de l'image mais comme un système de déformation de l'image. La plupart des élèves ont tendance à considérer que l'image optique est formée dès le départ et qu'elle se promène d'un bloc « image voyageuse » (Kaminski & Mistrioti, 2000). De plus, Viennot & Kaminski (2006) ont étudié les effets du schéma en optique et ont montré qu'un schéma inventé par opposition au schéma rituel permet de mettre en valeur le principe de conjugaison, éviter une surinterprétation du rôle des rayons de construction et aider à surmonter l'obstacle de l'image voyageuse.

Une réponse à ces questions a été de faire vivre collectivement, en accéléré et dans ses grandes lignes le scénario qui est prévu à l'origine pour les élèves. C'est ce que nous allons reproduire dans notre atelier, en mettant l'accent sur la partie mathématique.

L'intervention de Cécile sur les obstacles épistémologiques

Dans cette intervention il a été question des difficultés des élèves concernant le rôle de la lumière dans la vision et la façon dont en histoire s'est précisé et construit ce rôle. Dans ces travaux, de Hosson a constaté deux tendances antagonistes de raisonnements : le sens Œil – Objet et le sens Objet – Œil (figure 1 ci dessous).

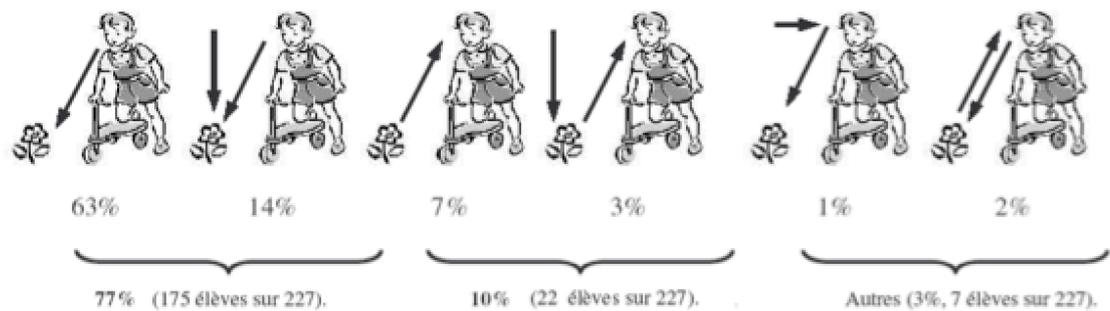


Figure 1

Globalement, très peu d'élèves expliquent la vision par la réception dans l'œil de quelque chose issu de l'objet. Et lorsque c'est le cas, leurs raisonnements semblent obéir à des principes proches du raisonnement en « image voyageuse ». En fait, pour la plupart des élèves interrogés, l'œil est actif, et la vision résulte de l'envoi par l'œil de quelque chose vers l'objet à regarder. Ce type de raisonnement vient du fait que pour voir un objet il est nécessaire de diriger son regard vers l'objet. Dans la figure 2 nous pourrions lire ce que disent la majorité des plus petits. Les élèves de 4^{ème} parlent de la vue comme le résultat d'une émission à partir de l'œil de quelque chose, qui n'est jamais de la lumière, mais qui semble posséder parfois des propriétés tactiles.

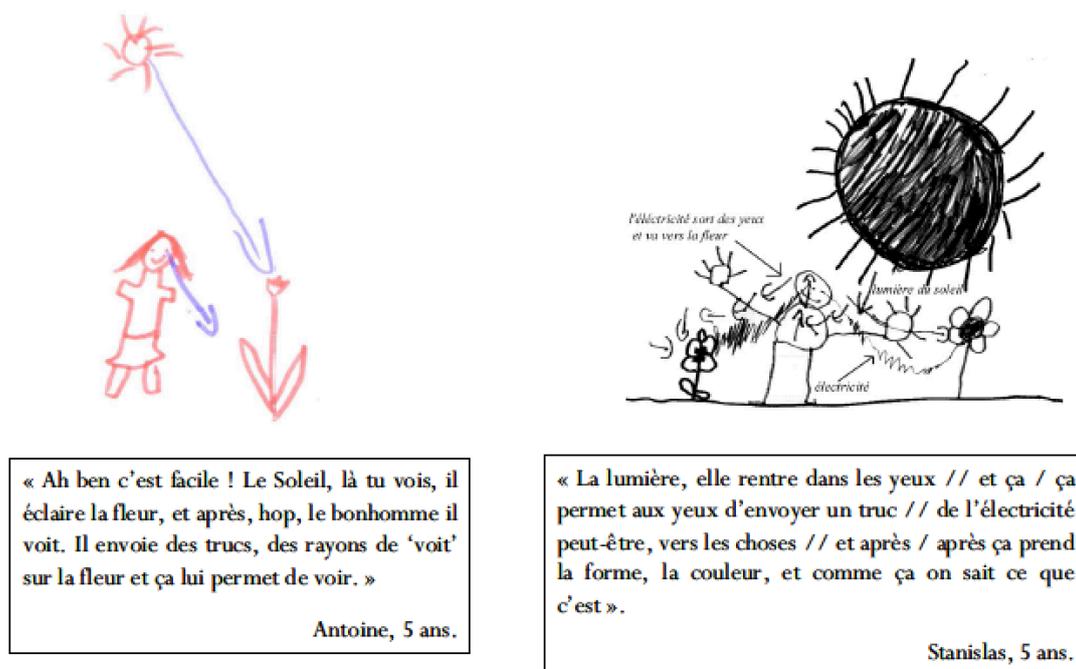


Figure 2 – Les raisonnements des élèves de maternelle concernant le rôle de la lumière

De Hosson continue sur comment s'est construit le rôle de la lumière qui est le stimulus de la vue puisque le levier historique pourrait servir comme levier d'apprentissage. L'idée est de revenir aux textes de première main. Elle montre les similitudes entre les idées des élèves et celles des penseurs de la Grèce antique (extra et intro-missionistes) à propos du « sens » de la vue, vers ou depuis l'œil. La lumière, autrement dit le lien entre l'objet et l'œil n'existait pas en tant qu'objet à l'époque, mais plus tard avec Al Hazen.

Déroulement succinct du scénario sur la vision

La notion de modèle n'a pas une définition unique, cette définition varie suivant la discipline scientifique et le terme de modèle est utilisé par de nombreux auteurs avec des contenus forts divers (Johsua et Dupin 1993, p.15). Pour établir le lien entre mathématiques et sciences expérimentales, nous mettons au travail dans ce scénario le processus de modélisation (Blum & Leiss, 2005) qui prend la forme d'un cercle de résolution de problèmes (figure 3 ci-dessous) ; partant d'une situation du monde réel, épurée et précisée, tout en formulant un modèle physique ou biologique, passant par l'élaboration d'un modèle mathématique, pour effectuer un traitement mathématique avec production de résultats, interprétation de ces résultats en fonction de la situation réelle d'origine et enfin validation du modèle par la pertinence des résultats.

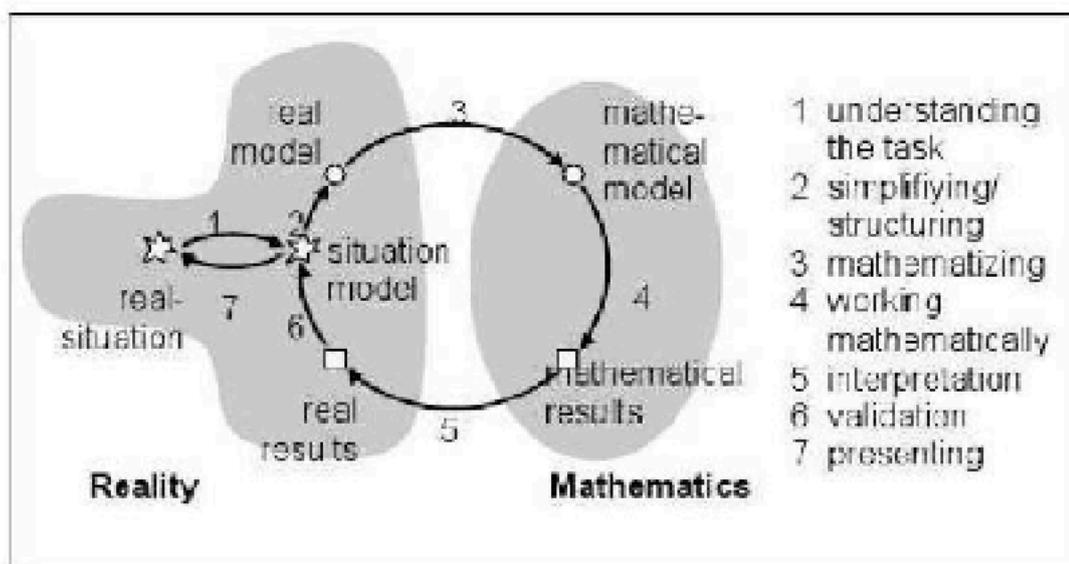


Figure 3

Nous montrerons à travers la présentation de ce scénario comment les différentes étapes de ce processus de modélisation ont été mises en œuvre. Ce scénario est largement ouvert et permet diverses adaptations et réalisations. Nous avons cependant mis au point une hypothèse de réalisation très précise dans laquelle notre scénario se déroule en 18 séances (annexe1).

Emergence d'un questionnement spécifique autour de la vision

Il s'agit, dans ce thème large de la vision, de susciter un questionnement qui conduise à s'interroger sur la formation des images dans l'œil. L'analyse menée à partir des travaux des élèves de Dominique Baroux sur ce thème montre que ce questionnement n'est pas forcément spontanément associé par les élèves au mot vision. D'autres questionnements surgissent plus spontanément, certains très généraux en termes de vision du monde, d'autres sur les illusions d'optique, les défauts de la vision ou sur les processus de représentation 3D... Même si un questionnement émerge sur les défauts de la vision, il ne sera pas forcément relié à la question de la formation des images dans l'œil. Il y a à cela des raisons que l'histoire des sciences et la didactique aident à comprendre (cf. « l'intervention de Cécile sur les difficultés des élèves »). L'émergence d'un tel questionnement nécessitera donc sans doute une orientation de l'enseignant.

Lorsque la question a émergé en revanche, on peut s'attendre à ce que les élèves proposent des explications, des analogies, suggèrent des expériences qui pourraient être menées pour conforter ou tester leurs propositions.

Nous explorons dans ce qui suit deux pistes probables :

- L'analogie avec l'appareil photo,
- La proposition de dissection de l'œil.

Analogie avec l'appareil photo et dissection de l'œil

Comment fonctionne un appareil photo et comment s'y forment les images ? Des réponses à ces questions peuvent être recherchées par un travail de documentation (ouvrages ou internet) mais aussi, lorsque possible, en démontant un appareil photo (non numérique). Avec l'émergence de ce questionnement et la compréhension de la tâche nous situons dans la relation 1 du cycle de modélisation.

Sur internet, on trouve aisément des schémas et textes comme ceux reproduits dans la figure 4 :

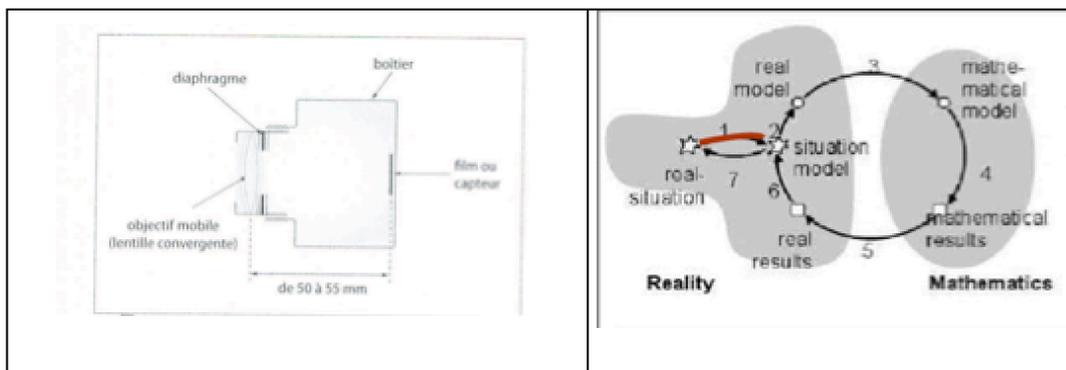


Figure 4 – La coupe schématique d'un appareil photographique, étape 1 du cycle de modélisation

En démontant un appareil photo, et en utilisant un papier calque en guise de pellicule, on peut identifier les différents éléments du dispositif et mettre en évidence la formation d'une image réelle et inversée (par exemple en déplaçant un objet de haut en bas et de droite à gauche devant la source lumineuse, voir la figure 5).



Figure 5 – Guy Rumelhard en train de réaliser l'expérience du papier calque devant les stagiaires

La dissection de l'œil¹⁰ (voir la figure 6, figure 7) amène à se demander sur quoi se base l'analogie avec l'appareil photo.

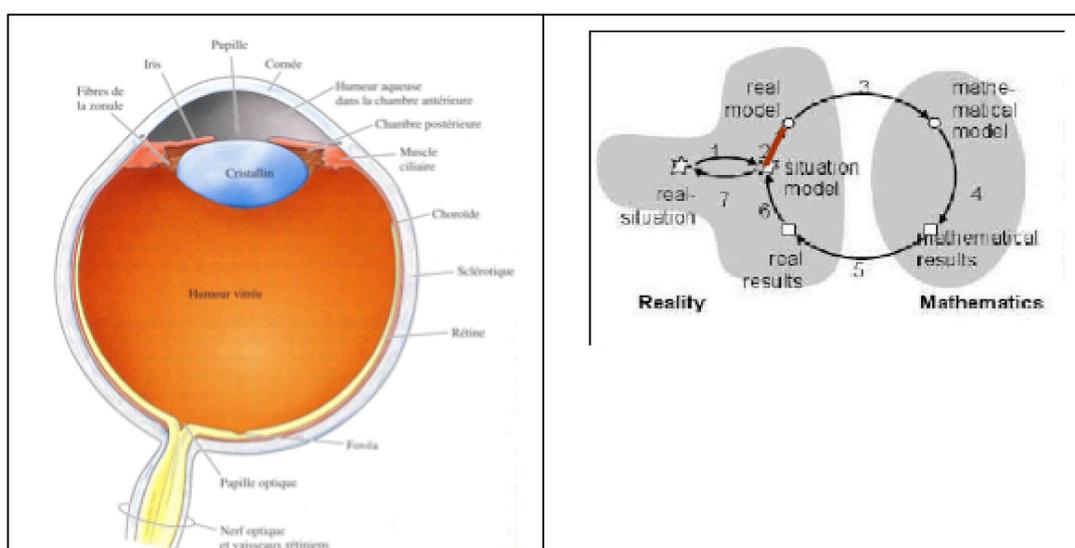


Figure 7– L'anatomie de l'œil à gauche et à droite l'étape 2 dans le processus de modélisation

¹⁰ Un protocole est proposé sur les liens suivants <http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/ATP/oeil.htm> et <http://www.youtube.com/watch?v=yPVkCCidbRQ>.



Figure 8 – Dominique Baroux est en train de disséquer un œil de bœuf avec une des stagiaires

La dissection de l'œil (ou une recherche documentaire), qui permet de passer à l'étape 2 dans le cycle de modélisation (voir figure 7), apporte des connaissances sur l'anatomie de l'œil qui seront nécessaires au processus d'analogie physique : l'œil contient un liquide (humeurs), une cornée, un cristallin, le fond de l'œil est constitué par la rétine. L'anatomie révèle certaines structures oculaires, pouvant jouer un rôle optique dans la formation des images. Cette dissection nous amène à essayer de mettre en rapport les différents constituants de l'œil avec ceux de l'appareil photo (similarités mais aussi différences) : cornée (membrane qui laisse passer les rayons lumineux), cristallin (lentille convexe mais pas mince du tout), espace entre le cristallin et la rétine (chambre noire), rétine (pellicule où se forme l'image), iris/pupille commandé par les process ciliaires (diaphragme qui ouvre ou ferme l'accès au cristallin/lentille), corps vitré, humeur aqueuse (sans analogue). Voir tableaux 1 et 2.

	APP PHOTO	OËIL
Pts Communs	- diaphragme	- pupille / iris
	- objectif / lentille	- cristallin ↳ grossit les caractères comme une loupe
Spécificités	- Boîtier / chambre noire	- choroïde (noire) sclérotique → pour de l'œil
	- Film ou capteur	- Rétine
	- diaph. devant la lentille	- pupille devant
	- lentille mince	- cristallin sphérique
	$d = 50 \text{ mm}$	- nerf optique $d = 15 \text{ mm}$

Tableau 1 – Comparaison appareil photo et œil lors du stage

APP PHOTO	OËIL
	- liquide
	- humeur aqueuse (chambre ant ^{rie})
	- corps vitré (chambre postérieure)
	→ interface air/liquide $n_{\text{air}} \quad n_{\text{liq}}$
	↳ CORNÉE = dioptrie

Tableau 2 – D'après les discussions avec les stagiaires : les spécificités de l'œil

En revanche, force est de constater que cette dissection ne montre rien sur la formation de l'image. Pour ce faire, il faut construire une expérience (figure 9) et une telle

expérience ne peut être suggérée par les élèves. Il existe une expérience historique mais de fait délicate à réaliser (elle nécessite en particulier des yeux non congelés). Elle consiste à dégager l'arrière de la membrane rétinienne et à mettre une source lumineuse devant l'œil placé sur le socle. Une image inversée de la source devrait apparaître sur la rétine.

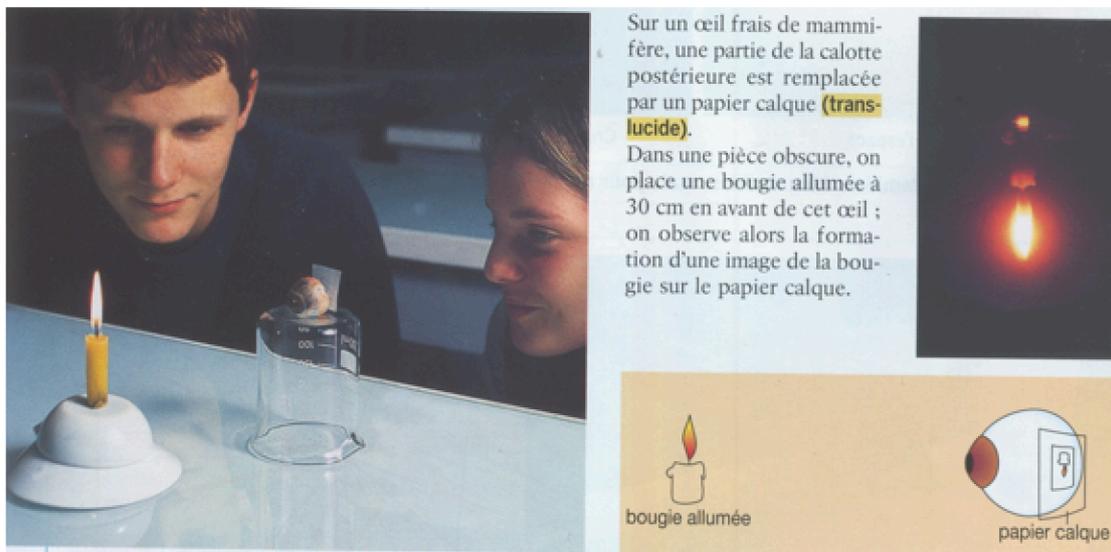


Figure 9 – Sciences 1re L-ES SVT, Physique-chimie, manuel scolaire, 2011, édition Bordas

Une autre expérience, plus simple à réaliser, consiste à extraire le cristallin de l'œil et mettre en évidence qu'il possède certaines propriétés optiques. En le posant sur un document imprimé, on peut aisément observer que le cristallin agrandit les caractères d'imprimerie telle une loupe (figure 10).

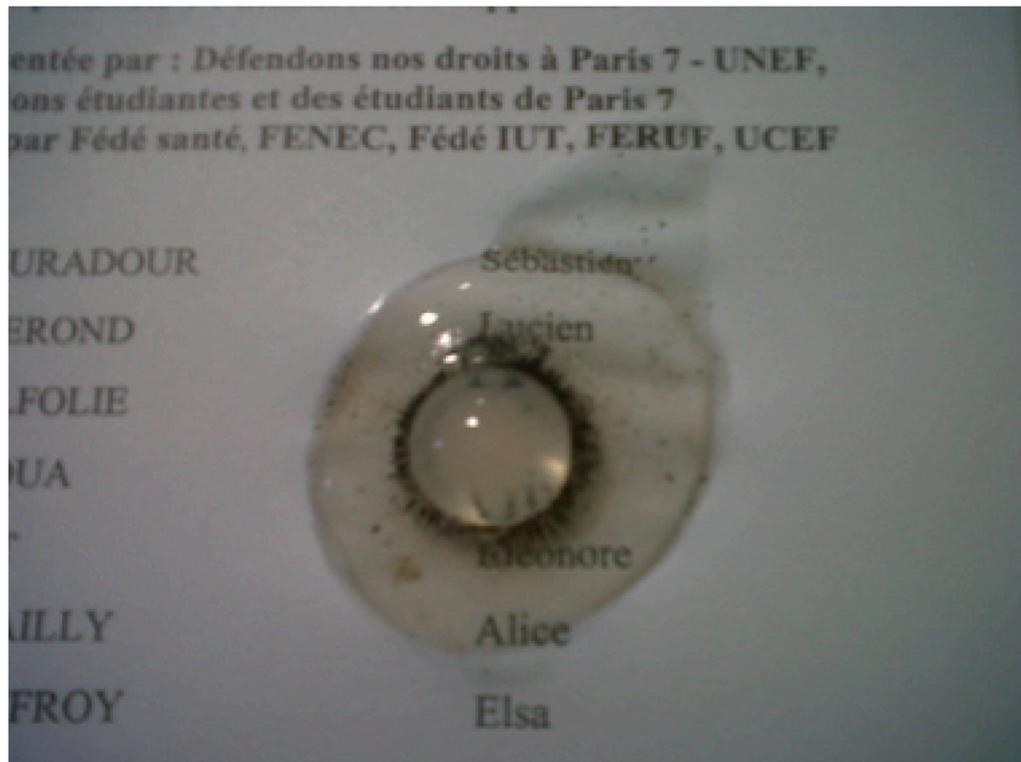


Figure 10 – Photo prise lors du stage qui montre les propriétés optiques du cristallin

Mais si cette analogie semble pertinente, elle ne donne pas les clés du fonctionnement d'une lentille convexe. Pour cela, un passage à la physique et à l'optique géométrique est nécessaire.

Optique géométrique et fonctionnement des lentilles

En physique l'utilisation d'un banc optique est possible. Il peut être intéressant parallèlement de mener une recherche historique pour répondre à la question de savoir quand les lentilles sont apparues (http://fr.wikipedia.org/wiki/Lentille_optique). Nous envisageons dans le scénario, une expérimentation de nature mathématique complémentaire à l'utilisation du banc d'optique. Le système physique est transformé en un système géométrique. Les travaux, en didactique de la physique, de Viennot (2011) dans son livre « en physique pour comprendre » concernant l'analyse des dépendances fonctionnelles nous ont permis de concevoir une simulation qui permet des explorations qualitatives et quantitatives de la construction géométrique de l'image d'une source lumineuse par une lentille convexe à l'aide du logiciel GeoGebra. A partir de cette simulation (passage à l'étape 3 et 4 dans le processus de modélisation), de nombreuses questions peuvent émerger et on peut mener un travail qui illustre différentes facettes de la démarche expérimentale en mathématiques, dans une approche d'abord qualitative puis quantitative des dépendances aboutissant aux lois de Descartes. L'exploitation de cette simulation montre également comment, une fois un modèle mathématique construit, le travail dans le modèle mathématique peut s'affranchir des contraintes de la situation physique, comment les régularités, les variations observées, les objets mathématiques introduits peuvent être sources de questions nouvelles au sein du modèle, dont certaines peuvent rebondir sur la situation physique ou biologique initiale.

Figure 12 – Etapes 3 et 4 du cycle de modélisation

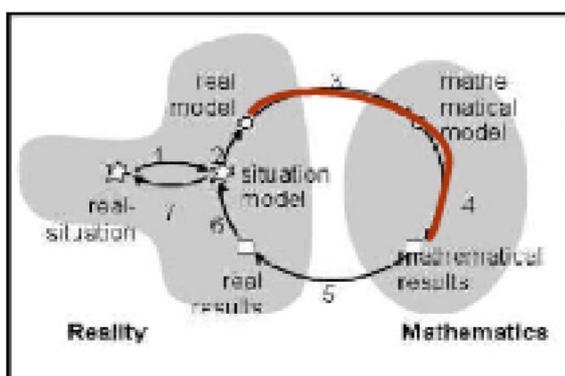


Figure 12 – Etapes 3 et 4 du cycle de modélisation

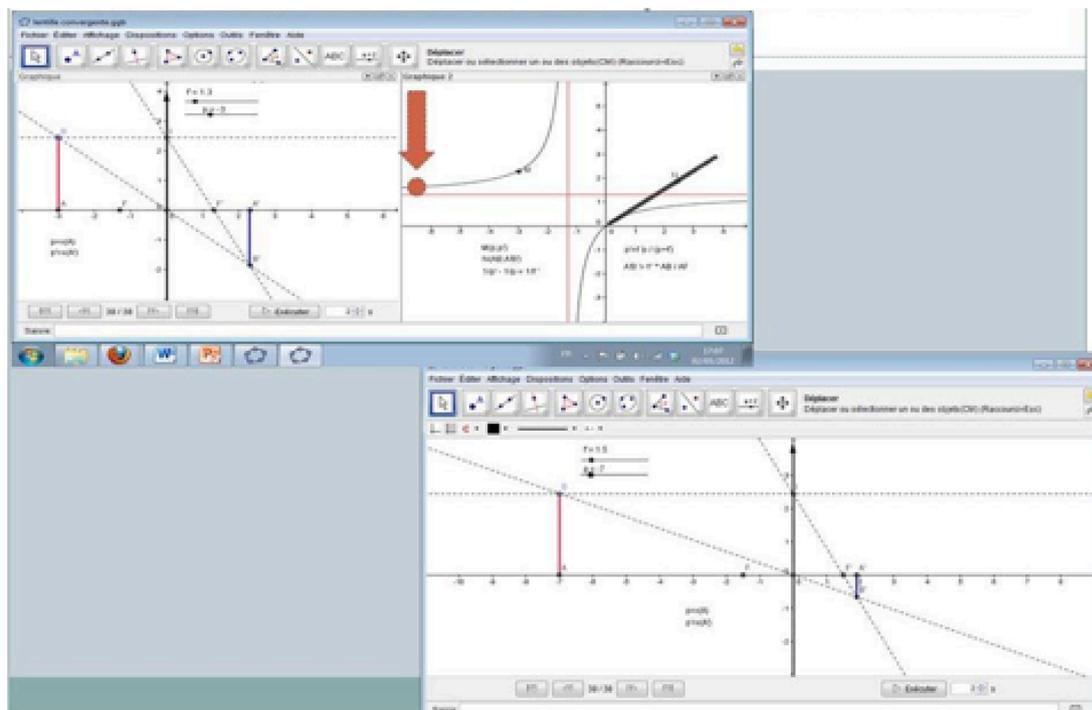


Figure 13 – Deux fichiers GeoGebra

Dans la fiche jointe (annexe 2) construite pour le stage, on notera la différence entre l’exploitation des deux fichiers GeoGebra. Le premier est le support d’une démarche expérimentale basée sur une exploration très ouverte ; le second qui vise à conjecturer les lois de Descartes suppose une exploration plus guidée, amenant à s’interroger sur les dépendances entre taille de l’image et taille de l’objet, position de l’image et position de l’objet.

Nous avons proposé aux participants de l’atelier de travailler sur ces deux fichiers.

Retour à la biologie

Ce déplacement de la position de l’image en fonction de la position de l’objet peut donner naissance à un rebondissement du questionnement et un renvoi à l’étude du système biologique : comment l’image est-elle maintenue sur la rétine, constituant à la fois la couche photoréceptrice et le premier centre nerveux permettant le traitement biologique de l’information ? Comment voit-on à l’endroit ? La rétine étant fixe que se passe-t-il dans le cas de l’œil ? Un mécanisme à rechercher doit la faire avancer ou reculer. A priori l’optique géométrique suggère de faire l’hypothèse d’une variation de la distance focale, donc d’une modification du cristallin qui est l’analogue de la lentille. Est-ce ceci qui est en jeu lorsque l’on parle d’accommodation ? En fait, la situation réelle est un peu plus compliquée et plusieurs mécanismes entrent simultanément en jeu. Le travail au sein du modèle conduit donc à une hypothèse raisonnable mais qui n’épuise pas la réalité du phénomène. On peut aussi souligner à cette occasion que la modélisation de l’œil par une lentille est une modélisation simpliste (ce qui ne l’empêche pas d’être utile) : le cristallin n’est pas une lentille mince ; de l’extérieur à l’intérieur de l’œil il y a un changement de milieu (air externe / humeur aqueuse située

entre la cornée et le cristallin) donc d'indice... Le sujet est donc loin d'être épuisé. Voici une fonction importante du modèle de l'œil issu du croisement entre physique (optique) et mathématiques (géométrie) : faire naître des questions dans l'autre système qui n'avaient pas été initialement posées. De plus, ce modèle peut être réinvesti dans le champ de la biologie afin de comprendre l'origine de certains défauts de la vision (presbytie, hypermétropie, myopie). Il permet également de prévoir comment corriger ces troubles visuels et calculer les caractéristiques d'un nouveau dioptré correctif. On touche alors à la dimension prédictive du modèle scientifique construit. Nous nous situons avec cette partie à l'étape 5 et 6 du processus de modélisation (voir figure 14).

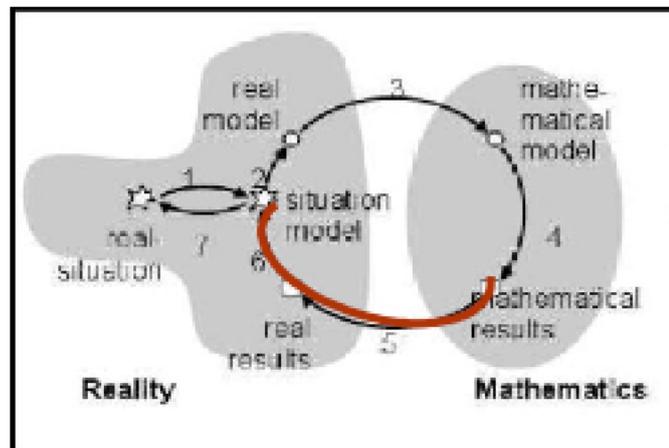


Figure 14

Le modèle construit peut être exploité pour répondre à des questions portant sur l'acuité visuelle, par exemple que signifie réellement l'expression « avoir dix dixièmes à un œil ? » (annexe 3). Et le travail mené débouche par ailleurs naturellement sur des questions concernant les défauts de l'œil et leur correction pour lesquels le modèle peut être réexploité. Soulignons en revanche dans ce dialogue entre SVT, physique et mathématiques, que le mécanisme de la vision n'a été que très partiellement exploré puisque l'on s'est arrêté à l'œil et à la formation d'une image sur la rétine sans jamais faire intervenir le traitement tout aussi essentiel de cette image par le cerveau.

Conclusion

Les travaux de notre équipe se concentrent maintenant sur la conception de situations de modélisation et de pratiques scientifiques au lycée sans se limiter au cadre des MPS et TPE. C'est sur cette base qu'un nouveau stage est proposé pour 2013-2014 incluant notamment les spécialités mathématiques de ES et S.

Outre la préparation de formations, une des fonctions de notre groupe est d'intervenir dans l'UE modélisation du master professionnel de didactique de l'université Paris Diderot Paris 7. Il s'agit dans cet enseignement d'aborder les problèmes de modélisation et mathématisation de phénomènes de nature diverse et, à travers eux, la question des rapports entre disciplines scientifiques, entre mathématiques et société. L'enseignement vise d'abord à faire rencontrer aux étudiants différentes expériences de modélisation et à les faire réfléchir sur les transpositions possibles de ces expériences dans le cadre de l'enseignement secondaire ou en formation d'enseignants. Une partie

importante de l'enseignement est consacrée à l'accompagnement d'un projet réalisé en petits groupes. Ces projets contribuent à la constitution d'une banque de ressources dans le domaine de la modélisation par le réseau des IREM. Cette banque devrait aider les enseignants des disciplines scientifiques, et notamment les enseignants de mathématiques, à faire vivre plus efficacement dans leur enseignement les connexions possibles entre disciplines, que ce soit dans le quotidien de la classe ou dans la gestion des dispositifs spécifiques prévus pour susciter des collaborations entre disciplines. Durant l'année 2011-2012, cet enseignement a été dispensé auprès d'un public mixte : enseignants en formation dans le cadre du master professionnel de didactique et étudiants de Master 1. Les étudiants ont été très satisfaits à la fois de l'expérience de modélisation vécue à travers leur projet et du travail collaboratif avec des enseignants chevronnés. Un projet est à l'étude à l'université Paris Diderot pour le renouvellement de cette formation mixte l'année prochaine auprès des étudiants du master 2.

Les articles publiés par les membres du groupe et les projets réalisés par les étudiants-enseignants du master peuvent être consultés ou téléchargés sur le site http://www.irem.univ-paris-diderot.fr/sections/groupe_modelisation/.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- De Hosson, C. (2011). *L'histoire des sciences, un laboratoire pour la recherche en didactique et l'enseignement et la physique*. Habilitation à diriger des thèses, soutenue le 12 décembre 2011. Université Paris Diderot-Paris 7.
- Grangeat, M. (2011). La diffusion des démarches d'investigation : une dynamique en devenir. *In M. Grangeat, les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique - Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*. Lyon : INRP, 14-21.
- Prieur, M., Sanchez, E. & Aldon, G. (2011). Enseignement scientifique co-disciplinaire en classe de seconde : éléments à prendre en compte pour sa mise en œuvre. *In M. Grangeat, les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique - Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves*. Lyon : INRP, 100-112.
- Kaminski, W. (1989). Conceptions des enfants (et des autres) sur la lumière, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°716, 973-996.
- Kaminski, W. & Mistrioti, Y. (2000) Optique au collège : le rôle de la lumière dans la formation d'image par une lentille convergente. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 94, n°823, 757-784.
- Khanfour-Armalé, R., Bosdeveix, R., Baroux D., et Rumelhard, G. (2012). La co-disciplinarité autour du thème de la vision. *La didactique des mathématiques: approches et enjeux. Hommage à Michèle Artigue*, Université Paris Diderot- Paris 7, Paris, France 31 mai, 1er et 2 juin 2012.

Annexe 1

Programmation du scénario "vision"

Hypothèses de travail : 3 disciplines (maths, SPC, SVT)
1h30 par semaine pour les élèves

	Thème	Forme de la séance	Discipline (s)	objectif	Communication ou production
Séance 1	Introduction MPS & Brainstorming sur le thème "vision du monde"	Classe entière	3	Permet de clarifier le thème polysémique, de trier entre sujets scientifiques ou non, d'écartier les sujets irréalistes (pas à leur portée). Différencier ce qui relève de la vision comme processus biologique et de la vision instrumentée.	
Séance 2	Recentrage sur le thème vision biologique et formation des images par l'œil Analogie supposée œil / instrument d'optique. Choix de comparer avec l'app photo Dégager les différents éléments essentiels et leurs rôles dans le fonctionnement de l'app photo. Bilan de la recherche documentaire durant la dernière demi heure. Mise en accord sur un schéma commun. Point sur les questions dont certaines seront laissées ouvertes volontairement.	Recherche documentaire sur le fonctionnement de l'app photo en salle info ou CDI. Consignes données par l'enseignant pour la recherche documentaire.	1 SPC	Réduction de l'œil à un instrument d'optique en occultant la dimension nerveuse	Produire un schéma légendé précisant des hypothèses sur les fonctions et les questions qu'ils se posent
Séance 3	L'analogie entre l'œil et l'app photo est-elle pertinente? Dégager les points communs et différences entre œil et app photo. L'enseignant circule, pilote un bilan collectif. Les élèves complètent leur tableau d'une autre couleur pour voir l'évolution de leurs idées.	Travail expérimental Dissection de l'œil avec éléments de protocole Manipulation de l'app photo avec calque (image inversée)	1 SVT		Les élèves doivent en autonomie faire des hypothèses sur les correspondances et remplir le tableau (dans leur cahier de bord).
Séance 4	Séance "métiers" Recenser les différents métiers en lien avec le thème	Classe entière puis Travail de groupe par métier : recherche documentaire, prise de contact pour une rencontre avec un professionnel.	1 (n'importe quelle matière)		Préparer une liste de questions pour un entretien.
Séance 5	Lentille dans l'app photo, cristallin / loupe : pose des questions sur la formation d'une image en physique. => Etude des propriétés d'une lentille convergente (règles d'incidence, notion de foyer, de stigmatisme...) Ne pas aborder les formules qui seront construites ensuite en maths	Travail expérimental (banc d'optique...)	1 SPC		
Séance 6	Exploration GeoGebra 1		1 Maths		
Séance 7	Exploration GeoGebra 2		1 Maths		
Séance 8	Histoire des sciences sur différents thèmes (Voir logiciel, textes historiques fournis)	Logiciel	1 SPC		
Séance 9	Exploration GeoGebra 3		1 Maths		
Séance 10	Exploration GeoGebra 4		1 Maths		
Séance 11	Retour sur l'histoire des sciences (2)		1 SPC		Exposés
Séance 12	Accommodation		1 Maths		Simulation avec Géogebra
Séance 13	Défauts de la vision (Bio)	Recherche documentaire Intervention du médecin ou infirmière scolaire	1 SVT		
Séance 14	Défauts de la vision (maths)		1 Maths		Exploitation de la simulation avec GeoGebra par rapport aux corrections à apporter
Séance 15	Retour sur les métiers		3		Poster ou brochure métier, qu'ils présentent.
Séance 16	Séance de préparation du bilan final		1 (n'importe quelle matière)		
Séance 17	Visite (entreprise d'instruments optiques...)		(n'importe quelle matière)	A placer à un n'importe quel moment selon les contraintes de l'entreprise	
Séance 18	Bilan général du semestre :		3		Diaporama de présentation de la démarche générale

Possibilité de permuter certaines séances, mais certains ordres sont nécessaires.

Ex. La séance de maths est nécessairement après celle de physique (pour disposer de certaines règles qui contraignent la modélisation)

Annexe 2 Optique géométrique : lentilles convergentes minces

1. MODELE GEOMETRIQUE

Ouvrir le fichier GeoGebra « lentilles convergentes 1 ».

- Le plan est rapporté à un repère orthonormé de centre O
- Le point O représente le centre optique de la lentille.
- L'axe des abscisses représente l'axe optique.
- L'axe des ordonnées représente la lentille.
- Le point F représente le foyer objet de la lentille et la mesure algébrique \overline{OF} (ou l'abscisse du point F) est la distance focale objet. Notation $f = \overline{OF}$
- Le point F' représente le foyer image de la lentille et la mesure algébrique $\overline{OF'}$ (ou l'abscisse du point F') est la distance focale image. Notation $f' = \overline{OF'}$
- **Dans le cas d'une lentille convergente $f < 0$ et $f' > 0$.**

2. TROIS REGLES

Règle 1 : tous les rayons lumineux issus d'un point A et qui rencontrent la lentille convergent en un Point A' appelé l'image de A.

Règle 2 : tout rayon incident passant par le centre optique d'une lentille n'est pas dévié par la lentille.

Règle 3 : tout rayon incident parallèle à l'axe optique émerge en passant par le foyer image. (tout rayon incident passant par le foyer objet émerge parallèlement à l'axe optique).

3. PREMIERE EXPLORATION

- a. Ouvrir le fichier GeoGebra « lentilles convergentes 1 ».
L'abscisse du point F' est représentée par le curseur f'. En faisant bouger le curseur on modifie la position du point F' sur l'axe des abscisses.
- b. Créer un point A et construire son image A' en appliquant les règles ci-dessus. Deux rayons issus de A suffisent pour déterminer la position de A'.
- c. Bouger le point A et noter vos observations sur la position de A'.
- d. Créer un segment $[BC]$. Lier le point A à ce segment. Activer la trace du point A'. Quelle est l'image du segment $[BC]$?
- e. Recommencer avec d'autres figures géométriques.
- f. Bouger le segment $[BC]$ et noter vos observations sur la taille et la position de son image.

4. DEUXIEME EXPLORATION : ETUDE DES DEPENDANCES, VERS LES LOIS DE DESCARTES.

L'objet de cette exploration est d'étudier,

- d'une part le lien entre la taille d'un objet et celle de son image
- d'autre part le lien entre la position d'un objet et celle de son image

Ouvrir le fichier GeoGebra « lentilles convergentes 2 ».

On note p l'abscisse de A et p' l'abscisse de son image A'.

L'abscisse du point A est représentée par le curseur p.

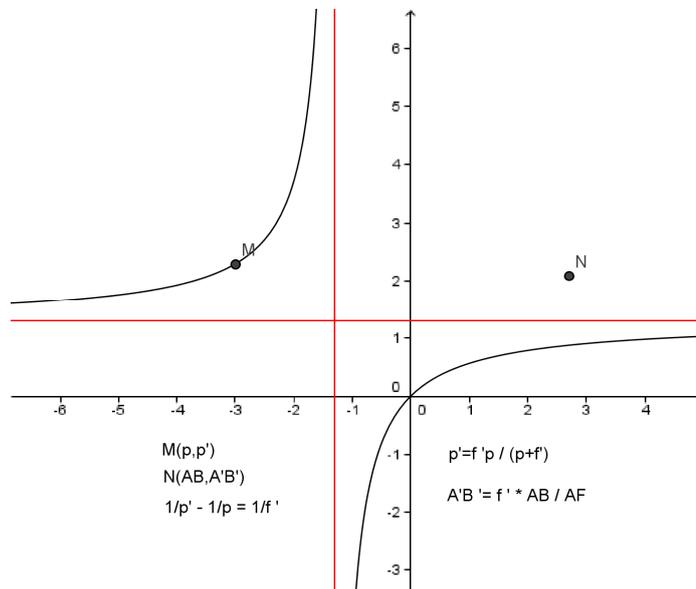
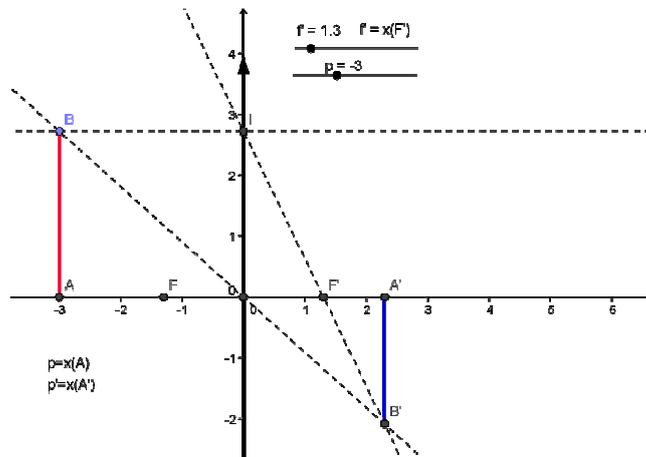
On a représenté en rouge un segment $[AB]$ perpendiculaire à l'axe optique et en bleu son image $[A'B']$. $[A'B']$ existe lorsque $p \neq -f'$.

Dans le deuxième graphique on a créé le point N de coordonnées respectives les distances AB et A'B' et le point M de coordonnées p et p'.

- a. Faire bouger uniquement le point B (les nombres f' et p restent constants) et observer la trace du point N. Quelle conjecture peut-on faire ?
- b. On garde constant f' et on fait varier p en bougeant le curseur. Désactiver la trace de N et noter vos observations sur le déplacement du point M.

Annexe 3 Optique géométrique : lentille convergente mince

Schéma usuel pour un cas particulier.



1. On crée 2 curseur, $f > 0$ et p , représentant respectivement les abscisses des points F' et A .
2. On crée le point N de coordonnées AB et $A'B'$. En faisant bouger le point B et en gardant constants f' et p , le point N décrit une droite qui passe par l'origine, ce qui met en évidence une relation de proportionnalité qui lie $A'B'$ et AB . On montre que $A'B' = \frac{OA'}{OA} * AB$ car les triangles $OA'B'$ et OAB sont semblables (ou théorème de Thalès).

3. On crée le point M de coordonnées p et p' , respectivement l'abscisse de A et l'abscisse de A' . On garde constant f' et on fait varier p . On s'aperçoit que le point M décrit une hyperbole dont les asymptotes sont les droites d'équation $x = -f'$ et $y = f'$.

$$\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}$$

4. On démontre la relation de Descartes $\frac{1}{p'} - \frac{1}{p} = \frac{1}{f'}$ dans le cas particulier où $p < 0$ et $p < -f'$.

Les triangles $F'A'B'$ et $F'OI$ sont semblables donc : $\frac{F'A'}{F'O} = \frac{A'B'}{OI}$

D'où $\frac{OA' - OF'}{F'O} = \frac{A'B'}{AB}$ et $\frac{OA'}{F'O} - 1 = \frac{OA'}{OA}$ et $\frac{1}{OF'} = \frac{1}{OA'} + \frac{1}{OA}$
ce qui est la relation cherchée.

5. La relation de Descartes est équivalente à $p' = \frac{f'p}{p + f'}$ donc l'hyperbole décrite par le point M a pour équation $y = \frac{f'x}{x + f'}$. On la trace. On constate alors que le point M se déplace sur cette courbe.

Sachant que $A'B' = \frac{OA'}{OA} * AB$ et que $OA' = |p'| = \frac{f'|p|}{|p + f'|}$ et $OA = |p|$, on en déduit que $OA' = \frac{f'}{|p + f'|} * AB$ c'est-à-dire $A'B' = \frac{OF'}{FA} * AB$.

6. Application :
Lorsqu'on a une vision de 10 (ce qui signifie la possibilité de séparer deux traits distants de 0,1mm au point le plus proche de vision nette (environ 15 cm), quelle est approximativement la distance entre deux cellules visuelles voisines ?
Cela revient à calculer la taille de l'image d'un objet de 0,1mm sachant que la distance focale est de 15mm.
On obtient : $0,1 * 15 / 135$ mm en utilisant la formule ci-dessus, ce qui est approximativement la valeur connue de 10 micromètres